

Mursid Raharjo Assidiq



Pengendalian Ekologis Nyamuk Anopheles



Pengendalian Ekologis Nyamuk Anopheles

Pengendalian Ekologis Nyamuk Anopheles

Mursid Raharjo Assidiq



GRAHA ILMU

PENGENDALIAN EKOLOGIS NYAMUK ANOPHELES

oleh Mursid Raharjo Assidiq

Hak Cipta © 2021 pada penulis

Edisi Pertama: Cetakan I ~ 2021



GRAHA ILMU

Ruko Jambusari 7A Yogyakarta 55283

Telp: 0274-889398; 0274-882262; email: info@grahailmu.co.id

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.

ISBN: 978-623-376-120-8

Buku ini tersedia sumber elektronisnya

DATA BUKU:

Format: 17 x 24 cm; Jml. Hal.: x + 228; Kertas Isi: HVS 70 gram; Tinta Isi: BW; Kertas Cover: Ivori 260 gram; Tinta Cover: Colour; Finishing: Perfect Binding; Laminasi Doff.



KATA PENGANTAR

Buku Pengendalian Anopheles berisi tentang berbagai pengetahuan tentang faktor ekologis dan dinamika nyamuk Anopheles dan Malaria di Indonesia. Malaria sampai saat ini masih menjadi permasalahan di Dunia dan Indonesia. Insiden rate global malaria (jumlah kasus per 1000 penduduk) tercatat 57 pada 2018. Kasus malaria di Indonesia tahun 2020, tercatat gejala 516.272 penderita, dengan 46.762 positif malaria. Kasus malaria tersebar terutama pada 6 wilayah endemis, yaitu Provinsi Papua, Papua Barat, Maluku, Maluku Utara, Nusa Tenggara Timur. Saat ini masih terdapat 208 kabupaten (40,66%) yang belum eliminasi malaria.

Buku ini secara rinci menyajikan tentang :

1. Anopheles Sebagai Vektor Malaria
2. Dinamika Kasus Malaria di Indonesia dan Dunia,
3. Spesies dan Habitat Vektor Malaria,
4. Pengaruh Lingkungan Terhadap Dinamika Kasus Malaria,
5. Model Spasial Ekologis dan Malaria Vulnerability Index,
6. Pemanfaatan Nanosilver dalam Pengendalian Nyamuk Anopheles.

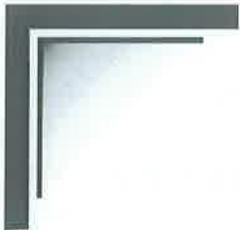
Sumber dalam penulisan buku ini berasal dari hasil penelitian selama kurun waktu hampir 8 tahun, sejak tahun 2013-2020. Beberapa pemikiran penulis tentang penyusunan formulasi dan istilah baru telah di publikasikan pada jurnal internasional.

Terima kasih diucapkan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian pada Masyarakat (DRPM) yang telah memberikan dukungan pendanaan dalam penelitian, dan terbitnya buku ini.

Semoga buku ini memberikan manfaat dalam pengendalian malaria di Indonesia.

Semarang, Juni 2021

Mursid Raharjo Assidiq



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
BAB 1 ANOPHELES SEBAGAI VEKTOR MALARIA	1
1.1 Sejarah Malaria	2
1.2 Jenis dan Gejala Malaria	3
1.3 Pola Penularan Penyakit Malaria	5
1.4 Penyebaran Malaria	6
1.5 Ekologi dan <i>Bionomik</i> Vektor Malaria	8
Daftar Pustaka	12
BAB 2 DINAMIKA KASUS MALARIA	13
2.1 Malaria Global	13
2.2 Malaria di Indonesia	18
Daftar Pustaka	22
BAB 3 SPESIES DAN HABITAT VEKTOR MALARIA	23
3.1 Nyamuk Anopheles	23
3.2 Habitat Nyamuk Anopheles	30
Daftar Pustaka	87
BAB 4 PERUBAHAN IKLIM GLOBAL DAN PERUBAHAN POLA PENYAKIT	89
4.1 Perubahan Iklim Global (<i>Climate Change</i>)	89

4.2	Perubahan Iklim Global (<i>Climate Change</i>) dan Perubahan Pola Penyakit	93
4.3	Karakteristik Lahan dan Habitat Vektor	95
4.4	Iklim Global dan Iklim Mikro	96
4.5	Perubahan Pola Spasial dan Temporal Penyakit Malaria	101
	Daftar Pustaka	111
BAB 5	INDEK KERENTANAN MALARIA (<i>MALARIA VULNERABILITY INDEX</i>)	113
5.1	Malaria Sebagai Risiko Bencana	113
5.2	Indek Kerentanan Malaria (<i>Malaria Vulnerability Index (Mvi)</i>)	116
5.3	Analisis Tingkat Kerentanan Penyebaran Malaria	116
5.4	Komponen Penyusun Indek	119
5.5	Simulasi Tingkat Kerentanan Penyebaran Vektor Malaria (Pendekatan <i>Malaria Vulnerability Index (Mvi)</i>)	123
5.6	Pemaknaan <i>Malaria Vulnerability Index (Mvi)</i>	136
	Daftar Pustaka	142
BAB 6	MODEL SPASIAL EKOLOGIS MALARIA	143
6.1	Pembuatan Model	143
6.2	Siklus Pembuatan Model	152
6.3	Model Ekologi	155
6.4	Perkembangan Model Malaria	156
6.5	Konsep Model Spasial Ekologis	161
6.6	Penyusunan Model Matematis	162
6.7	Tipologi Model Matematis	164
6.6	Hasil Komputasi Model Variabilitas Vektor Malaria	172
B.	Simulasi Model	181
C.	Evaluasi Model	192
	Daftar Pustaka	194
BAB 7	NANOPARTIKEL SEBAGAI TEROBOSAN PENGENDALIAN VEKTOR MALARIA	197
7.1	Material Nano	197

7.2	Pemanfaatan Nanosilver untuk Pengendalian Larva <i>Aedes Aegypti</i>	200
7.3	Pemanfaatan Nanosilver untuk Larva <i>Anopheles</i>	206
7.4	Uji Pada Nyamuk Dewasa <i>Aedes</i>	213
7.5	Toksisitas Nanosilver untuk <i>Anopheles</i>	217
7.6	Dokumentasi Penelitian	225
	Daftar Pustaka	226

-oo0oo-



ANOPHELES SEBAGAI VEKTOR MALARIA

Nyamuk *Anopheles* merupakan serangga dalam ordo *Diptera*, famili *Culicidae*, genus *Anopheles*. Nyamuk *Anopheles* menjadi tempat hidup *plasmodium* pada siklus seksual. Secara natural adanya siklus *plasmodium* dalam tubuh nyamuk, memungkinkan terjadinya mekanisme penyebaran *plasmodium*, sehingga terjadi penularan malaria antar penderita. Penemuan tentang peran Nyamuk *Anopheles* sebagai penular malaria, berlangsung lama. Ahli yang pertama menemukan nyamuk sebagai vektor tular adalah Carlos Finlay, dokter Cuba. Pernyataan tentang nyamuk sebagai vektor tular, dikuatkan oleh Sir Ronald Ross seorang warga British yang melakukan penelitian di India, yang akhirnya membuktikan pada tahun 1898 bahwa malaria disebarkan oleh nyamuk. Ross membuktikan bahwa separuh spesies nyamuk menyebarkan malaria kepada burung dan memindahkan parasit malaria dari kelenjar liur nyamuk yang menghisap darah burung yang berpenyakit. Hasil temuan Finlay dan Ross kemudian disahkan oleh badan kesehatan yang diketuai oleh Walter Reed, pada tahun 1900. Hasil kerja penelitian untuk pelayanan kesehatan ini terbukti menyelamatkan nyawa beribu manusia.

Sampai saat ini penyakit malaria yang ditularkan oleh *Anopheles*, masih merupakan penyakit menular dan menjadi permasalahan di dunia dan Indonesia. Istilah malaria berasal dari kata Medieval bahasa Itali: *malaria* – “udara busuk”; dan penyakit ini sebelumnya dikenali sebagai *ague* atau demam pepaya disebabkan kaitannya dengan pepaya. Gejala penyakit

panas dingin, yang merupakan ciri penyakit malaria, diperkirakan telah berlangsung sejak 2,700 SM di China. Penyakit malaria termasuk salah satu penyakit menular berbahaya, yang dapat menyerang semua orang, bahkan sering mengakibatkan kematian.

1.1 SEJARAH MALARIA

Mitologi Malaria

Mitologi malaria adalah kepercayaan masyarakat (mitos) yang menganggap malaria sebagai penyakit kutukan. Setiap daerah memiliki mitos yang berkembang di masyarakat. Masyarakat Indragiri hilir memiliki mitos malaria disebabkan oleh Bujang Penunggu Laut. Pengobatan pertama kali bagi malaria yang paling menunjukkan hasil adalah pemanfaatan kulit kayu pohon *cinchona* (Kina, Indonesia), yang terbukti mengandung kuini (*quinine*). Pohon ini tumbuh di lereng pergunungan Andes, terutama di Peru. Temuan tidak sengaja ini digunakan oleh penduduk asli Peru, bagi penanganan terhadap malaria. *Jesuit* memperkenalkan temuan ini ke Eropa pada masa 1640-an di mana ia diterima dengan penghargaan. Hasil ekstrak kulit pohon kina, pada 1820 menghasilkan bahan aktif kuini (*quinine*) oleh ahli sains Perancis Pierre Joseph Pelletier dan Jean Bienaime Caventou.

Pada awal abad ke dua puluh, sebelum antibiotik, penderita yang mengidap *syphilis* dengan sengaja dijangkitkan malaria untuk menghasilkan demam. Percobaan tersebut hasil kerja Julius Wagner-Jauregg. Dengan menjaga suhu tubuh secara seksama menggunakan kuini, gejala kedua penyakit yaitu *syphilis* dan malaria bisa dikurangi. Meskipun separuh penderita meninggal disebabkan malaria, ini dianggap lebih baik berbanding kematian akibat *syphilis*.

Kajian saintifik berhubungan dengan malaria mencapai kemajuan pertama pada tahun 1880, seorang doktor Perancis yang bekerja penuh di Algeria bernama Charles Louis Alphonse Laveran melakukan pengamatan parasit dalam sel darah merah penderita malaria. Dia dengan melakukan pengamatan menyatakan bahwa malaria disebabkan oleh protozoa. Saat tersebut pertama kali protozoa dipastikan sebagai sumber penyakit. Hasil temuan ini, dan hasil penelitian berikutnya, dia dianugerahkan hadiah Nobel pada tahun 1907 bagi Fisiologi atau pengobatan. Protozoa ini dinamakan *Plasmodium* oleh pakar sains Itali Ettore Marchiafava dan Angelo Celli.

Setahun kemudian, Carlos Finlay, doktor Cuba yang merawat penderita dengan demam kuning di Havana, yang pertama menyatakan bahwa nyamuk menularkan penyakit ini di kalangan manusia. Bagaimanapun Sir Ronald Ross seorang warga British yang melakukan penelitian di India, yang akhirnya membuktikan pada 1898 bahwa malaria disebarkan oleh nyamuk.

Dia membuktikan bahwa separuh spesies nyamuk menyebarkan malaria kepada burung dan memindahkan parasit malaria dari kelenjar liur nyamuk yang menghisap darah burung yang berpenyakit. Hasil penelitian ini, Ross menerima Hadiah Nobel 1902 dalam penelitian. Setelah bekerja di India, Ross bekerja di Sekolah Penyakit Tropika Liverpool yang baru didirikan dan melakukan penelitian khusus bidang malaria di Mesir, Panama, Greece dan Mauritius. Hasil temuan Finlay dan Ross kemudian disahkan oleh badan kesehatan yang diketuai oleh Walter Reed, pada tahun 1900. Hasil kerja untuk pelayanan kesehatan umum ini menyelamatkan nyawa beribu pekerja.

Meskipun temuan tentang sel darah dan nyamuk dalam siklus hidup malaria telah diketahui pada abad ke-19 dan awal abad ke-20, akan tetapi baru pada tahun 1980-an parasit terinfeksi dalam hati diketahui. Penemuan bentuk infeksi, dalam masa tidur (*dorman*) parasite, merupakan bukti untuk menjelaskan kenapa mereka yang kelihatannya telah disembuhkan dari malaria tetapi kembali sakit. Seorang penderita sungguhpun bertahun dinyatakan parasit telah lenyap dari salur darah mereka, akan tetapi bisa bangkit kembali, oleh parasite yang bersifat *dorman*.

1.2 JENIS DAN GEJALA MALARIA

Penyakit malaria di Indonesia ada empat jenis yaitu Malaria Tertiana (*Plasmodium vivax*); Malaria Quartana/Malarie; Malaria Ovale; dan Malaria Tropika (*Plasmodium falciparum*). Secara umum penyakit malaria disebabkan oleh *Plasmodium*, yang penyebarannya dilakukan oleh nyamuk *Anopheles*. Malaria disebabkan oleh protozoa obligat intraseluler dari genus *plasmodium* yang hidup dan berkembang biak dalam sel darah merah manusia dan tubuh nyamuk *Anopheles spp.* Derajat endemisitas malaria dapat diukur dengan berbagai cara, seperti angka limpa (*spleen rate*), angka parasit (*parasite rate*) dan angka sporozoit (*sporozoit rate*) yang disebut dengan

malariometri. Pemeriksaan pembesaran limpa dilakukan dengan cara Hackett dan Schuffner dimana persentase ditentukan dari orang dengan pembesaran limpa pada daerah endemi malaria. Angka parasit ditentukan dengan persentase orang yang sediaan darahnya positif pada saat tertentu, sedangkan *slide positive rate* (SPR) dimana persentase sediaan darah yang positif dalam periode kegiatan penemuan kasus. Berat ringannya infeksi malaria pada seseorang diukur dengan menghitung parasit dalam 1 mm^3 darah (*parasit count*).

Gejala (*symptom*) malaria adalah demam, gemetar, sakit sendi (*arthralgia*), muntah, anemia, disebabkan hemolysis, hemoglobinuria, dan kejang (*convulsion*). Terdapat juga potensi perasaan dingin dan panas pada kulit terutama dengan malaria yang disebabkan oleh *P. falciparum*. Gejala klasik malaria adalah pengulangan berkala rasa dingin diikuti dengan kejang dan demam dan berkeringat selama empat hingga enam jam, berlangsung setiap dua hari bagi kasus *P. vivax* dan *P. ovale*, sementara setiap tiga hari bagi *P. malariae*. *P. falciparum* mengalami demam berulang setiap 36-48 jam atau demam pada suhu rendah berpanjangan.

Ada dugaan terdapat hubungan antara gejala malaria dengan tekanan *intracranial* tinggi. Kasus dan gejala malaria pada kanak-kanak sering kali menunjukkan kondisi tidak normal, tanda menunjukkan kerusakan otak yang kronis. Malaria juga ditemukan menyebabkan kecacatan kecerdasan (*kognitif*). Terutama bagi anak-anak, malaria menyebabkan kekurangan darah anemia berpengaruh terhadap perkembangan pada otak dan turut menyebabkan kerusakan otak secara langsung.

Malaria kronis hampir mayoritas disebabkan oleh *P. falciparum* dan biasanya timbul setelah 6-14 hari gejala. Malaria kronis menyebabkan penderita mengalami, koma dan kematian, apabila tidak dilakukan perawatan dengan baik, terlebih pada wanita yang sedang mengandung. Penderita malaria akan mengalami terjadinya pembengkakan pada limfa (*Splenomegaly*), sakit kepala kritis, ischemia serebral, hepatomegaly (hati bengkak), hypoglycemia, dan hemoglobinuria dengan gagal ginjal (*renal failure*).

Gagal ginjal menyebabkan demam *blackwater*, di mana hemoglobin dari sel darah merah *lysed* memasuki air seni. Malaria kronis berkembang dengan sangat cepat dan menyebabkan kematian dalam hitungan jam atau

hari. Dalam kasus malaria kronis kematian akibat penyakit mampu melebihi 20%, walaupun dengan perawatan yang baik. Pada wilayah endemik, perawatan sering kali kurang memuaskan dan kematian keseluruhan bagi semua kasus malaria sekitar 10%. Malaria kronis disebabkan oleh parasit *P. vivax* dan *P. ovale*, sedangkan parasit *P. falciparum* tidak menimbulkan malaria kronis. Meskipun tidak menimbulkan malaria kronis, akan tetapi *P. falciparum* mampu kambuh kembali setelah berbulan atau bertahun setelah mengalami sakit malaria, akibat kehadiran parasit dalam hati. Waktu bertahannya parasit untuk mampu kambuh kembali *P. vivax* adalah 30 tahun.

1.3 POLA PENULARAN PENYAKIT MALARIA

Proses penularan suatu jenis penyakit (termasuk malaria), melibatkan 3 komponen yang saling berhubungan yaitu *host* (inang), *agen* (parasit) dan lingkungan. *World Health Organization* (WHO), dalam “*Manual On Practical Entomology in Malaria, 1975*”, menambahkan 2 komponen dalam proses penularan tersebut, sehingga menjadi 5 komponen yaitu: 1. parasit; 2. vektor; 3. inang; 4. lingkungan fisik; 5. faktor biologis. Komponen-komponen tersebut terjadi saling hubungan (*interaction*) dan saling ketergantungan (*interdependence*). Parasit (*Plasmodium*), vektor (nyamuk *Anopheles*) dan inang masing-masing memiliki daur hidup dan berperan sebagai salah satu mata rantai dalam siklus penyebaran malaria. Faktor-faktor lingkungan (geofisik, klimatologis dan biogeografis) secara tidak langsung mempengaruhi dinamika penularan malaria. Pemantauan faktor-faktor geofisik, klimatologis, bio-geografis dan unsur lahan, akan diperoleh gambaran dinamika populasi, sebaran dan lokasi tempat perindukan nyamuk sebagai vector. Faktor-faktor lingkungan dapat diproyeksikan dalam skala ruang dan waktu secara berturut-tan, berkala dan berkelanjutan, maka penularan malaria dapat diramalkan dan dilakukan antisipasi.

Institute of Medicine, IOM, 2008, menyampaikan *The Convergence Model*, menghubungkan adanya berbagai faktor penyebab penularan penyakit yaitu: 1. manusia; 2. mikroba; 3. faktor ekologi; 4. faktor keturunan dan faktor biologi; 5. faktor lingkungan fisik; 6. faktor sosial politik dan ekonomi. Model *convergence* menggabungkan berbagai faktor yang secara memusat (*concentris*) mendukung timbulnya kasus malaria.

Plasmodium sebagai parasit malaria mengalami 2 daur hidup yaitu daur hidup seksual dan daur hidup aseksual. Daur hidup seksual terjadi pada tubuh nyamuk *Anopheles*, sedangkan daur hidup aseksual terjadi pada hati dan sel darah merah tubuh penderita. Penyebaran malaria dapat berlangsung bila terjadi perpindahan *Plasmodium* dari penderita ke nyamuk dan diinjeksikan ke tubuh orang lain melalui gigitan.

Nyamuk *Anopheles* sebagai vektor, mengalami daur hidup mulai dari telur, larva, pupa hingga nyamuk dewasa. Telur, larva dan pupa berlangsung di air, sedangkan nyamuk dewasa tumbuh dan berkembang di darat. Nyamuk *Anopheles* dalam proses reproduksi, dipengaruhi oleh faktor geofisik, biogeografi dan klimatologis, terutama berhubungan dengan tempat biakan (*breeding place*), tempat istirahat (*resting*). (WHO,1975).

Agent penyakit malaria adalah parasit dari protozoa genus *Plasmodium*. *Plasmodium falciparum* dan *Plasmodium vivax*, banyak menimbulkan penyakit malaria yang berakhir dengan kematian. Beberapa spesies lain seperti (*Plasmodium ovale*, *Plasmodium malariae*, dan *Plasmodium knowlesi*), juga menyebabkan malaria, meskipun tidak banyak menimbulkan korban kematian. Penularan malaria berlangsung bila terjadi perpindahan parasit dari penderita ke orang lain. Parasit malaria terbawa oleh nyamuk *Anopheles* betina. Nyamuk betina mencari darah merah untuk proses perkembangbiakan. Bersamaan dengan mekanisme gigitan maka *plasmodium* akan berpindah dari penderita ke tubuh nyamuk. Penularan terjadi ketika nyamuk tersebut menggigit orang lain, dan *plasmodium* berpindah dari tubuh nyamuk ke orang, melalui belalai.

1.4 PENYEBARAN MALARIA

Penyebaran malaria melibatkan banyak faktor penentu yang dikelompokkan kedalam 3 faktor yaitu: a. agen penyakit: *Plasmodium vivax*; *Plasmodium malariae*; *Plasmodium falciparum*. b. inang (*manusia*) c. lingkungan (*lingkungan fisik dan sosio ekonomi*). Keberhasilan pengendalian vektor malaria sangat tergantung pada dilakukannya proses modifikasi terhadap faktor epidemiologis. Keberhasilan dari aspek entomologis, tergantung dari dapat tidaknya dilakukan identifikasi spesies nyamuk yang memiliki kemampuan untuk menularkan parasit malaria. Aspek biologi nyamuk mencerminkan

besar kompetensi vektorial atau kapasitas vektorial dari nyamuk vektor tersebut.

Terdapat komponen yang berpengaruh langsung terhadap penyebaran malaria yaitu penderita sebagai sumber *Plasmodium* dan nyamuk sebagai penular. Faktor tidak langsung merupakan pendukung untuk potensi orang tertular atau pulih dari keadaan sakit, berupa perilaku dan sistem pelayanan kesehatan. Faktor lain berupa keadaan lingkungan sebagai habitat yang menentukan tumbuh dan berkembang spesies *Anopheles*. Banyak hal yang harus diberikan penjelasan berkaitan dengan faktor langsung dan tidak langsung, untuk memahami malaria. Kebanyakan orang dewasa dalam kawasan endemik bisa kambuh kembali jangka panjang, seiring dengan berkurangnya kekebalan menurut waktu dan perkembangan seseorang. Sampai saat ini belum ditemukan vaksin untuk malaria.

Penyebaran alami parasit malaria disebabkan oleh nyamuk *Anopheles* betina yang hidup diberbagai bentang alam. Namun, parasit dapat pula disebarkan melalui pembuluh darah seperti transfusi darah, penggunaan jarum bersama oleh pecandu narkoba, maupun penularan dari ibu ke janin yang dikandungnya. Parasit berkembangbiak dalam sel darah merah, menyebabkan symptom termasuk anemia (sakit kepala ringan, sesak nafas), termasuk juga symptom umum lain seperti demam, mual, koma dan kematian. Penyebaran malaria ini dapat dikurangi dengan proteksi dari gigitan nyamuk melalui kelambu nyamuk berinsektisida. (Munthe C.E, 2001)

Plasmodium merupakan anggota dari phylum *Apicomplexa*, ordo *protozoa* yang termasuk dalam kelas *Sporozoa*, famili *Plasmodidae*, genus *Plasmodium*, dan dibagi dalam spesies *P. Vivax*, *P. Ovale*, *P. malarie*, *P. falciparum*. Daur hidup semua spesies parasit malaria pada manusia sama yaitu mengalami stadium yang berpindah dari vektor nyamuk ke manusia dan kembali ke nyamuk lagi. *Plasmodium* sebagai penyebab malaria memiliki daur hidup dalam 2 bentuk yaitu daur hidup aseksual terjadi pada tubuh manusia (fase eritrosit dan fase di dalam parenkim sel hiper) dan daur hidup seksual yang terjadi pada tubuh nyamuk *Anopheles* (sporogoni).

Nyamuk *Anopheles*, bersifat reseptif atau rentan terhadap infeksi dengan parasit malaria menunjukkan kecocokan fisiologis antara nyamuk sebagai inang definitif dan *plasmodium*, sebagai parasit malaria. Bagi parasit

nyamuk merupakan media vital untuk menyelesaikan sebagian daur hidupnya yang penting yaitu reproduksi seksual. Panjang umur (*longevity*) nyamuk menentukan kelangsungan daur seksual dan sporogonik parasit malaria dalam nyamuk yang diinfeksi. Sifat antropofilik merupakan sifat mutlak dari nyamuk untuk dapat terinfeksi dengan dan menularkan parasit malaria antar manusia. Kepadatan nyamuk vektor yang antropofilik dan terinfeksi parasit akan menambah jumlah dan frekuensi kontak nyamuk-parasit malaria-manusia.

Beberapa faktor penghambat pemberantasan malaria antara lain terbatasnya pengetahuan mengenai biologi parasit, vektor, ekologi manusia dan lingkungan. Faktor lingkungan fisik dan meteorologi di Indonesia sangat menguntungkan terjadinya transmisi malaria. Pengaruh suhu berbeda untuk setiap spesies. Pada suhu 26,7° C masa inkubasi eksentrik adalah 10 -12 hari (*falciparum*); 8-11 hari (*vivoax*); 14-15 hari (malariae dan ovale) (Subbarao, 1998). Pengaruh lingkungan fisik pada perkembangan nyamuk *Anopheles* adalah sebagai berikut: Suhu berpengaruh terhadap perkembangan parasit pada nyamuk, semakin tinggi suhu akan semakin pendek masa inkubasi pada nyamuk, sebaliknya makin rendah suhu maka akan makin panjang masa inkubasi. Kelembaban yang rendah memperpendek umur nyamuk. Batas kelembaban 60% merupakan batas paling rendah untuk memungkinkan hidupnya nyamuk. Pada kelembaban yang lebih tinggi nyamuk menjadi lebih aktif dan sering menggigit, sehingga meningkatkan penularan malaria.

Faktor utama langsung dan tidak langsung yang berpengaruh langsung terhadap penularan malaria adalah sebagai berikut: 1). angka menggigit nyamuk pada manusia (m,a), yang dipengaruhi oleh faktor tidak langsung curah hujan, pengelolaan irigasi, perubahan perilaku nyamuk); 2) angka pembawa gametosit (g,x), dipengaruhi faktor tidak langsung importasi parasit, melalui perpindahan penduduk dan imigrasi; 3) lama daur sporogonik (n) dipengaruhi oleh temperatur udara; 4) angka mampu hidup harian (p) dipengaruhi oleh temperatur udara dan kelembaban nisbi.

1.5 EKOLOGI DAN *BIONOMIK* VEKTOR MALARIA

Anopheles merupakan serangga sebagai vektor malaria dapat menularkan parasit pada manusia dan hewan. *Anopheles* termasuk dalam

phylum *Arthropoda*, ordo *Diptera*, klas *Hexapoda*, famili *Culicidae*, sub famili *Anopheline*, genus *Anopheles*, species *Anopheles*. Sebaran penyakit malaria ditemukan pada 64^o Lintang Utara (Rusia) sampai 32^o Lintang Selatan (Argentina), ketinggian yang memungkinkan parasit malaria adalah dari daerah rendah 400 m dibawah permukaan laut (Laut Mati) sampai 2.600 m diatas permukaan laut (Kenya) atau 2.800 m (Bolivia).

Nyamuk *Anopheles* sebagai vektor penyebar malaria, lebih cenderung hidup di daerah beriklim tropis dan sub tropis, tetapi juga dapat hidup di daerah dengan iklim sedang. Nyamuk *Anopheles* jarang ditemukan di daerah pegunungan atau dataran dengan ketinggian lebih dari 2000 meter diatas permukaan air laut dan memiliki spesies sangat beragam. Diperkirakan ditemui tidak kurang dari 3500 spesies nyamuk di muka bumi. Di Indonesia spesies *Anopheles* ditemukan sekitar 400, dan yang mampu menularkan malaria 24 species.

1. Siklus hidup

Nyamuk mengalami metamorfosa sempurna yaitu: telur-jentik-larva-nyamuk dewasa. Seekor nyamuk betina dewasa yang menghisap darah hingga kenyang mampu menghasilkan telur 100-150 butir, dimana sekitar 80% akan menetas menghasilkan larva. Nyamuk *Anopheles* betina mempunyai kemampuan untuk memilih tempat perindukan atau tempat berkembang biak sesuai dengan kesenangan dan kebutuhan. Ada spesies yang senang terkena sinar matahari, seperti *Anopheles sunaicus* dan ada pula yang senang ditempat teduh, seperti *Anopheles. umbrosus*. Tempat perindukan *Anopheles* adalah pada air tawar dan payau yang dipengaruhi oleh kadar garam, kejernihan dan flora.

a. Telur

Nyamuk betina sekali bertelur sebanyak 100-150 butir dan diletakkan diatas permukaan air berbentuk seperti perahu yang bagian bawahnya *convex* dan bagian atas *conkaf* mempunyai sepasang pelampung yang terletak pada sebelah *lateral*. Telur tersebut tidak dapat bertahan di tempat kering. Telur nyamuk akan menetas menjadi larva dalam 2-3 hari.

b. Larva

Larva nyamuk *Anopheles* bernafas melalui sepasang keping-keping *spirakel* pada ujung *posterior* tubuh. Larva pada saat beristirahat, mem-

baringkan tubuh sejajar dengan permukaan air. Larva menghabiskan sebagian besar waktunya untuk memakan alga, bakteri dan mikroorganisme. Larva *Anopheles* terdapat terutama pada genangan-genangan air, rawa-rawa dan tempat-tempat yang paling banyak vegetasinya. Dalam pertumbuhannya larva *Anopheles* mengalami pelepasan kulit sebanyak empat kali. Setelah 7-20 hari larva akan tumbuh menjadi pupa.

c. Pupa

Pupa merupakan tingkatan atau stadium istirahat dan tidak makan. Pupa mempunyai 2 tabung pernafasan (*respiratory trumpet*) yang bentuknya lebar dan pendek digunakan untuk pengambilan O_2 dari udara. Pada pupa belum ada perbedaan antara jantan dan betina. Pupa menetas dalam waktu 1-2 hari yang menjadi nyamuk, yang pada umumnya nyamuk jantan akan menetas lebih dulu dari nyamuk betina.

d. Nyamuk dewasa

Nyamuk *Anopheles* pada stadium dewasa mempunyai *morfologi* kepala, *thoraks* dan *abdomen*. Kepala berfungsi sebagai sensor informasi dan makan. *Thoraks* terdiri atas 3 pasang kaki dan sepasang sayap berfungsi sebagai penggerak. *Abdomen* berfungsi untuk digesti makanan dan perkembangan telur.

Nyamuk *Anopheles* dapat dikatakan sebagai vektor malaria apabila memenuhi suatu persyaratan tertentu seperti kontak dengan manusia cukup besar, merupakan spesies yang selalu dominan, anggota populasi pada umumnya berumur cukup panjang sehingga memungkinkan perkembangan dan pertumbuhan *plasmodium* hingga menjadi *sporozoit*.

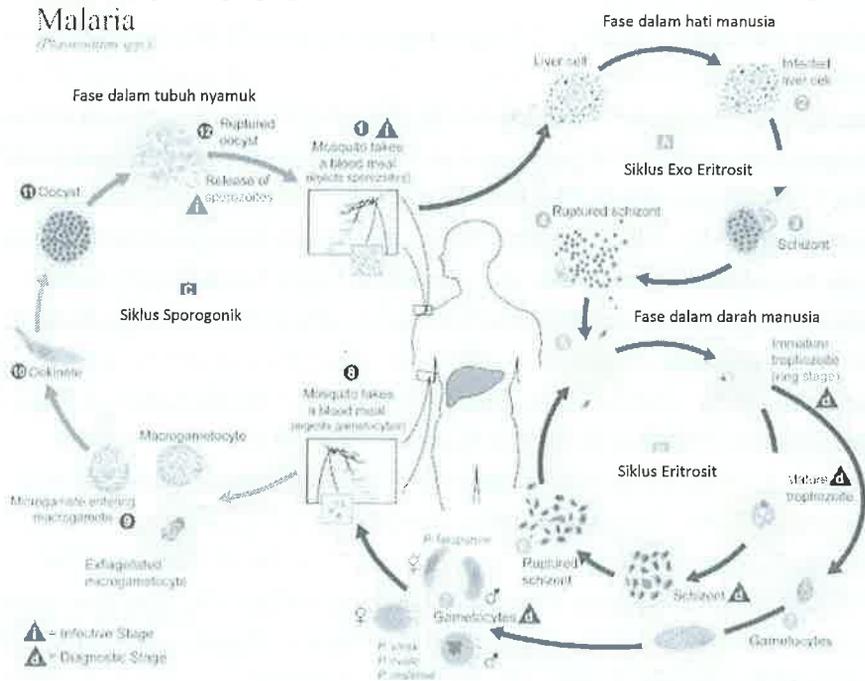
Nyamuk *Anopheles* dapat dibedakan dengan nyamuk lainnya dari palpus yang panjangnya hampir sama dengan panjang prombosisnya dan sayap pada bagian pinggir berbintik yang disebabkan oleh sayap yang tumbuh berkelompok membentuk gambaran belang-belang hitam dan putih, juga dapat dibedakan dari posisi hinggap pada waktu istirahat yaitu membentuk sudut dengan dinding.

Berdasarkan tempat hidupnya, nyamuk dibedakan sebagai berikut:

1. *temporary pool type*, ialah nyamuk yang senang mengeram di genangan air yang sifatnya sementara seperti bekas injakan kerbau, manusia dan beberapa bekas kegiatan lainnya;
2. *artificial container type*, ialah nyamuk yang mengeram pada genangan air yang terdapat dalam kaleng-kaleng

bekas; 3. *tree hole type*, ialah nyamuk yang senang mengeram pada genangan air bersifat sementara yang terdapat pada lubang-lubang pohon, ditemukan pada daerah yang sering turun hujan; 4. *rock pool type*, sama dengan *tree hole type*, hanya saja yang dipilih genangan air yang terdapat dilubang-lubang batu karang.

Hasil penelitian pada sekitar tahun 2010 di wilayah Kabupaten Purworejo ditemukan 10 spesies *Anopheles* yaitu: *Anopheles aconitus*; *Anopheles anularis*; *Anopheles barbirostris*; *Anopheles indefinitus*; *Anopheles kochi*; *Anopheles maculatus*; *Anopheles minimus*; *Anopheles subpictus*; *Anopheles tessellatus* dan *Anopheles vagus*. *Anopheles aconitus* spesies yang paling dominan menggigit orang di dalam rumah, lebih bersifat *eksovagus* dan *eksofilik*, teridentifikasi sebagai vektor penyebar malaria.



Sumber: Center for Diseases Control and Prevention, US Department Of Health and Human Services

Gambar 1.1 Siklus plasmodium dalam penularan malaria

Sebagai vektor penyebar plasmodium nyamuk memiliki beberapa sifat antara lain: (1) larva mengambang sejajar dengan permukaan air; (2)

nyamuk *Anopheles* betina suka mengisap darah, yang sekaligus sebagai media penyebaran *plasmodium*; (3) mampu terbang 0,5–30 Km; (4) mencari mangsa pada malam hari; (5) hidup pada daerah dengan kelembaban tinggi, dengan sedikit penyinaran matahari; (6) lebih suka mengeram pada *temporary pool type* (air dengan genangan sementara); (7) bersembunyi pada *natural resting stations type*.

DAFTAR PUSTAKA

1. CDC Malaria website. "Ross and the Discovery that Mosquitoes Transmit Malaria Parasites" . Dicapai pada 2007-06-15.
2. Kaufman T, Rúveda E (2005). "The quest for quinine: those who won the battles and those who won the war". *Angew Chem Int Ed Engl.* 44 (6): 854–85. PMID 15669029.
3. Kyle R, Shampe M (1974). "Discoverers of quinine". *JAMA.* 229 (4): 462. PMID 4600403.
4. Kain K, Harrington M, Tennyson S, Keystone J (1998). "Imported malaria: prospective analysis of problems in diagnosis and management". *Clin Infect Dis.* 27 (1): 142–9. PMID 9675468
5. Mardihusodo SJ, 1999, Malaria Status Kini dan Pengendalian Nyamuk Vektornya untuk Abad XXI, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
6. Subbarao KS, 1998, Anopheline Species Complexes in South-East Asia, WHO, New Delhi
7. Harjanto P.N, 2000, Malaria, Patogenesis, Manifestasi Klinis, & Penanganan, Penerbit Buku Kedokteran EGC, Jakarta
8. Sutrisno B, 1994, *Pengantar Metode Epidemiologi*, Dian Rakyat, Jakarta
9. Aswar. A, 1986, *Pengantar Ilmu Kesehatan Lingkungan*, Jakarta, PT. Mutiara Sumber Widya.
10. IOM, 2008, *Vector-Borne Diseases: Understanding The Environmental, Human Health And Ecological Connections*. Washington, DC: The National Academies Press.
11. Rahardjo M, 2014. Model Spasial Ekologis Dinamika Vektor Malaria di Purworejo.



DINAMIKA KASUS MALARIA

Malaria merupakan penyakit yang mengalami dinamika sepanjang tahun. Keterpaduan berbagai faktor menjadikan dinamika kasus malaria. *Plasmodium* sebagai agen malaria disebarkan oleh *Anopheles* dari penderita ke orang lain, sehingga berpotensi menjadi penderita baru. Sesuai dengan pendekatan kapasitas vektorial, banyaknya penderita, kepadatan nyamuk menjadi faktor berpengaruh peningkatan kasus malaria. Terdapat perilaku masyarakat yang mendukung terjadinya kontak antara *Anopheles* dengan manusia. Kepadatan nyamuk dikendalikan oleh siklus yang terpengaruh oleh perubahan musim. Pergantian musim terbukti berpengaruh terhadap dinamika kasus malaria. Di Indonesia musim pancaroba (pergantian antar musim) merupakan puncak kepadatan populasi *Anopheles*. Bahasan berikut disajikan dinamika kasus malaria di Indonesia dan kasus global.

2.1 MALARIA GLOBAL

1. Kasus Malaria

Insiden rate (IR) malaria secara global, yaitu jumlah kasus per 1000 penduduk, kasus berkurang antara tahun 2010 hingga 2018; Nilai IR mengalami penurunan dari 71 pada 2010 menjadi 57 pada 2018. Pada rentang tahun 2014 hingga 2018, laju perubahan IR melambat secara dramatis, berkurang dari 60 pada 2013 menjadi 57 pada 2014. Nilai IR tersebut tidak mengalami penurunan pada level yang sama hingga 2018. Wilayah Afrika,

tingkat kejadian kasus menurun dari 294 pada 2010 menjadi 229 pada 2018, mewakili 22% penurunan insiden, meskipun tingkat perubahan juga tampak melambat dari tahun 2014.

Wilayah Mediterania Timur dan Wilayah Pasifik Barat mengalami sedikit peningkatan kasus insiden antara 2010 dan 2018. Laporan WHO Wilayah Amerika melaporkan terjadi peningkatan moderat, sebagian besar disebabkan oleh peningkatan kasus di Venezuela (Republik Bolivarian). Pengurangan tertinggi insiden malaria, terlihat di laporan WHO Wilayah Asia, terutama karena pengurangan di India, Indonesia dan negara-negara di wilayah Indocina. Distribusi geografis angka kejadian kasus malaria menurut negara ditunjukkan pada Tabel 2.1.

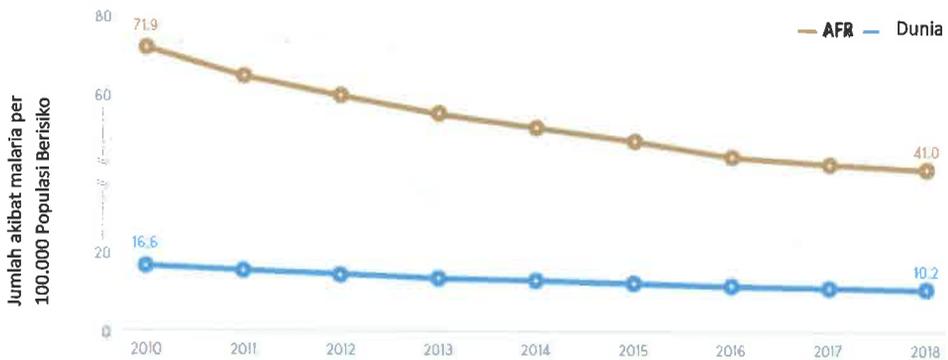
2. Kasus Kematian Malaria

Antara 2010 hingga 2018, diperkirakan kematian karena malaria secara global menurun dari 585.000 menjadi 405.000 kasus (Tabel 2.3). Penurunan tercatat dalam semua wilayah, kecuali untuk wilayah Amerika karena peningkatan malaria di Venezuela (Republik Bolivarian. Peningkatan juga terjadi pada wilayah Mediterania Timur, akibat peningkatan di Somalia, Sudan dan Yaman. Perkiraan tingkat kematian malaria (yaitu kematian per 100.000 penduduk berisiko) menunjukkan bahwa, dibandingkan dengan 2010, hanya wilayah Afrika dan wilayah Asia Tenggara mengalami penurunan hingga 2018. Tertinggi penurunan absolut kematian akibat malaria terjadi di Wilayah Afrika, dari 533.000 kematian pada tahun 2010 menjadi 380.000 kematian pada tahun 2018. Tingkat penurunan angka kematian akibat malaria lebih lambat pada periode 2016-2018 dibandingkan periode 2010-2015.

Hampir 85% dari semua kasus malaria di dunia masuk 19 negara yaitu India dan 18 negara Afrika. Lebih dari 50% dari semua kasus di seluruh dunia tercatat Nigeria (25%), diikuti oleh Republik Demokratik Kongo (12%), Uganda (5%), dan Pantai Gading, Mozambik dan Niger (masing-masing 4%). India melaporkan absolut terbesar pengurangan kasus, dengan 2,6 juta kasus pada 2018 dibandingkan tahun 2017, diikuti oleh Uganda (1,5 juta lebih sedikit kasus) dan Zimbabwe (0,6 juta lebih sedikit kasus).

Peningkatan terlihat di Ghana (peningkatan 8%, 0,5 juta lebih kasus) dan Nigeria (peningkatan 6%, 3,2 juta lebih kasus). Perubahan sisanya 14 negara pada umumnya kecil, jumlah kasus tahun 2017 dan 2018. Lebih dari 85% kasus malaria vivax pada 2018 terjadi hanya di enam negara, dengan kasus mayoritas terjadi di India untuk 47% dari semua kasus vivax secara global.

Secara global, diperkirakan 272.000 (67%) kematian akibat malaria pada anak usia di bawah 5 tahun. Hampir 85% dari seluruh kematian pada tahun 2018 terjadi di 20 negara di wilayah Afrika dan India, dan hampir 50% semua kematian akibat malaria di seluruh dunia tercatat Nigeria (24%) diikuti oleh Republik Demokratik Kongo (11%), Republik Bersatu Tanzania (5%), dan Niger, Mozambik dan Angola (masing-masing 4%).



Sumber: WHO (World Health Organization), 2019

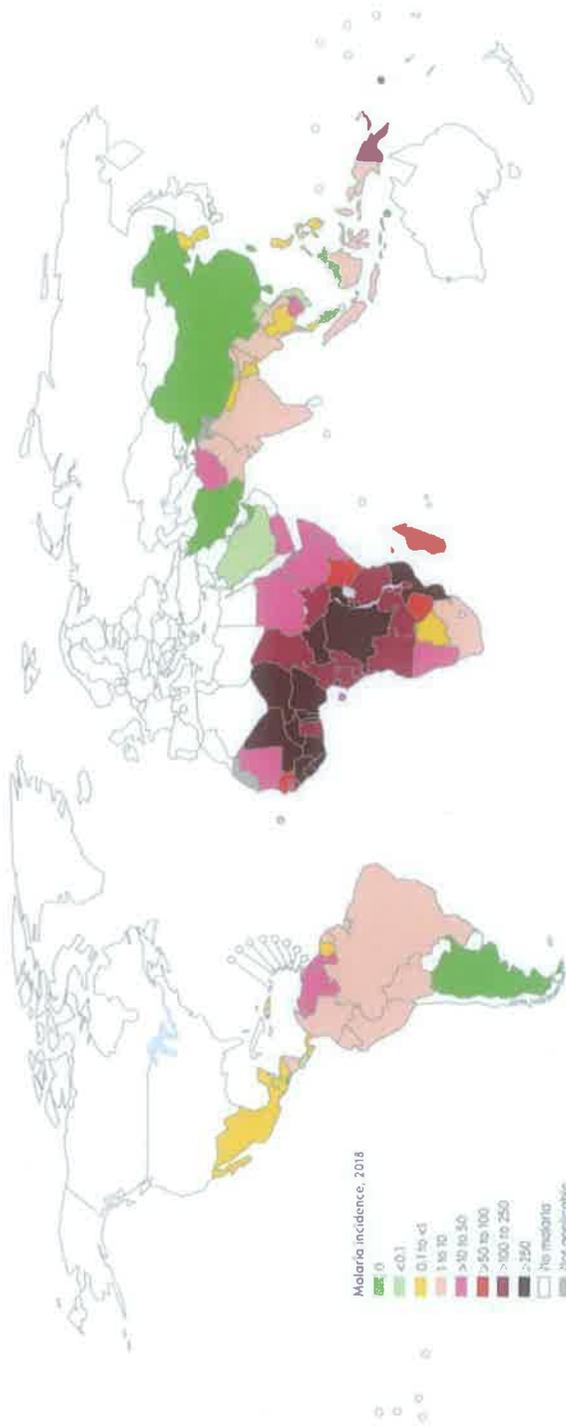
Gambar 2.1 *Trend Angka Kematian Akibat Malaria (Kematian per 100.000 Populasi Berisiko) Global dan Wilayah WHO bagian Afrika.*

Program percepatan perubahan penurunan kasus malaria menjadi tonggak keberhasilan penurunan malaria pada tahun 2025 dan 2030. Insiden kasus malaria global sebesar 45 per 1000 populasi berisiko diperkirakan akan meningkat hal ini terjadi akibat insiden meningkat menjadi 57 kasus per 1000 pada populasi berisiko. Jika saat ini tren insiden dipertahankan, diperkirakan Annual parasite Incidence (API) (per 1000 populasi berisiko) akan menjadi 54 pada tahun 2020, 48 pada tahun 2025 dan 42 pada tahun 2030.

Tabel 2.1 Perkiraan jumlah kematian akibat malaria menurut wilayah WHO, 2010-2018

	Jumlah Kematian									
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
Afrika	533.000	493.000	469.000	444.000	428.000	411.000	389.000	383.000	380.000	
Amerika	459	444	392	391	289	324	474	620	577	
Timur Mediterania	8.300	7.500	7.600	6.900	6.900	7.100	8.600	9.200	9.300	
Europa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Asia Tenggara	39.000	32.000	28.000	21.000	24.000	25.000	25.000	20.000	12.000	
Pasifik Barat	3.800	3.300	3.600	4.600	4.400	2.800	3.500	3.600	3.600	
Dunia	585.000	536.000	508.000	477.000	463.000	446.000	427.000	416.000	405.000	
Dunia (anak-anak berusia di bawah 5 tahun)	450.000	406.000	377.000	348.000	334.000	311.000	290.000	278.000	272.000	

Sumber: World Health Organization, 2019.



Sumber: WHO (World Health Organization), 2019.

Gambar 2.2 Peta angka kejadian kasus malaria (kasus per 1000 penduduk berisiko) menurut negara, 2018

2.2 MALARIA DI INDONESIA

1. Dinamika Kasus dan API

Kasus malaria di Indonesia tahun 2020, tercatat 516.272 kasus, dengan 46.762 positif malaria. Kasus malaria tersebar terutama pada 6 wilayah endemis, yaitu Provinsi Papua, Papua Barat, Maluku, Maluku Utara, Nusa Tenggara Timur. Saat ini masih terdapat 208 kabupaten (40,66%) yang belum eliminasi malaria. Berikut disajikan kasus malaria secara global dan nasional.

Sebaran Kasus Malaria di Indonesia



Sumber: Kementerian Kesehatan RI (Laporan Situasi Terkini Perkembangan Program Pengendalian Malaria Di Indonesia Tahun 2019)

Gambar 2.3 Peta Endemisitas Malaria di Indonesia Tahun 2019

Peta persebaran endemisitas malaria per kabupaten/kota dapat dilihat dalam gambar di atas. Gambaran tersebut menunjukkan, kabupaten/kota endemis tinggi malaria masih terkonsentrasi di kawasan timur Indonesia yaitu di Provinsi Papua, Papua Barat dan NTT dan hanya 1 Provinsi diluar wilayah timur yang masih memiliki kabupaten endemis tinggi yaitu Provinsi Kalimantan Timur di Kabupaten Penajam Paser Utara.

Kasus malaria tahun 2019 di Indonesia sebanyak 250.644, kasus tertinggi yaitu di Provinsi Papua sebanyak 216.380 kasus, disusul dengan

Provinsi NTT sebanyak 12.909 kasus dan Provinsi Papua Barat sebanyak 7.079 kasus. Sebanyak 86% kasus malaria di Indonesia berasal dari Provinsi Papua. Kasus kematian malaria tertinggi pada tahun 2019 terjadi di Provinsi Papua sebanyak 26 pkasus. Rincian kasus positif, API, dan kematian malaria per provinsi dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

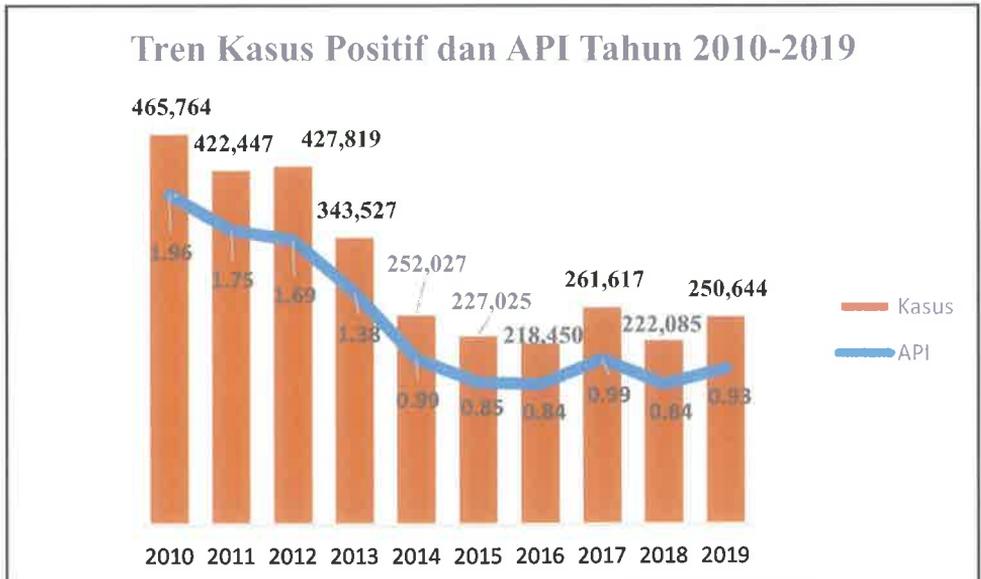
Tabel 2.2 Kasus Positif, API dan Kematian Malaria di Indonesia Tahun 2019

No.	Provinsi	Jumlah Kasus	Jumlah Penduduk	API	Kematian
1	Papua	216.380	3.379.300	64,03	26
2	Nusa Tenggara Timur	12.909	5.456.200	2,37	0
3	Papua Barat	7.079	959.600	7,38	0
4	Kalimantan Timur	2.065	3.721.400	0,55	5
5	Lampung	1.521	8.447.700	0,18	0
6	Maluku	1.302	1.802.900	0,72	0
7	Sumatera Utara	1.033	14.562.500	0,07	1
8	Nusa Tenggara Barat	954	5.070.400	0,19	0
9	Kalimantan Selatan	861	4.244.100	0,20	0
10	Sulawesi Selatan	861	8.851.200	0,09	0
11	Sulawesi Tenggara	812	2.704.700	0,30	0
12	Jawa Timur	636	39.698.600	0,02	0
13	Sematera Selatan	602	8.470.700	0,07	4
14	Maluku Utara	580	1.255.800	0,46	0
15	Sulawesi Utara	501	2.507.000	0,19	1
16	Jawa Barat	436	49.316.700	0,009	3
17	Sumatera Barat	316	5.441.200	0,06	0
18	Jawa Tengah	297	34.718.200	0,008	0
19	Kalimantan Tengah	202	2.714.900	0,07	1
20	Sulawesi Barat	194	1.380.300	0,14	1
21	Sulawesi Tengah	179	3.054.000	0,06	0
22	Kepulauan Riau	139	2.189.700	0,06	0
23	Riau	137	6.971.700	0,02	0
24	Kep. Bangka Belitung	130	1.488.800	0,09	3
25	Aceh	92	5.371.500	0,02	0
26	DKI Jakarta	91	10.557.800	0,009	0
27	Bengkulu	82	1.991.800	0,04	1

Tabel 2.2 Kasus Positif, API dan Kematian Malaria di Indonesia Tahun 2019
(Lanjutan)

No.	Provinsi	Jumlah Kasus	Jumlah Penduduk	API	Kematian
28	Jambi	66	3.624.600	0,02	0
29	Kalimantan Utara	56	742.200	0,08	0
30	Banten	33	12.927.300	0,003	2
31	Bali	32	4.336.900	0,007	0
32	Gorontalo	32	1.202.600	0,03	1
33	Kalimantan Barat	22	5.069.100	0,004	0
34	DI Yogyakarta	12	3.842.900	0,003	0

Berdasarkan tren kasus positif malaria dan API pada grafik diatas terlihat penurunan kasus yang signifikan dari Tahun 2010-2014, namun cenderung stagnan dari Tahun 2014-2019. Stagnan tersebut terjadi karena tren kasus malaria di Provinsi Papua stagnan dan cenderung meningkat. Secara keseluruhan hampir terjadi penurunan kasus malaria di seluruh provinsi di Indonesia dari Tahun 2015-2019.



Gambar 2.4 Grafik Tren Kasus Positif dan API tahun 2010-2018

2. Kematian Akibat Malaria

Kasus kematian akibat malaria masih dilaporkan dari beberapa daerah di Indonesia. Tren kematian akibat malaria terus menurun. Tahun 2019 dilaporkan terdapat 49 kasus kematian malaria.



Gambar 2.5 Grafik Tren Kematian Malaria Tahun 2013-2019

3. Eliminasi Malaria

Eliminasi malaria adalah suatu upaya untuk menghentikan penularan malaria setempat dalam satu wilayah geografi tertentu, dan bukan berarti tidak ada kasus malaria impor serta sudah tidak ada vektor di wilayah tersebut, sehingga tetap dibutuhkan kegiatan kewaspadaan untuk mencegah penularan kembali. Syarat dari eliminasi malaria yaitu adanya sistem yang baik untuk memastikan tidak ada penularan kembali, tidak ada penularan setempat selama tiga tahun berturut-turut, *positivity rate* kurang dari 5 %, dan API kurang dari 1 per seribu penduduk.

Eliminasi malaria merupakan target dari pemerintah Indonesia dalam hal ini Kementerian Kesehatan. Kementerian Kesehatan RI telah menyusun target capaian secara bertahap yaitu RPJMN tahun 2019, 300 Kab/Kota telah melakukan Eliminasi, pada tahun 2025 Indigenous terakhir di Indonesia, tahun 2028 semua Kabupaten/Kota eliminasi malaria, tahun 2029 semua Provinsi dan Regional eliminasi malaria, dan pada tahun 2030 mencapai

Eliminasi Malaria Nasional. Kementerian Kesehatan mengusulkan verifikasi Malaria per Wilayah Regional pada WHO yaitu sebagai berikut :

1. Tahun 2023 regional Jawa-Bali
2. Tahun 2025 regional Sumatera, Sulawesi dan NTB
3. Tahun 2027 regional Kalimantan dan Maluku Utara
4. Tahun 2028 regional Maluku dan Nusa Tenggara Timur
5. Tahun 2029 regional Papua dan Papua Barat

Pada saat terjadi pandemi Covid-19 di Indonesia, sebagian besar wilayah endemis malaria telah terdampak penyebaran virus tersebut dan juga terjadi penurunan penemuan kasus malaria antara tahun 2019-2020. Penurunan penemuan kasus malaria sebanyak 54 % dari tahun 2019 sampai 2020. Selain itu juga terjadi penurunan kasus positif sebanyak 57 %, yaitu sebanyak 111.838 kasus pada tahun 2019 menjadi 47.672 kasus pada tahun 2020.

Tabel 2.3 *Data Endemis Malaria dan Terdampak Covid*

Endemisitas	Jumlah Wilayah	Jumlah Wilayah yang Positif Covid	Presentase Wilayah yang Positif Covid
Bebas Malaria	306	282	92 %
Endemisitas Rendah	154	120	78 %
Endemisitas Sedang	31	21	68 %
Endemisitas Tinggi	23	15	65 %
Total	514	438	85 %

Kasus Covid-19 yang sedang terjadi menjadi penghambat untuk penanganan malaria. Pembatasan interaksi petugas dan penderita merupakan hal yang dialami saat ini. Pengukuran suhu tubuh yang dialami penderita ada kemiripan gejala antara Covid dan Malaria. Pengukuran kewaspadaan diagnosa dibutuhkan untuk memastikan penyakit yang diderita penduduk.

DAFTAR PUSTAKA

1. WHO. World malaria report 2019. 2019.
2. Kementrian Kesehatan Republik Indonesia, 2019. Program Pengendalian Malaria Tahun 2019.

3

SPESES DAN HABITAT VEKTOR MALARIA

Bab ini membahas tentang *Anopheles* yang ditemukan di Indonesia dan habitat setiap spesies. Spesies dikelompokkan sesuai dengan wilayah ditemukan. Habitat setiap spesies dijabarkan dalam kualitas tempat biakan (*breeding place*), kualitas tempat istirahat (*resting place*), yang berada pada setiap bentang lahan di permukaan bumi.

3.1 NYAMUK *ANOPHELES*

1. Taksnomi *Anopheles*

Nyamuk sebagai vektor tular malaria dapat memindahkan parasit pada manusia dan hewan. Klasifikasi berdasarkan taksonomi serangga penular malaria adalah sebagai berikut.

- Phylum : *Arthropoda*,
- Ordo : *Diphthera*,
- Klas : *Hexapoda*,
- Famili : *Culicidae*,
- Sub famili : *Anopheline*,
- Genus : *Anopheles*,
- Species : *Anopheles aconitus*, *An.vagus*, *An. Balabacensis* dll.

Nyamuk mengalami metamorfosa sempurna. Nyamuk betina meletakkan telur di air atau dekat air yang bila lingkungan sesuai dengan kebutuhannya masa telur ini akan berlangsung 2-3 hari. Bila telur tersebut menetas akan membentuk larva yang berumur 4-10 hari. Bentuk kepom-

pong merupakan bentuk berikutnya yang berumur 2 hari dan akan berubah menjadi nyamuk dewasa yang siap untuk bereproduksi kembali. Nyamuk *Anopheles* sebagai vektor penyebaran malaria memiliki daur hidup yang sama dengan spesies lain.

2. Spesies *Anopheles* di Indonesia

Nyamuk *Anopheles* sebagai vektor penyebar malaria, memiliki spesies sangat beragam. Diperkirakan ditemui tidak kurang dari 3500 spesies nyamuk di muka bumi, sedangkan untuk spesies *Anopheles* ditemukan sebanyak 400, yang mampu menularkan malaria sebanyak 67 spesies, 24 diantaranya ditemukan di Indonesia.

Penyakit malaria di Indonesia ada empat jenis yaitu Malaria Tertiana (*Plasmodium vivax*); Malaria Quartana/Malarie; Malaria Ovale; dan Malaria Tropika (*Plasmodium falciparum*). Secara umum penyakit malaria disebabkan oleh *Plasmodium*, yang penyebarannya dilakukan oleh nyamuk *Anopheles*.

Di Kabupaten Jepara ditemukan 10 spesies *Anopheles* yaitu: *Anopheles aconitus*; *Anopheles anularis*; *Anopheles barbirostris*; *Anopheles indenfinitus*; *Anopheles kochi*; *Anopheles maculatus*; *Anopheles minimus*; *Anopheles subpictus*; *Anopheles tessellatus* dan *Anopheles fagus*. *Anopheles aconitus* spesies yang paling dominan menggigit orang di dalam rumah, lebih bersifat eksofagus dan eksofilik, teridentifikasi sebagai vektor penyebar malaria di Jepara.

Sebagai vektor penyebar *plasmodium* nyamuk memiliki beberapa sifat antara lain: (1) larva mengambang sejajar dengan permukaan air; (2) nyamuk *Anopheles* betina suka mengisap darah, yang sekaligus sebagai media penyebaran *plasmodium*; (3) mampu terbang 0,5-30 Km; (4) mencari mangsa pada malam hari; (5) hidup pada daerah dengan kelembaban tinggi, dengan sedikit penyinaran matahari; (6) lebih suka mengeram pada *temporary pool type* (air dengan genangan sementara); (7) bersembunyi pada *natural resting stations type*.

Anopheles

Nyamuk *Anopheles* merupakan satu genus dari famili *Culicidae*, ordo *Diptera*, kelas *Insecta*. Genus *Anopheles* yang telah diidentifikasi sebanyak 400 spesies menyebar hampir keseluruh dunia, 40 spesies diantaranya merupakan vektor malaria.

a. *Anopheles sundaicus*

Nyamuk *Anopheles sundaicus* mengisap darah manusia dan hewan ternak, tempat istirahat di kandang ternak atau di dalam rumah. Puncak aktivitas menghisap darah pada malam hari.

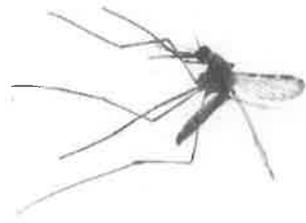
Jarak terbang nyamuk *Anopheles Sundaicus* relative jauh yaitu lebih dari 4 km. Penyebaran

nyamuk *Anopheles sundaicus* tersebar di Pulau Sumatera, Kalimantan, Jawa bagian selatan, Madura, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi, dan Maluku. Habitat *Anopheles sundaicus* di daerah langun dan pinggir pantai. Perindukan Di air payau dan terdapat tumbuh-tumbuhan dengan kadar garam sekitar 1,2 sampai 1,8%.

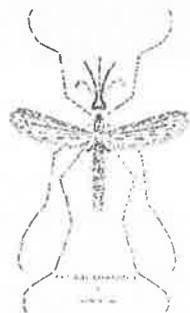
b. *Anopheles aconitus*

Nyamuk *Anopheles aconitus* sering masuk ke dalam rumah pada malam hari, menyukai menghisap darah manusia, sapi dan kerbau.

Nyamuk *Anopheles aconitus* dapat dijumpai hingga ketinggian \pm 850 meter di atas permukaan laut, tersebar di Pulau Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara dan Sulawesi. Habitat nyamuk *Anopheles aconitus* di daerah persawahan, parit, sungai, dan kolam.

c. *Anopheles barbirostris*

Spesies ini terdapat di seluruh Indonesia, baik di dataran tinggi maupun di dataran rendah. Jentik biasanya terdapat dalam air yang jernih, alirannya tidak begitu cepat, ada tumbuh-tumbuhan air dan pada tempat yang agak teduh seperti pada tempat yang agak teduh seperti pada sawah dan parit. Perindukannya yaitu pada Air jernih, Alirannya tidak begitu cepat, Terdapat tumbuhan air serta Tempat teduh seperti sawah dan parit.

d. *Anopheles kochi*

Spesies ini terdapat diseluruh Indonesia, kecuali Irian.

Jentik biasanya ditemukan pada tempat perindukan terbuka seperti genangan air, bekas tapak kaki kerbau, kubangan, dan sawah yang siap ditanami.

e. *Anopheles maculatus*

Penyebaran spesies ini di Indonesia sangat luas, kecuali di Maluku dan Irian. Spesies ini terdapat di daerah pengunungan sampai ketinggian 1600 meter di atas permukaan air laut. Jentik ditemukan pada air yang jernih dan banyak kena sinar matahari.

f. *Anopheles subpictus*

Spesies ini terdapat di seluruh wilayah Indonesia. Nyamuk ini dapat dibedakan menjadi dua spesies yaitu:

- 1) *Anopheles subpictus subpictus* Jentik ditemukan di dataran rendah, kadang-kadang ditemukan dalam air payau dengan kadar garam tinggi.
- 2) *Anopheles subpictus malayensis* Spesies ini ditemukan pada dataran rendah sampai dataran tinggi. Jentik ditemukan pada air tawar, pada kolam yang penuh dengan rumput pada selokan dan parit.

g. *Anopheles balabacensis*

Spesies ini terdapat di Purwakarta, Jawa Barat, Balikpapan, Kalimantan Timur, Kalimantan Selatan. Jentik ditemukan pada genangan air bekas tapak binatang, pada kubangan bekas roda dan pada parit yang aliran airnya terhenti. Perindukan pada Air payau dengan kadar garam tinggi

h. *Anopheles vagus*

Nyamuk *Anopheles vagus* ditemukan dengan kepadatan tinggi di beberapa daerah endemik malaria. Habitat nyamuk *Anopheles vagus* bervariasi, baik di dataran tinggi maupun rendah. Nyamuk *Anopheles Vagus* ditemukan juga di daerah Kecamatan Sambalia Kabupaten Lombok Timur Provinsi Nusa Tenggara Barat. Habitat *Anopheles vagus* di daerah langun, pinggir pantai dan air payau.

i. *Anopheles farauti*

Nyamuk *Anopheles farauti* dewasa aktif mencari darah pada malam hari dan dapat ditemukan di dalam rumah. Tempat istirahat di luar

rumah umumnya di tempat dingin, lembab dan ternaung dari cahaya matahari. Nyamuk *Anopheles farauti* dapat ditemukan di daerah pantai sampai pada ketinggian 2.250 meter di atas permukaan laut. Penyebaran nyamuk *Anopheles farauti* dapat ditemukan di Pulau Maluku dan Papua. Habitat *Anopheles farauti* di daerah pinggir pantai dan lagun. Tempat perindukan diantaranya Disawah yang siap ditanami, Genangan air dan Bekas tapak kaki kerbau



j. *Anopheles punctulatus*

Nyamuk *Anopheles punctulatus* dewasa menyukai darah manusia, dan aktif menghisap darah pada malam hari. Habitat nyamuk *Anopheles punctulatus* di sawah, kolam buatan, genangan air, selokan dan tepian sungai. Penyebaran nyamuk *Anopheles punctulatus* tersebar di Pulau Maluku dan Papua. Habitat *Anopheles punctulatus* di daerah persawahan, parit, sungai dan kolam.



k. *Anopheles koliensis*

Nyamuk *Anopheles koliensis* dewasa menghisap darah manusia. Puncak aktivitas menghisap darah setelah tengah malam, dan beristirahat di dalam rumah pada siang hari. Nyamuk *Anopheles koliensis* mampu hidup di lokasi dengan ketinggian 2.375 m di atas permukaan laut, dapat ditemukan di sawah, rawa, genangan air dan pinggiran hutan. Penyebaran nyamuk *Anopheles koliensis* tersebar di Pulau Papua. Habitat *Anopheles koliensis* di daerah persawahan, parit, sungai dan kolam.



l. *Anopheles nigerrimus*

Nyamuk *Anopheles nigerrimus* menggigit manusia di luar rumah pada senja dan malam hari, jarang ditemukan di dalam rumah dan di kandang ternak. Habitat nyamuk *Anopheles nigerimus* dapat ditemukan di sawah, danau, kolam berumput dan tepi sungai. Penyebaran nyamuk *Anopheles*



nigerrimus tersebar di Pulau Sumatera, Kalimantan, Jawa dan Sulawesi. Habitat *Anopheles nigerrimus* di daerah persawahan, parit, sungai dan kolam

m. *Anopheles sinensis*

Nyamuk *Anopheles sinensis* merupakan spesies zoofilik, jarang menggigit manusia di dalam rumah dan banyak ditemukan di kandang ternak. Penyebaran nyamuk *Anopheles sinensis* tersebar di Pulau Sumatra. Habitat *Anopheles sinensis* di daerah persawahan, sungai, parit dan kolam

m. *Anopheles flavirostris*

Nyamuk *Anopheles flavirostris* menyukai darah manusia dan hewan ternak. Tempat istirahat di luar rumah, dapat ditemukan di tepian sungai dan pinggir hutan. Penyebaran nyamuk *Anopheles flavirostris* hanya di Pulau Sulawesi. Habitat *Anopheles flavirostris* di daerah rawa-rawa, genangan air dan hutan. Tempat perindukan pada Air jernih, Alirannya tidak begitu cepat, Terdapat tumbuhan air dan Tempat teduh seperti sawah dan parit



n. *Anopheles minimus*

Nyamuk *Anopheles minimus* ditemukan di hutan dan dataran tinggi. Aktivitas menghisap darah pada malam hari dan menyukai menghisap darah manusia dan hewan ternak. Penyebaran nyamuk *Anopheles minimus* tersebar di Pulau Sumatera, Weh, Nias, Kalimantan, Jawa, Sulawesi dan Nusa Tenggara. Habitat *Anopheles Minimus* di daerah pinggiran pantai dan langun.



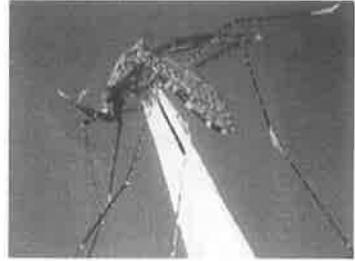
o. *Anopheles bancroftii*

Nyamuk *Anopheles bancroftii* dewasa menggigit manusia baik di dalam maupun di luar rumah. Penyebaran nyamuk *Anopheles bancroftii* ditemukan di Pulau Sulawesi, Maluku dan di Papua. Habitat nyamuk *Anopheles bancroftii* di daerah perairan teduh seperti rawa, genangan air dan hutan.



p. *Anopheles leucosphyrus*

Nyamuk *Anopheles Leucosphyrus* dikenal sebagai nyamuk hutan dan tidak ditemukan beristirahat di dalam rumah pada siang hari. Aktivitas menghisap darah biasanya setelah pukul 22.00. Habitat nyamuk *Anopheles Leucosphyrus* di perairan tepi hutan, rawa-rawa, dan kubangan air. Penyebaran nyamuk *Anopheles Leucosphyrus* tersebar di Pulau Sumatera, Nias, Kalimantan, Jawa dan Sulawesi. Habitat *Anopheles Leucosphyrus* di daerah persawahan, parit, sungai dan kolam. Sedangkan perindukan nyamuk payau dengan kadar garam tinggi

q. *Anopheles umbrosus*

Nyamuk *Anopheles umbrosus* lebih senang mengisap darah manusia daripada hewan dan di dalam hutan lebih banyak yang aktif mencari darah pada siang hari. Nyamuk *Anopheles umbrosus* tergolong nyamuk hutan dan tempat berkembangbiaknya di genangan-genangan air yang tidak mengalir di dalam hutan yang terlindung dari sinar matahari langsung dan rawa-rawa, selain itu dijumpai pula di sungai yang mengalir perlahan. Penyebaran nyamuk *Anopheles umbrosus* ditemukan di Pulau Sumatra dan Kalimantan.

r. *Anopheles letifer*

Anopheles letifer lebih suka darah binatang seperti darah kerbau, sapi dan kerbau namun sering juga ditemukan mengisap darah manusia. Penyebaran nyamuk *Anopheles letifer* ditemukan di Pulau Sumatra Utara, Sumatra Selatan, Kalimantan Barat dan Kalimantan Tengah. Perindukannya pada air payau dengan kadar garam tinggi

s. *Anopheles annularis*

Anopheles annularis ditemukan pada air tergenang berupa sawah yang sudah di tanami, kolam dan sungai yang berumput dan parit yang didalamnya terdapat vegetasi yang mengapung di permukaan air. Habitat *Anopheles annularis* di lokasi transmigrasi Manggala, Lampung Utara berupa sawah, rawa dan parit dengan pH 4,5-7. Tempat perindukan pada tumbuhan bakau



- t. *Anopheles barbumbrosus*, *Anopheles minimus* dan *Anopheles ludlowae* Ditemukan di Sulawesi barat serta perindukan di tumbuhan bakau. *Anopheles ludlowae* ditemukan pada Sulawesi Tengah tempat perindukan pada tumbuhan bakau. *Anopheles minimus* Nusa Tenggara Timur
- u. *Anopheles nigerrimus*, *Anopheles parangensis*, *Anopheles peditaeniatus* *Anopheles nigerrimus* Sumatera Utara, dan Kalimantan Barat Air payau dengan kadar garam tinggi. *Anopheles parangensis* Ditemukan di Sulawesi Utara. Lingkungan perindukannya yaitu Air jernih, Alirannya tidak begitu cepat, Terdapat tumbuhan air dan Tempat teduh seperti sawah dan parit. *Anopheles peditaeniatus* Kalimantan Timur Air payau dengan kadar garam tinggi
- v. *Anopheles punctulatus*, *Anopheles tessellatus*, dan *Anopheles umbrosus* *Anopheles punctulatus* Sulawesi Tenggara, Nusa Tenggara Timur, Maluku, Papua Barat, dan Papua perindukannya berada di sawah yang siap ditanami, Genangan air, Bekas tapak kaki kerbau, Kubangan. *Anopheles tessellatus* terdapat di DKI Jakarta, Jawa Tengah dan Nusa Tenggara Barat di air payau dan terdapat tumbuh-tumbuhan dengan kadar garam sekitar 1,2 sampai 1,8% *Anopheles umbrosus* ditemukan Sumatera Utara, Sulawesi Selatan dan Sulawesi Utara air jernih di daerah pegunungan dengan ketinggian mencapai 1600 meter diatas permukaan air laut.

3.2 HABITAT NYAMUK ANOPHELES

1. Bentanglahan dan Habitat *Anopheles*

Alam tersusun oleh *litosfer*, *pedosfer*, *hidrosfer*, *biosfer*, *atmosfer* dan *anthroposfer*, dalam perkembangannya mengalami perubahan secara terus menerus sepanjang waktu menghasilkan bentuklahan hingga saat ini (Huggett, 1995). Identifikasi suatu wilayah dapat dilakukan dengan melakukan tinjauan terhadap kondisi geomorfologi yaitu bentuklahan (*morfologi*), proses geomorfik (*morfogenesis*), urutan pembentukan (*morfokronologi*), dan morfoasosiasi (*morfoarrangement*) (Van Zuidam, 1974, Verstappen, 1983, dalam Sutikno, 2000). Bentuk-bentuk kenampakan permukaan bumi dipengaruhi oleh faktor-faktor yang terdapat pada permukaan bumi antara lain unsur cuaca, sifat alami, susunan struktural dari pelapisan dan waktu yang diperlukan untuk proses (Desauneths, 1977). Salah satu model pengelompokkan satuan bentuklahan permukaan bumi, dilakukan dengan

pendekatan genetik, yang menghasilkan beberapa bentuklahan antara lain: 1. bentuklahan asal proses denudasional; 2. bentuklahan asal proses struktural; 3. bentuklahan asal proses vulkanik; 4. bentuklahan asal proses fluvial; 5. bentuklahan asal proses marin; 6. bentuklahan asal proses glasial; 7. bentuklahan asal proses aeolin; 8. bentuklahan asal proses solusional; 9. bentuklahan asal proses aktifitas organisme.

Beberapa bentuk lahan membentuk bentanglahan yang dapat dikenali melalui 3 penciri utama, yaitu struktur, proses dan stadium (Davis, 1904); struktur geologis, morfologis dan proses (Lobeck, 1939); bentuklahan, materi, proses (King, 1979). Ekologi bentanglahan melihat terjadinya konsep keseimbangan ekologis makhluk hidup pada setiap satuan bentanglahan pengaruhnya terhadap kehidupan manusia. Perubahan yang terjadi terhadap satuan bentanglahan akan berpengaruh langsung terhadap keseimbangan ekologinya (Farima, 1998).

Karakteristik wilayah merupakan hasil proses interaksi antara berbagai komponen di permukaan bumi yaitu atmosfer, biosfer hidrosfer, lithosfer, pedosfer dan anthrosfer (Huggett, 1995). Atmosfer merupakan lingkungan udara yang berdasarkan ketinggian dibedakan menjadi stratosfer (> 10.000 m), dan troposfer (< 10.000 m), (Oke, 1977). Karakteristik pada lingkungan atmosfer secara umum dinyatakan dalam cuaca, dimana untuk setiap wilayah memiliki karakteristik tersendiri (Schmidt & Ferguson, 1951). Parameter unsur cuaca yang terjadi pada setiap saat dikenal sebagai cuaca pada suatu wilayah yang memiliki parameter suhu udara, kelembaban, tekanan udara, arah&kecepatan angin, curah hujan, kelembaban tanah, evaporasi, suhu tanah, radiasi matahari dan lama penyinaran matahari.

Lithosfer merupakan lingkungan tanah yang memiliki sifat dan karakteristik tertentu. Secara umum tanah tersusun dari bahan mineral 38%, larutan tanah 15-35%, udara tanah 15-35%, dan bahan organik 12%. Tanah memiliki beberapa sifat antara lain: 1. **sifat fisik tanah** (susunan mekanik tanah, struktur tanah, konsistensi tanah, lengas tanah, suhu tanah, warna tanah); 2. **sifat kimia** (reaksi tanah, kemampuan tukar kation, muatan elektrostatis, sifat redoks, kegaraman, sifat hayati).

Hidrosfer merupakan lingkungan air yang ada di bumi, terdiri dari air, uap air, es dan salju. Air di bumi berbentuk air laut, air sungai, danau,

kolam, rawa, air tanah. Biosfer merupakan lingkungan kehidupan di bumi terdiri dari kehidupan tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme. Kehidupan tergantung dari lingkungan untuk bertahan hidup, yaitu sumber mineral, dan sinar matahari. Anthroposfer merupakan kehidupan manusia dengan kebudayaan yang dimiliki terdiri dari penduduk, lingkungan, organisasi sosial dan teknologi.

Geomorfologi wilayah memiliki keterkaitan langsung dengan distribusi dan kerapatan vegetasi, baik secara *altitudinal* maupun *latitudinal*. Secara *latitudinal* dan *altitudinal* dipengaruhi oleh faktor unsur cuaca seperti curah hujan, kelembaban dan suhu udara, yang akan membentuk tipe vegetasi tertentu. Bentuklahan, komponen vertikal, relief juga merupakan faktor penting yang akan menentukan karakteristik kerapatan vegetasi. Beberapa zoning vegetasi berdasarkan kerapatan dan tipe vegetasi, misalnya *quercus ilex*, *quercus pubescens* dan *fagus silvatica*, menunjukkan distribusi vegetasi secara *altitudinal*.

Ditinjau dari tempat hidupnya, nyamuk dibedakan sebagai berikut: 1. *Temporary Pool Type*, ialah nyamuk yang senang mengeram digenangan air yang sifatnya sementara seperti bekas injakan kerbau, manusia dan beberapa lainnya; 2. *Artificial Container Type*, ialah nyamuk yang mengeram pada genangan air yang terdapat dalam kaleng-kaleng bekas, yang dibuang sembarangan; 3. *Tree Hole Type*, ialah nyamuk yang senang mengeram pada genangan air yang bersifat sementara yang terdapat pada lubang-lubang pohon, ditemukan pada daerah yang sering turun hujan; 4. *Rock Pool Type*, sama dengan treehole type, hanya saja yang dipilih genangan air yang terdapat dilubang-lubang batu karang.

2. Bio-Geografis Nyamuk

Keberadaan suatu organisme pada suatu wilayah dipengaruhi oleh: 1 terdispersal dan tidaknya organisme pada suatu wilayah; 2. pengaruh faktor pembatas yang tidak memungkinkan organisme hidup dan berkembang sesuai rentang toleransi hidup organisme; 3. perubahan lingkungan yang menyebabkan organisme tidak mampu melakukan adaptasi atau mutasi. Organisme dikendalikan oleh lingkungan (habitat) dengan dua cara yaitu ambang batas organisme dalam jumlah yang dibutuhkan oleh semua organisme untuk dapat bertahan hidup, dan batas toleransi

dimana organisme masih mampu bertahan hidup dan berkembang. Dalam menyikapi perubahan lingkungan organisme dapat melakukan berbagai reaksi terhadap perubahan tersebut antara lain migrasi, adaptasi atau mutasi. Pertumbuhan populasi yang melampaui daya dukung akan memberikan beban kepada daya dukung dan akan terjadi konsep homeostatis, dimana jumlah populasi akan berada pada jumlah tetap, sesuai dengan daya dukung lingkungan yang ada.

Kajian lingkungan melihat secara komprehensif seluruh komponen sebagai satu kesatuan yang saling berhubungan (*interaksi*) dan ketergantungan / *interdependensi*. Pendekatan dilakukan dengan prinsip interdisiplin dan multi disiplin dari berbagai disiplin ilmu antara lain geografi, hukum ekonomi, manajemen, hidrologi, meteorologi, geomorfologi, geologi, sosial, ekologi, dan dinamika populasi. Kajian secara luas dapat dikelompokkan kedalam komponen abiotik (lingkungan fisik), komponen biotik (lingkungan biologi) dan *culture* (lingkungan budaya).

Fluktuasi curah hujan akan berpengaruh pada perkembangan nyamuk. Hujan yang diselingi panas akan memperbesar kemungkinan berkembangbiaknya nyamuk *Anopheles*. Ketinggian tempat berkorelasi dengan suhu, semakin tinggi suatu wilayah, penyebaran malaria makin jarang ditemui, kecuali akibat pengaruh pemanasan bumi dan El Nino. Ketinggian paling tinggi masih memungkinkan transmisi malaria sekitar 2500 M di atas permukaan laut. Pengaruh angin adalah pada kemampuan jarak terbang nyamuk. Pengaruh sinar matahari memberikan pengaruh berbeda pada spesies nyamuk. Arus air juga memberikan pengaruh berbeda untuk setiap spesies.

3. *Entomological Innoculation Rate (EIR) Malaria*

Model yang mendasari timbulnya penyakit ada tiga yaitu Segitiga Epidemiologi (*The Epidemiologic Triangle*); Jaringan-Jaringan Sebab Akibat (*The Web of Causation*); Roda (*The wheel*). Model segitiga epidemiologi terdapat 3 faktor munculnya penyakit yaitu *agent*, lingkungan dan inang. Menurut model ini perubahan dari salah satu faktor akan mengubah keseimbangan antara mereka, yang berakibat bertambah atau berkurangnya penyakit yang bersangkutan. Model jaringan-jaringan sebab akibat menjelaskan suatu penyakit tidak berdiri sendiri melainkan sebagai akibat dari serangkaian proses

makhluk hidup dan lingkungan. Timbulnya penyakit dapat dicegah atau dihentikan dengan memotong rantai pada berbagai titik, sedangkan pada model *wheel* memerlukan identifikasi berbagai faktor yang berperan dalam timbulnya penyakit dengan tidak begitu menekankan pada *agent*.

Kejadian malaria melibatkan banyak faktor penentu yang dikelompokkan kedalam 3 faktor yaitu,; a. *agen* penyakit: *Plasmodium vivax*; *Plasmodium malarie*; *Plasmodium falciparum*; *Plasmodium ovale*; b. inang (manusia) c. lingkungan (*lingkungan fisik, biologis dan sosio ekonomi*). Keberhasilan pengendalian vektor malaria sangat tergantung pada dilakukannya proses modifikasi terhadap faktor epidemiologis. Keberhasilan dari aspek entomologis, tergantung dari dapat tidaknya dilakukan identifikasi spesies nyamuk yang memiliki kemampuan untuk menularkan parasit malaria. Aspek biologi nyamuk mencerminkan besar kompetensi vektorial atau kapasitas vektorial dari nyamuk vektor tersebut.

Plasmodium merupakan anggota dari phylum *Apicomplexa*, ordo *protozoa* yang termasuk dalam kelas *Sporozoa*, famili *Plasmodidae*, genus *Plasmodium*, dan dibagi dalam spesies *P.vivax*, *P.ovale*, *P.malarie*, *P. falciparum*. Daur hidup semua spesies parasit malaria pada manusia sama yaitu mengalami stadium yang berpindah dari vektor nyamuk ke manusia dan kembali ke nyamuk lagi. *Plasmodium* sebagai penyebab malaria memiliki daur hidup dalam 2 bentuk yaitu daur hidup *aseksual* terjadi pada tubuh manusia (fase *eritrosit* dan fase di dalam *parenkim sel hepar*) dan daur hidup *seksual* yang terjadi pada tubuh nyamuk *Anopheles (sporogoni)*.

Nyamuk *Anopheles*, bersifat reseptif atau rentan terhadap infeksi dengan parasit malaria menunjukkan kecocokan *fisiologis* antara nyamuk sebagai inang definitif dan *plasmodium*, sebagai parasit malaria. Bagi parasit, nyamuk merupakan media vital untuk menyelesaikan sebagian daur hidupnya yang penting yaitu reproduksi *seksual*. Panjang umur (*longevity*) nyamuk menentukan kelangsungan daur *seksual* dan *sporogonik* parasit malaria dalam nyamuk yang diinfeksi. Sifat *anthropofilik* merupakan sifat mutlak dari nyamuk untuk dapat terinfeksi dengan dan menularkan parasit malaria antar manusia. Kepadatan nyamuk vektor yang *anthropofilik* dan terinfeksi parasit jelas akan menambah jumlah dan frekuensi kontak nyamuk-parasit malaria-manusia.

Kapasitas vektorial merupakan jumlah orang yang secara efektif mampu digigit dan ditulari parasit malaria (*sporozoit*) oleh seekor nyamuk *Anopheles* spesies tertentu per satuan waktu, dari satu orang manusia sumber penyakit malaria. Secara matematis dirumuskan sebagai berikut (Garret-Jones & Shidrawi, 1969, dalam Mardihusodo, 1999).

$$C = (ma)(x)[p^n / -\ln p] \quad (2.1)$$

Keterangan :

- C = kapasitas vektorial
- m = kepadatan nyamuk per orang per jam.
- a = jumlah orang digigit seekor nyamuk per hari atau per malam.
- x = proporsi penduduk yang positif untuk parasit malaria.
- p = probabilitas seekor nyamuk tetap hidup dalam masa 1 hari.
- n = lamanya daur sporogonik.

Sementara untuk peramalan kejadian luar biasa suatu penyakit malaria, diperhitungkan dari faktor langsung dan faktor tidak langsung, yang dinyatakan dalam *Entomological Inoculation Rate* (EIR), yang dirumuskan sebagai berikut. (Onori and Grab, 1980 dalam Mardihusodo, 1999).

$$h' = [m a^2 . g . x . p^n] / [a . g . x . -\ln p] \quad (2.2)$$

Keterangan :

- h' = *Entomological Inoculation Rate* (EIR)
- g = Proporsi penduduk yang positif untuk gamatosit.
(m, a, x, p, dan n dalam formula (1).).

4. Faktor Lingkungan dan *Anopheles*

Analisis ekologi mencakup, kualitas breeding, spesies hasil biakan dan hasil confirmatif test untuk vektor. Hasil penelitian kualitas air sebagai breeding place terdiri dari parameter lapangan dan parameter laboratorium. Parameter lapangan terdiri dari derajat keasaman (pH), salinitas, daya hantar listrik (*electric conductivity*), kekeruhan (NTU). Sedangkan parameter laboratorium terdiri dari alkalinitas, kesadahan total dan kesadahan Ca.

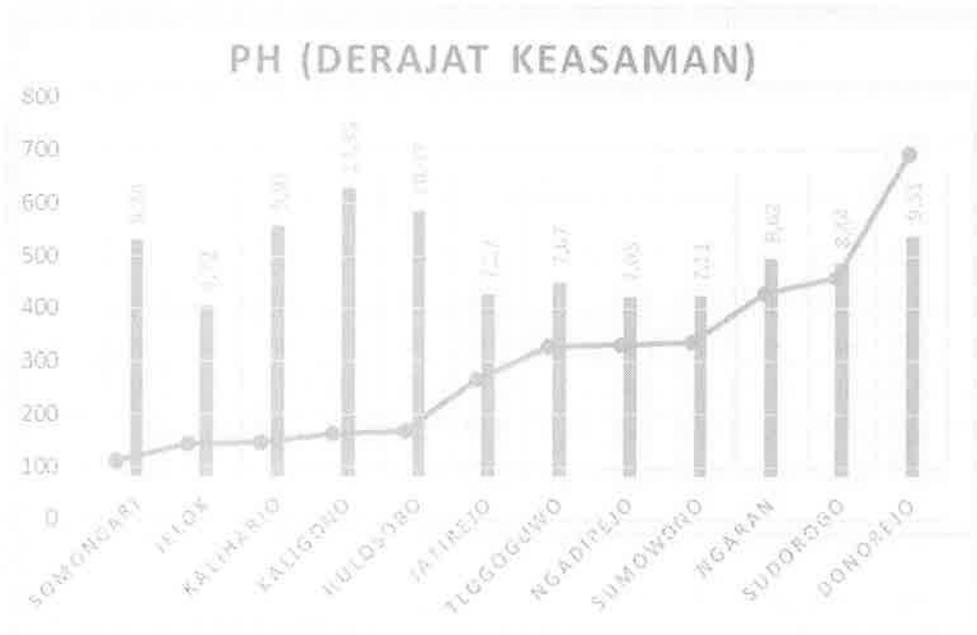
Tabel 3.1 Pemeriksaan Kualitas Air Tempat Biakan

No.	Desa	Koordinat		Ketinggian (mdpal)	Kualitas Air				Bentuk	Luas (m ²)
					pH	Salinitas (‰)	Ec (mv)	Kekeruhan (NTU)		
1	Somongari	49M0405901	9162483U	265	7,17	184,37	46,1	1,84	Empang	10
2	Jelok	49M0396406	9141612BD	111	9,34	287,3	27,1	2,83	Belik	1x1x1,5
3	Kaliharjo	49M0400751	9142085R	694	9,51	244,8	26,2	3,66	Sungai	50
4	Kaligono	49M0398515	9143583TL	169	10,47	356,7	18,4	0,82	Sungai	200
5	Hulosobo	49M0399398	9144685BL	164	11,35	287,7	17,7	6,93	Sungai	150
6	Jatirejo	49M0397445	9144917BL	146	9,91	379,8	8,7	0,45	Sungai	75
7	Tlogoguwo	49M0401214	914544085	329	7,67	390,6	53,1	0,15	Selokan	200
8	Ngadirejo	49M0397443	9144911R	430	8,62	288,6	50,3	2,28	Kolam	80
9	Sumowono	49M0396306	9146406R	144	6,72	219,4	1,6	1,82	Cekungan sungai	1
10	Ngaran	49M0400748	9148411TL	459	8,44	255,4	50,6	6,08	Selokan	1,5
11	Sudorogo	49M0396308	9146401S	336	7,11	387,6	21,8	1,69	Cekungan sungai	210
12	Donorejo	49M0402075	9151258BL	322	7,05	220,9	18,8	7,44	Cekungan	3000

Berdasarkan tabel pemeriksaan kualitas air tempat biakan di atas menunjukkan bahwa derajat keasaman, nilai pH terendah 6,72 dan suhu tertinggi 11,35. Derajat keasaman terendah terjadi pada wilayah pada ketinggian 144 mdpal (Desa Jelok). Derajat keasaman tertinggi terjadi pada ketinggian 164 mdpal (Kaligono).

a. Derajat keasaman (pH)

Derajat keasaman memiliki variatif untuk setiap wilayah. Derajat keasaman suatu badan air dipengaruhi oleh jenis batuan pada setiap wilayah penelitian. Derajat keasaman tinggi menunjukkan mineral batuan andesit mendominasi wilayah tersebut, sehingga kualitas air cenderung basa. Derajat keasamaan menentukan spesies tertentu, hal ini disebabkan adalah kesesuaian kualitas air sebagai tempat untuk tumbuh dan berkembang. Gambar berikut disajikan variabilitas derajat keasaman setiap lokasi penelitian. Terdapat kecenderungan pada wilayah dengan topografi hingga ketinggian 200m dpal, derajat keasaman tinggi, kecuali untuk Jelok. Sedangkan wilayah dengan ketinggian 200-600 m dpal, derajat keasaman lebih rendah.



Gambar 3.1 Variabilitas Derajat Keasamaan pada setiap ketinggian wilayah

b. Salinitas (kadar garam)

Salinitas *breeding place* (tempat biakan) merupakan konsentrasi kadar garam. Kadar garam dapat berasal dari air laut, atau pengaruh dari batuan. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi kadar garam justru meningkat seiring dengan ketinggian wilayah. Kadar terendah sebesar 184,37 % dan sanitas tertinggi sebesar 390,6 %. Konsentrasi kadar garam menjadi tempat dan berkembang untuk spesies tertentu dari *Anopheles*.



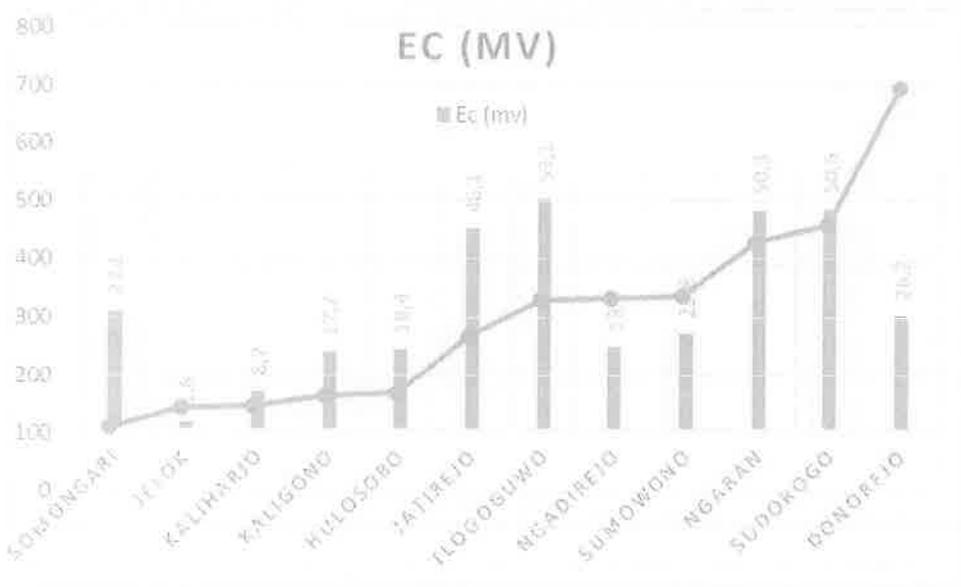
Gambar 3.2 Variabilitas Sanilitas pada setiap ketinggian wilayah

Gambar 3.2 menunjukkan terjadinya variabilitas salinitas, meskipun tidak memiliki pola berdasarkan ketinggian wilayah. Pada wilayah dengan topografi rendah, ternyata juga memiliki salinitas tinggi (287,3%), sebaliknya pada topografi sekitar 500 mdpal, ternyata memiliki salinitas rendah (220,9 %).

c. *Electric Conductivity* (EC, mv)

Daya hantar listrik (*Electric Conductivity*) merupakan parameter yang menunjukkan kandungan mineral di dalam badan air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya hantar listrik tertinggi sebesar 53,1 sedangkan nilai terendah sebesar 1,6 mV. Seperti parameter lain terdapat kecocokan

metabolisme dalam tubuh spesies *Anopheles* dengan besarnya daya hantar listrik.



Gambar 3.3 Variabilitas Daya hantar listrik pada setiap ketinggian wilayah

Variabilitas Daya hantar listrik memiliki kecenderungan lebih tinggi pada wilayah dengan topografi > 400 m dpal, dengan nilai daya hantar listrik 46,1-53,1 mV. Daya hantar listrik dipengaruhi oleh kerapat material terlatur. Nilai tersebut memberikan kecenderungan semakin tinggi wilayah konsentrasi mineral pada tempat biakan cenderung semakin tinggi. Mineral dibutuhkan oleh spesies *Anopheles* dalam untuk pertumbuhannya.

d. Kekeruhan (Turbidity)

Kekeruhan/turbidity merupakan parameter lain yang mempengaruhi kualitas tempat biakan. Kekeruhan berasal dari proses pelarutan material ke dalam badan air. Vektor tidak menyukai kekeruhan yang tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekeruhan tertinggi sebesar 7,4 NTU. Nilai tersebut masih relatif rendah dan masih merupakan konsentrasi yang di senangi sebagai pendukung tumbuh dan berkembang nyamuk *Anopheles*.



Gambar 3.4 Variabilitas Daya hantar listrik pada setiap ketinggian wilayah

Variabilitas kekeruhan atas dasar ketinggian menunjukkan kecenderungan menurun dengan peningkatan ketinggian wilayah. Pada ketinggian sekitar 600 m dpal, kekeruhan sekitar 6 NTU. Kekeruhan berpengaruh kepada kesesuai sebagai tempat biakan. Nilai kekeruhan rendah cenderung menjadi tempat yang disenangi *Anopheles* untuk meletakkan telur.

e. Kesadahan (*Hardness*)

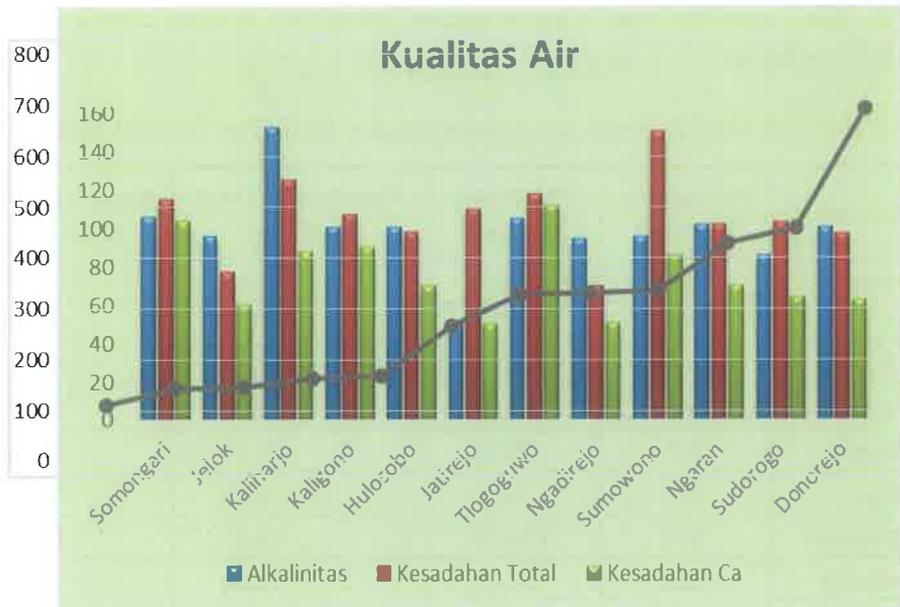
Kesadahan merupakan parameter yang berasal dari pelapukan batuan. Kesadahan total merupakan konsentrasi Ca dan Mg. Sedangkan kesadahan Ca, adalah kesadahan untuk konsentrasi Ca (CO_3). Kesadahan ada yang bersifat tetap dan ada kesadahan bersifat sementara. Kesadahan tetap terjadi bila Ca^{2+} berikatan dengan senyawa Sulfat (SO_4) atau senyawa Klorida (Cl), sedangkan kesadahan sementara bila berikatan dengan senyawa (HCO_3^-). Pada wilayah pesisir dengan konsentrasi sulfat dan klorida tinggi. Kesadahan sementara cenderung terjadi pada wilayah pengunungan, dengan konsentrasi bikarbonat tinggi. Konsentrasi tersebut, merupakan elemen esensial yang dibutuhkan *Anopheles* untuk tumbuh dan berkembang. Hasil penelitian menunjukkan nilai kesadahan total tertinggi sebesar 150,13

mg/lit. Nilai tersebut masih layak untuk keinginan spesies untuk tumbuh dan berkembang.

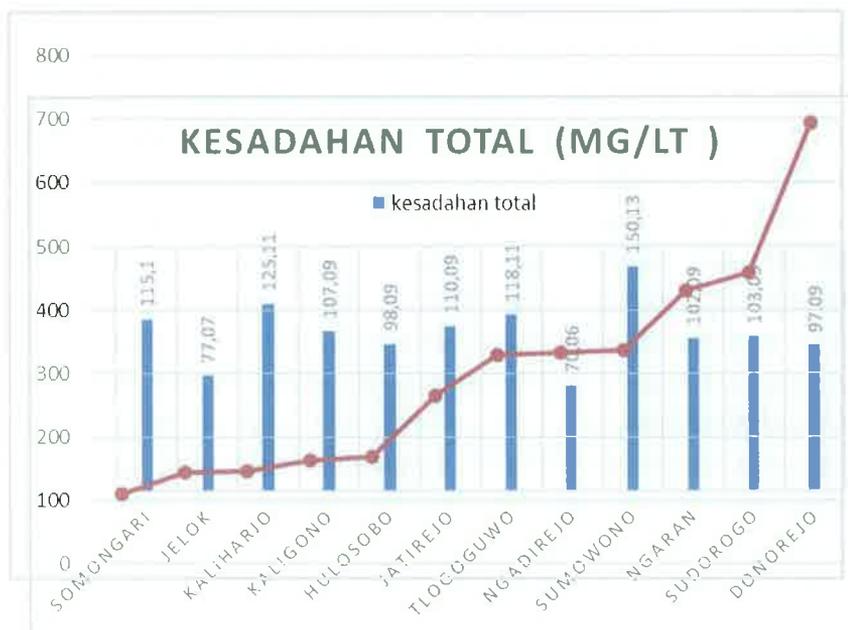
Tabel 3.2 Hasil Pengukuran Alkalinitas dan Kesadahan Tempat Biakan

Lokasi	Ketinggian (m dpal)	Alkalinitas (mg/liter)	Kesadahan Total (mg/liter)	Kesadahan Ca (mg/liter)
Somongari	111	105,8	115,1	104,09
Jelok	144	95,76	77,07	60,05
Kaliharjo	146	152,21	125,11	88,07
Kaligono	164	100,8	107,09	90,08
Hulosobo	169	100,8	98,09	70,06
Jatirejo	265	50,4	110,09	50,04
Tlogoguwo	329	104,83	118,11	112,1
Ngadirejo	332	94,75	70,06	50,44
Sumowono	336	95,76	150,13	85,68
Ngaran	430	102	102,09	70,06
Sudorogo	459	85,68	103,09	64,06
Donorejo	694	100,8	97,09	62,5

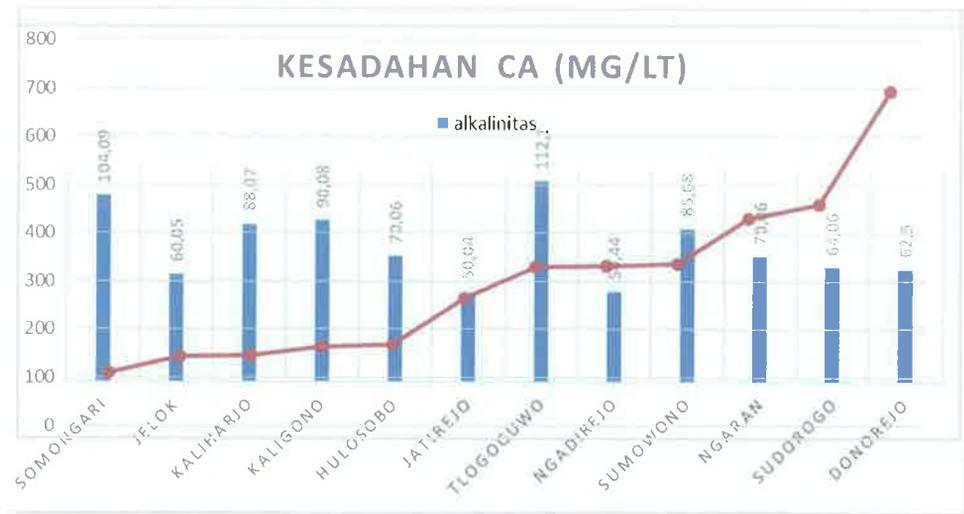
Variabilitas kesadahan total, kesadahan dan alkalinitas berdasarkan ketinggian, memiliki kecenderungan merata (konstan). Kesadahan bervariasi antara 70,06 mg/lit hingga 150 mg/lit, sedangkan kesadahan Ca bervariasi antara 50,44 mg/lit hingga 104,09 mg/lit. Rentang angka tersebut masih memberikan pemenuhan mineral kalsium yang sesuai untuk tumbuh dan berkembangnya larva *Anopheles*. Gambar 3.5, 3.6, 3.7 menunjukkan pada wilayah topografi rendah memiliki konsentrasi kesadahan yang relatif tinggi dibandingkan dengan wilayah dengan ketinggian yang lebih besar. Pada wilayah dengan ketinggian 600 mdpal, kesadahan berkisar 97 mg/liter. Pada ketinggian sekitar 400 mdpal, kesadahan pada nilai tertinggi sebesar 150 mg/lit.



Gambar 3.5 Variabilitas kesadahan dan alkalinitas pada setiap ketinggian wilayah



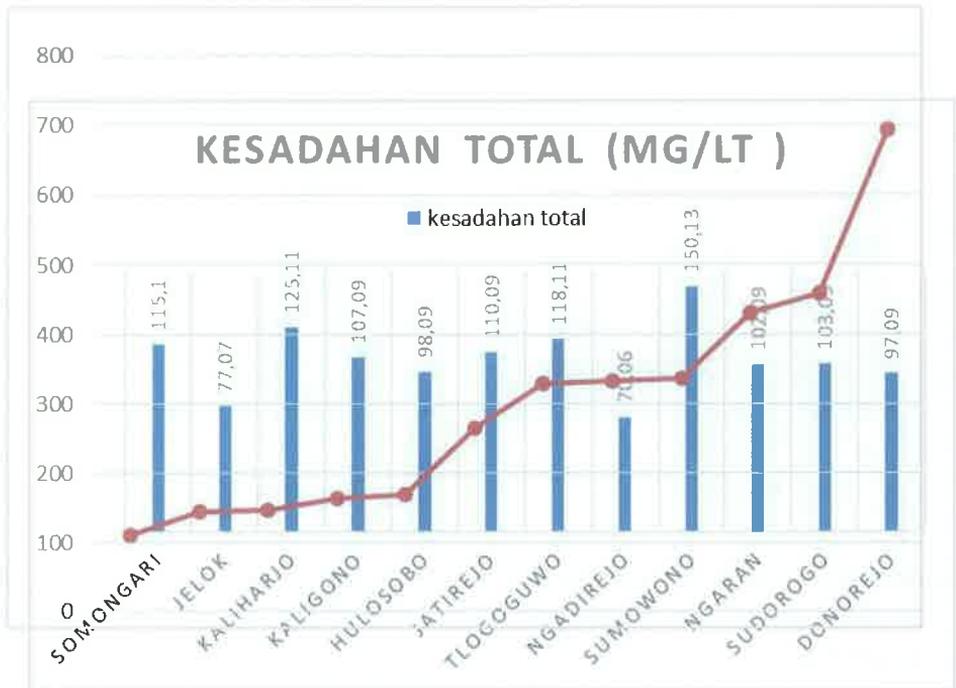
Gambar 3.6 Variabilitas kesadahan Total pada setiap ketinggian wilayah



Gambar 3.7 Variabilitas kesadahan Kalsium (Ca) pada setiap ketinggian wilayah

f. Alkalinitas

Alkalinitas memberikan gambaran tingkat kebasaaan suatu tempat biakan. Alkali menggambarkan konsentrasi mineral mineral alkalis yang dibutuhkan untuk pertumbuhan larva *Anopheles*. Hasil penelitian menunjukkan nilai alkalinitas berada pada rentang 50,5 mg/lit (Jatirejo) hingga 152,2 mg/lit (Kaliharjo). Secara topografis memiliki kecenderungan mengalami penurunan dengan peningkatan ketinggian. Sifat alkalis cenderung menurun dengan peningkatan ketinggian wilayah. Pada wilayah dengan ketinggian hingga 200 m dpal nilai alkalinitas mencapai nilai 152,2 mg/lit. Pada ketinggian 25m mdpal, nilai alkalinitas menurun hingga nilai 50,5 mg/lit. Penyusun alkalinitas adalah (HCO₃⁻), (CO₃²⁻) dan (OH⁻). Mineral tersebut dibutuhkan larva dalam pertumbuhanya. Gambar 3.8 menunjukkan variabilitas alkalinitas sesuai dengan peningkatan ketinggian wilayah.



Gambar 3.8 Variabilitas Alkalinitas pada setiap ketinggian wilayah

g. Pengembang Biakan Spesies

Pengembang biakan spesies ini berasal dari larva yang diperoleh dari hasil penangkapan dari larva pada tempat biakan (breeding place). Pengembang biakan dilakukan dilaboratorium. Pengembangan spesies nyamuk dilakukan dengan pembiakan spesies di laboratorium. Dihasilkan 5 spesies dari hasil pembiakan yaitu: *An.vagus*, *balabacencis*, *maculatus*. *Anopheles vagus* dihasilkan pada mayoritas tempat biakan, mulai wilayah dengan ketinggian 100 m dpal, hingga 700 mdpal. *An.vagus* bukan merupakan vektor tular malaria di Kabupaten Purwejo. *Anopheles balabacensis* dihasilkan dari wilayah dengan ketinggian kurang dari 100 mdpal (Somongari) dan wilayah dengan ketinggian hampir 700 mdpal. Spesies ini sudah dikonfirmasi sebagai vektor tular malaria di Purworejo. Spesies lain yang dihasilkan dari hasil pembiakan adalah *An.maculatus*. Ditemukan di Somongari (ketinggian 100 m), Kaliharjo (140 mdp), Jairejo (266 m dpal) dan Sumowono 336 m dpal. Selengkapnya disajikan pada Tabel 3.3 dan 3.4.

Tabel 3.3 Hasil Pengembangbiakan Spesies Anopheles berbagai tempat biakan

No.	Sampling point	Attitude (msl)	Water quality				Alkalinity (mg/l)	Total hardness	Ca Hardness	Larva density (sp/l)	Species produce
			pH	Salinity (%)	Ec	Turbidity (NTU)					
1	Jatirejo	265	7,17	184,37	46,1	1,84	105,8	104,09	5	An. maculatus	negatif
2	Somongari	111	9,34	287,3	27,1	2,83	95,76	60,05	4	An.balabacencis An. vagus An. maculatus	negatif
3	Donorejo	694	9,51	244,8	26,2	3,66	152,21	88,07	4	An.balabacencis An. vagus	negatif
4	Hulosobo	169	10,47	356,7	18,4	0,82	100,8	90,08	12	An. vagus	negatif
5	Kaligono	164	11,35	287,7	17,7	6,93	100,8	70,06	11	An. vagus	negatif
6	Kaliharjo	146	9,91	379,8	8,7	0,45	50,4	50,04	6	An. vagus An. maculatus	negatif
7	Tlogoguwu	329	7,67	390,6	53,1	0,15	104,83	112,1	12	An. vagus	negatif
8	Ngaran	430	8,62	288,6	50,3	2,28	94,75	50,44	6	An. vagus	negatif
9	Jelok	144	6,72	219,4	1,6	1,82	95,76	85,68	8	An. vagus	negatif
10	Sudorogo	459	8,44	255,4	50,6	6,08	102	70,06	8	An. vagus	negatif
11	Sumowono	336	7,11	387,6	21,8	1,69	85,68	64,06	24	An. maculatus	negatif
12	Ngadirejo	322	7,05	220,9	18,8	7,44	100,8	62,5	22	An. vagus	negatif

Tabel 3.4 Hasil Pengembang Biakan dan Larva *Anopheles* dari berbagai ketinggian wilayah

Lokasi	ketinggian (mdpal)	Spesies <i>Anopheles</i> yang dihasilkan		
Somongari	111	<i>balacencis</i>	<i>vagus</i>	<i>maculatus</i>
Jelok	144		<i>vagus</i>	
Kaliharjo	146		<i>vagus</i>	<i>maculatus</i>
Kaligono	164		<i>vagus</i>	
Hulosobo	169		<i>vagus</i>	
Jatirejo	265			<i>maculatus</i>
Tlogoguwo	329		<i>vagus</i>	
Ngadirejo	332		<i>vagus</i>	
Sumowono	336			<i>maculatus</i>
Ngaran	430		<i>vagus</i>	
Sudorogo	459		<i>vagus</i>	
Donorejo	694	<i>balacencis</i>	<i>vagus</i>	

Hasil konfirmatif test digunakan apakah spesies hasil pengembang biakan, mengandung *plasmodium*. Test dilakukan dengan ELISA test, untuk menentukan apakah terdapat spesies yang positif. Hasil test pada Tabel 3.3 menunjukkan bahwa seluruh sampel yang dilakukan analisis, ternyata negatif. Hasil ini membuktikan bahwa dugaan terjadinya trans ovarial dari spesies *Anopheles* tidak terbukti. Hasil tersebut juga menunjukkan bahwa pola penularan malaria belum mengalami pergeseran. Pola penularan yang dimaksud adalah penularan melalui penderita. Nyamuk *Anopheles* yang menggigit penderita, akan menghisap darah yang mengandung *plasmodium*. *Plasmodium* akan mengalami perkembangbiakan aseksual dalam tubuh nyamuk, dan melalui gigitan nyamuk yang sama akan disebarkan ke orang lain.

Berbagai jenis tempat biakan di sajikan pada gambar gambar berikut.



(a) Somongari
Breeding berupa Belik (sumur) ditepi sungai



(b) Donorejo
Breeding berupa Belik (sumur) ditepi sungai



(c) Hulosobo
Breeding berupa cekungan ditepi sungai



(d) Kaligono
Breeding berupa cekungan ditepi sungai



(e) Kaliharjo
Breeding berupa cekungan ditepi sungai



(f) Sumpersari



(g) Ngaran



(h) Sudorogo



(i) Jelok

**Gambar 3.9** Tempat biakan nyamuk *Anopheles*

5. Musim dan Kepadatan Vektor Malaria

Musim berpengaruh terhadap kepadatan vektor *Anopheles*. Musim memberikan dukungan tersedianya tempat biakan dan tempat istirahat (*resting place*) untuk kelangsungan spesies tumbuh dan berkembang. Secara klimatologis untuk wilayah Indonesia mengalami 2 musim, yaitu kemarau dan penghujan. Antara musim penghujan dan kemarau terdapat musim antara, yaitu beberapa minggu menjelang kemarau dan menjelang penghujan.

Berikut disajikan hasil penangkapan nyamuk *Anopheles* di wilayah endemis malaria, di Kabupaten Purworejo. Kabupaten Purworejo memiliki karakteristik yang unik. Secara Ekosistem memiliki wilayah pesisir nol dari permukaan air laut, hingga 750 m dpl merupakan zone pegunungan. Hasil penelitian lapangan dilakukan dengan penangkapan spesies *Anopheles* pada 34 lokasi penelitian secara longitudinal yaitu bulan Mei, Juli, Oktober dan Desember. Spesies *Anopheles* untuk setiap musim disajikan pada bahasan berikut.

a. Musim Pancaroba Penghujan-Kemarau (Mei)

Hasil penelitian yang dilakukan dengan penangkapan bulan Mei mewakili keadaan musim pancaroba penghujan ke musim kemarau. Hasil penangkapan pada kurun waktu pancaroba tersebut menemukan 9 (sembilan) spesies yang tersebar pada 28 (82%) lokasi pengamatan. Sembilan spesies yang ditemukan tersebut adalah sebagai berikut: *Anopheles balabaensis*; *Anopheles aconitus*; *Anopheles barbirostris*; *Anopheles vagus*; *Anopheles anularis*; *Anopheles kochi*; *Anopheles maculatus*; *Anopheles indifinitus*; *Anopheles subpictus*. Jumlah spesies tertangkap dominan adalah *Anopheles vagus* (209 ekor) diikuti *Anopheles barbirostris* (84 ekor) dan *Anopheles aconitus* sebanyak 49 ekor.

Anopheles vagus ditemukan pada rentang wilayah yang luas, mencakup 17 desa dengan rentang ketinggian < 100 hingga > 700 m dpl. Spesies lain yang memiliki sebaran luas adalah *Anopheles aconitus* dan *Anopheles barbirostris*, tersebar pada 11 (sebelas) desa pengamatan. *Anopheles aconitus* ditemukan pada ketinggian 200-300 m dpl dan 400-600 m dpl. Spesies *Anopheles barbirostris* ditemukan pada wilayah dengan rentang ketinggian < 100-600 m dpl.

Spesies lain yang ditemukan dengan populasi rendah adalah *Anopheles indifinitus*, hanya ditemukan di Desa Somoleter dan Cepedak dengan ketinggian 300-500 m dpl. Spesies *Anopheles subpictus* ditemukan dengan kepadatan rendah di wilayah dengan ketinggian 100-400 m dpl. Wilayah dengan jumlah spesies terbanyak adalah Wonosido dengan ketinggian 400-500 m dpl. Pada wilayah tersebut ditemukan 6 spesies yaitu *Anopheles aconitus*; *Anopheles barbirostris*; *Anopheles vagus*; *Anopheles anularis*; *Anopheles kochi*; *Anopheles maculatus*. Sebaran *Anopheles* pada kurun waktu pancaroba penghujan kemarau (bulan Mei), disajikan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Sebaran spesies nyamuk Anopheles Hasil penangkapan periode musim pancaroba pengujian kemarau (Mei) di Purworejo (Lanjutan)

No	Lokasi/Desa	Ketinggian mdpal	Jumlah Spesies Anopheles												
			balabaensis	aconitus	barbirostris	vagus	annularis	kochi	maculatus	indifinitus	subpictus				
22	Puspo	300-400								NIHIL					
23	Ngaran	400-500	3	5	1							1			
24	Guntur	400-500		1											
25	Hardi mulyo	400-500		2			5					1			
26	Wonosido	400-500		21	14		113	18		15	4				
27	Ngadirejo	500-600	1	2	9		10			2					
28	Ngasinan	500-600					1					1			
29	Purbowono	500-600	1	4											
30	Watuduwue	500-600		5											
31	Benowo	600-700	2	1											
32	Donorejo	600-700	1												
33	Gunungwangi	600-700					2								
34	Tiogoguwo	>700										1			
Jumlah Spesies		414	11	49	84		209	18	23	13		2			5

Sumber: data primer hasil penangkapan,

b. Musim Kemarau (Juli)

Hasil penangkapan pada musim kemarau (bulan Juli) menemukan 8 (delapan) spesies yang tersebar pada 30 (88%) lokasi pengamatan. Delapan spesies yang ditemukan tersebut adalah sebagai berikut: *Anopheles balabaensis*; *Anopheles aconitus*; *Anopheles barbirostris*; *Anopheles vagus*; *Anopheles anularis*; *Anopheles kochi*; *Anopheles maculatus*; *Anopheles Subpictus*. *Anopheles indifinitus* tidak ditemukan pada penangkapan musim kemarau. Jumlah spesies tertangkap paling dominan adalah *Anopheles barbirostris* (382 ekor) diikuti *Anopheles aconitus* (225 ekor) dan *Anopheles vagus* (73 ekor).

Sebaran berdasarkan tempat ditemukannya spesies, *Anopheles aconitus* ditemukan pada rentang wilayah yang luas, mencakup 20 desa yang menjadi lokasi pengamatan, dengan rentang ketinggian < 100 m dpl hingga > 700 m dpl. Spesies lain yang memiliki sebaran luas adalah *Anopheles barbirostris*, *vagus* dan *maculatus*. *Anopheles barbirostris* ditemukan pada ketinggian 100-600 m dpl. Spesies *Anopheles vagus* ditemukan pada wilayah dengan rentang ketinggian < 100 sampai lebih dari 700 m dpl, sama dengan spesies *Anopheles maculatus* memiliki ketinggian sebaran yang sama. Selengkapnya disajikan pada Tabel 3.6.

c. Musim Pancaroba Kemarau Penghujan (Oktober)

Hasil penangkapan pada musim pancaroba kemarau-penghujan (bulan Oktober) menemukan 8 (delapan) spesies yang tersebar pada 26 (76%) lokasi pengamatan. Delapan spesies yang ditemukan tersebut adalah sebagai berikut: *Anopheles balabaensis*; *Anopheles aconitus*; *Anopheles barbirostris*; *Anopheles vagus*; *Anopheles anularis*; *Anopheles kochi*; *Anopheles maculatus*; *Anopheles indifinitus*. *Anopheles subpictus* tidak ditemukan pada penangkapan pada musim pancaroba kemarau-penghujan (Oktober). Jumlah spesies tertangkap paling dominan adalah *Anopheles vagus* (349 ekor) diikuti *Anopheles aconitus* (65 ekor) dan *Anopheles barbirostris* (52 ekor).

Sebaran berdasarkan tempat ditemukannya spesies, *Anopheles vagus* ditemukan pada rentang wilayah yang luas, mencakup 16 desa yang menjadi lokasi pengamatan, dengan rentang ketinggian < 100 m dpl hingga > 700 m dpl. Spesies lain yang memiliki sebaran luas adalah *Anopheles aconitus*, *barbirostris*. Spesies *Anopheles indifinitus* hanya ditemukan pada ketinggian 300-400 m dpl (desa Puspo). Pada pengamatan sebelumnya spesies ini tidak ditemukan.

Tabel 3.6 Sebaran spesies nyamuk *Anopheles* hasil penangkapan periode musim kemarau (Juli) (Lanjutan)

No	Lokasi/Desa	Ketinggian mdpal	Jumlah Spesies <i>Anopheles</i>										
			balabaensis	aconitus	barbirostres	vagus	anularis	kochi	maculatus	indifinitus	subpictus		
23	Ngaran	400-500		1									
24	Guntur	400-500		3		5					1		
25	Hardi mulyo	400-500						NIHIL					
26	Wonosido	400-500		7	35	7	14	10					
27	Ngadirejo	500-600		2	12						1		
28	Ngasinan	500-600											
29	Purbowono	500-600	1										
30	Watutuwe	500-600		1	80								
31	Benowo	600-700				1							
32	Donorejo	600-700									1		
33	Gunungwangi	600-700	4	8							1		
34	Tiogoguwo	>700		4									
Jumlah Spesies			25	225	382	73	14	22	35	0	1		

Sumber: data primer hasil penangkapan

Spesies lain yang ditemukan dalam populasi rendah adalah *Anopheles anularis*, hanya ditemukan di Desa Tepansari dengan ketinggian 100-200 m dpl. Spesies *Anopheles kochi* hanya ditemukan pada ketinggian 500-600 m dpl, di Desa Wonosido, Watuduwur dan Ngadirejo. Tabel 3.7 menyajikan sebaran spesies *Anopheles* pada kurun waktu musim pancaroba kemarau-penghujan (bulan Oktober).

d. Musim Penghujan (Desember)

Hasil penangkapan pada musim penghujan (Desember) menemukan 7 (tujuh) spesies yang tersebar pada 30 (88%) lokasi pengamatan. Ke tujuh spesies yang ditemukan tersebut adalah sebagai berikut: *Anopheles balabaensis*; *Anopheleconitus*; *Anopheles barbirostris*; *Anopheles vagus*; *Anopheles anularis*; *Anopheles kochi*. *Anopheles subpictus* dan *indifinitus* tidak ditemukan pada penangkapan pada musim penghujan (Desember). Jumlah spesies tertangkap paling dominan adalah *Anopheles vagus* (346 ekor) diikuti *Anopheles aconitus* (113 ekor) dan *Anopheles balabaensis* (40 ekor).

Sebaran berdasarkan tempat ditemukannya spesies, *Anopheles vagus* ditemukan pada rentang wilayah yang luas, mencakup 15 desa yang menjadi lokasi pengamatan, dengan rentang ketinggian < 100 m dpl hingga > 700 m dpl. Spesies lain yang memiliki sebaran luas adalah *Anopheles aconitus* (14 desa pengamatan), *balabaensis* (13 desa pengamatan). Spesies *Anopheles indifinitus* dan *maculatus* tidak ditemukan pada pengamatan musim penghujan.

Spesies lain yang ditemukan dalam populasi rendah adalah *Anopheles anularis*, hanya ditemukan di Desa Kaliglagah (200-300 m dpl) dan Cacaban Lor (300-400 m dpl). Hasil penelitian lain ditemukan wilayah dengan jumlah spesies terbanyak yaitu lokasi pengamatan Kaliglagah (200-300 m dpl), ditemukan sebanyak 5 spesies. Tabel 4.20 menyajikan sebaran spesies *Anopheles* pada kurun waktu musim penghujan (bulan Desember). Jenis dan kepadatan vektor hasil penangkapan selama 4 musim dalam 1 tahun disajikan pada Tabel 3.8.

Tabel 3.7 Sebaran spesies nyamuk Anopheles hasil penangkapan periode musim pancaroba kemarau-penghujan (Oktober) (Lanjutan)

No.	Lokasi/Desa	Ketinggian mdpal	Jumlah Spesies Anopheles											
			balabaensis	aconitus	barbirostres	vagus	anularis	kochi	maculatus	indifinitus	subpictus			
21	Cepedak	300-400		2			1							
22	Puspo	300-400		1								1		
23	Ngaran	400-500					1					1		
24	Guntur	400-500						NIHIL						
25	Hardi mulyo	400-500					1					1		
26	Wonosido	400-500		3	1		55			1		7		
27	Ngadirejo	500-600		1	4		18			1				
28	Ngasinan	500-600	1	1			1							
29	Purbowono	500-600						NIHIL						
30	Watuduwue	500-600		13	40		2			2		10		
31	Benowo	600-700		12			3					2		
32	Donorejo	600-700	3				1							
33	Gunungwangi	600-700						NIHIL						
34	Tiogoguwo	>700						NIHIL						
Jumlah Spesies			12	65	52	349	2	4	33	1	0			

Sumber: data primer hasil penangkapan

Tabel 3.8 Sebaran spesies nyamuk Anopheles hasil penangkapan periode musim penghujan (Desember) (Lanjutan)

No.	Lokasi/Desa	Ketinggian mdpal	Jumlah Spesies Anopheles												
			balabaensis	aconitus	barbirostris	vagus	anularis	kochi	maculatus	indifinitus	subpictus				
22	Puspo	300-400						NIHIL							
23	Ngaran	400-500								1		5			
24	Guntur	400-500	1	1											
25	Hardi mulyo	400-500	9			1									
26	Wonosido	400-500		2	1	1	17			1					
27	Ngadirejo	500-600		3	6	11				3					
28	Ngasinan	500-600	1	3											
29	Purbowono	500-600	5												
30	Watuduwue	500-600		16	12					1					
31	Benowo	600-700	1			1									
32	Donorejo	600-700	8												
33	Gunungwangi	600-700									1				
34	Tiogoguwu	>700	5												
Jumlah Spesies			83	113	40	346	4	6	82	0	0	0			

Sumber: data primer hasil penangkapan

e. Uji Eliza sebagai konfirmasi Vektor

Uji elisa digunakan untuk menentukan kandungan/kadar sporozoit dalam tubuh nyamuk. Uji ini mengacu pada Sporozoit ELIZA *direction*, sebagai rujukan dalam melakukan uji. Nyamuk hasil penangkapan dilakukan uji untuk setiap spesies yang ditemukan. Hasil uji mampu menunjukkan spesies *Anopheles* yang berperan sebagai penular *plasmodium* (vektor malaria). Spesies yang ditemukan selama penangkapan periode pancaroba penghujan kemarau (Mei), kemarau (Juli), pancaroba kemarau penghujan (Oktober) dan musim penghujan (Desember) adalah sebagai berikut: 1. *An. balaensis*; 2. *An. barbirostris*; 3. *An. vagus*; 4. *An. maculatus*; 5. *An. aconitus*; 6. *An. kochi*; 7. *An. indefinitus*; 8. *An. anularis*; 9. *An. supictus*. Berikut merupakan hasil uji ELIZA vektor malaria:

Tabel 3.9 Hasil analisis ELIZA vektor malaria di Kabupaten Purworejo

No	lokasi penangkaan	periode penangkapan	vektor malaria	<i>plasmodium</i>
1	Kedunggubah	Oktober	<i>An. balabaensis</i>	<i>P.falciparum</i>
2	Ngaran	Oktober	<i>An. maculatus</i>	<i>P.falciparum</i>
3	Kaliharjo	Desember	<i>An. balabaensis</i>	<i>P.falciparum</i>
4	Kedunggubah	Desember	<i>An. balabaensis</i>	<i>P.falciparum</i>

Sumber: hasil analisis laboratorium

Tabel 3.10 Jenis Dan Kepadatan Vektor Malaria Hasil Penangkapan

No	Lokasi/Desa	Spesies tertangkap dan kepadatan pada bulan											
		Mei		Juli		Oktober		Des					
		Jumlah (ekor)	Kepadatan (ekor/or/jam)	Jumlah (ekor)	Kepadatan (ekor/or/jam)	Jumlah (ekor)	Kepadatan (ekor/or/jam)	Jumlah (ekor)	Kepadatan (ekor/or/jam)				
1	Tloguwo	1	0,02	4	0,08	0	0	5	0,1				
2	Ngaran	4	0,08	1	0,02	2	0,04	6	0,13				
3	Ngadirejo	1	0,02	26	0,54	25	0,52	24	0,5				
4	Tepansari	0	0	50	1,04	91	1,9	74	1,54				
5	Sendangsari	4	0,08	2	0,44	0	0	1	0,02				
6	Sepedak	2	0,04	21	0,44	3	0,06	5	0,1				
7	Pekacangan	7	0,15	3	0,06	1	0,02	0	0				
8	Kaligondang	35	0,73	21	0,44	6	0,13	1	0,02				
9	Guntur	3	0,06	9	0,19	0	0	2	0,04				
10	Sokoagung	0	0	11	0,23	10	0,21	15	0,31				
11	Medono	19	0,4	16	0,33	40	0,83	32	0,67				
12	Purbowono	5	0,1	1	0,02	0	0	5	0,1				
13	Watuduwur	7	0,15	80	1,67	68	1,42	29	0,6				
14	Benowo	3	0,06	1	0,02	17	0,35	2	0,04				
15	Ngasinan	3	0,06	1	0,02	3	0,06	5	0,1				
16	Kedungpoh kulon	1	0,02	1	0,02	1	0,02	0	0				
17	Kapiteran	0	0	6	0,13	10	0,21	10	0,21				
18	Durensari	0	0	5	0,1	4	0,08	0	0				
19	somoletar	12	0,25	6	0,02	23	0,48	37	0,77				
20	Puspo	0	0	1	0,1	2	0,04	0	0				

Tabel 3.10 Jenis Dan Kepadatan Vektor Malaria Hasil Penangkapan (Lanjutan)

No	Lokasi/Desa	Spesies tertangkap dan kepadatan pada bulan											
		Mei			Juli			Oktober			Des		
		Jumlah (ekor)	Kepadatan (ekor/or/jam)	Jumlah (ekor)	Kepadatan (ekor/or/jam)	Jumlah (ekor)	Kepadatan (ekor/or/jam)	Jumlah (ekor)	Kepadatan (ekor/or/jam)	Jumlah (ekor)	Kepadatan (ekor/or/jam)	Jumlah (ekor)	Kepadatan (ekor/or/jam)
21	ngandangan	0	0	5	0,1	0	0	0	0	2	0,04		
22	wonosido	116	2,42	80	1,67	67	1,4			21	0,44		
23	kalilagah	8	0,17	72	1,5	100	2,08			74	1,54		
24	Cacaban Lor	18	0,38	16	0,33	14	0,29			6	0,13		
25	Kaliurip	2	0,04	1	0,02	1	0,02			1	0,02		
26	Kaliwader	30	0,63	42	0,88	7	0,15			9	0,19		
27	Bleber	2	0,04	163	3,4	9	0,19			19	0,4		
28	Donorejo	1	0,58	1	0,02	4	0,08			36	0,75		
29	Gunungwangi	2	0,04	13	0,27	0	0			1	0,02		
30	Kaliharjo	28	0,58	87	1,81	0	0			9	0,19		
31	Bagelen	1	0,02	0	0	3	0,06			13	0,27		
32	Dadirejo	1	0,02	0	0	0	0			1	0,02		
33	Kedunggubuh	1	0,02	0	0	3	0,06			2	0,04		
34	Hardi mulyo	8	0,17	0	0	2	0,04			10	0,21		
	Jumlah lokasi ditemukan spesies	28		30		26				30			
	Persen lokasi jumlah Spesies	82%		88%		76%				88%			
		9		8		8				7			

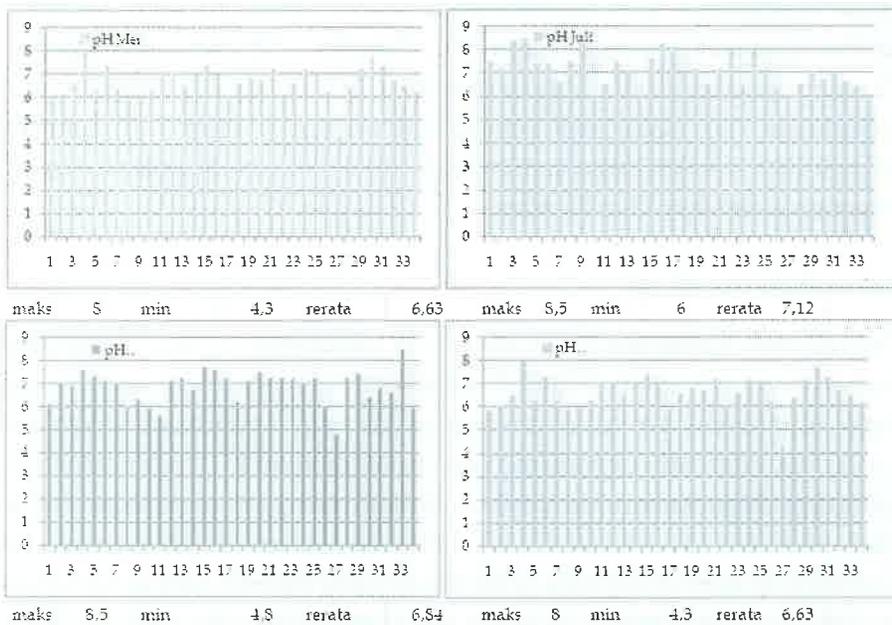
Sumber: hasil penangkapan, analisis laboratorium, analisis peneliti

6. Variabilitas Kualitas Lingkungan dan Kepadatan Spesies

Kualitas lingkungan dijabarkan dalam parameter air dan udara. Setiap wilayah atas dasar ketinggian wilayah dilakukan pengukuran untuk mengetahui besaran parameter. Sampel air diambil dari badan air (sungai, belik, sawah, kolam) terdekat dari rumah yang digunakan untuk pengamatan nyamuk. Pengukuran kualitas air pada musim pancaroba penghujan kemarau dilakukan pada bulan Mei. Pengukuran mencakup 9 parameter kualitas air dan 3 parameter kualitas udara, dari seluruh wilayah pengamatan. Hasil penelitian untuk setiap parameter kualitas air sebagai tempat biakan adalah disajikan pada tabel berikut.

a. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman menunjukkan konsentrasi ion H^+ pada badan air. Mayoritas kandungan senyawa dalam air di indikasikan konsentrasi ion ini. Bila mayoritas senyawa asam maka konsentrasi ini H^+ meningkat diindikasikan pH kurang dari 7, sedangkan bila kosentasi menurun maka pH lebih dari 7.



Gambar 3.10 Variasi derajat keasaman (pH) pancaroba, penghujan dan kemarau kualitas air di Kabupaten Purworejo

Badan air yang netral pH sekitar 7, sehingga dalam baku mutu kualitas air pH antara 6-8. Kehidupan organisme menyesuaikan derajat keasaman ini. Terdapat kelompok organisme yang menyukai lingkungan dengan derajat keasaman tinggi, tetapi juga terdapat organisme yang memiliki kecenderungan hidup pada derajat keasaman yang rendah.

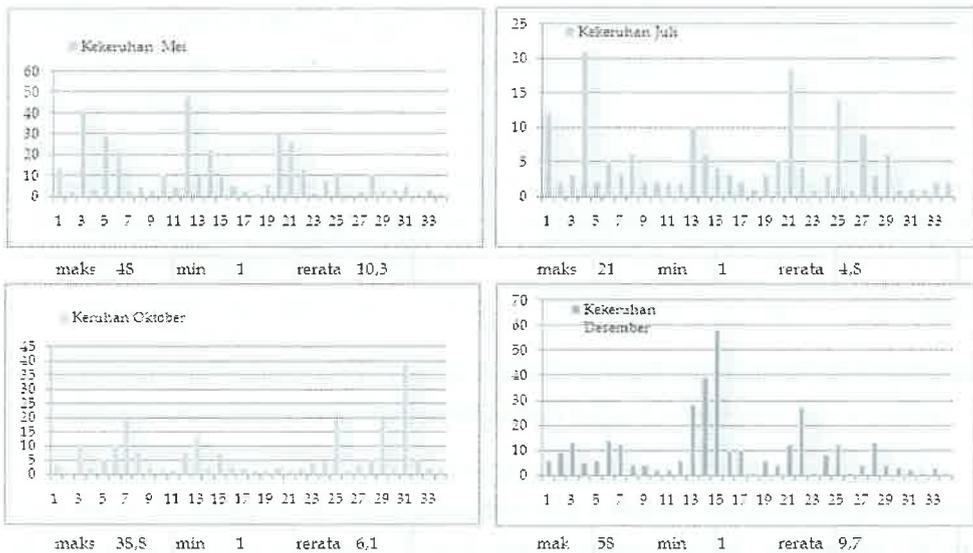
Hasil pengukuran kualitas air pada 34 lokasi penelitian menunjukkan pada pancaroba penghujan kemarau (Mei) derajat keasaman bervariasi antara 4,3-8 dengan rata-rata 6,63. Pada musim kemarau (Juli) derajat keasaman bervariasi 6-8,5 dengan rata-rata 7,12. Pada pancaroba kemarau penghujan pH bervariasi antara 4,8-8,5 dengan rata-rata 6,84. Pada musim penghujan derajat keasaman bervariasi antara 4,3-8, dengan rata-rata sebesar 6,63.

Data juga menunjukkan pada musim penghujan rata-rata derajat keasaman (pH) sama dengan 6,63 lebih rendah dibandingkan dengan musim kemarau 7,12 dan pancaroba kemarau penghujan 6,84. Rata-rata pH penghujan sama dengan pancaroba penghujan-kemarau sebesar 6,63. Hal ini menunjukkan bahwa derajat keasaman selama penghujan hingga pancaroba memasuki musim kemarau tidak mengalami perubahan. Derajat keasaman mengalami peningkatan pada musim kemarau dan menjelang pancaroba memasuki musim penghujan. Gambar 4.14 dan Tabel lampiran 1A-1D menunjukkan variabilitas derajat keasaman selama musim kemarau dan penghujan dan pada saat pergantian musim (pancaroba). Besarnya variasi rata-rata derajat keasaman sebesar 0,49 yaitu beda antara rata-rata pada musim penghujan dan kemarau.

b. Kekeruhan (*turbidity*)

Kekeruhan menunjukkan konsentrasi material pengotor pada badan air. Kekeruhan sebagian besar disebabkan oleh material tersuspensi. Beberapa organisme air tidak menyukai dengan kehadiran kekeruhan. Larva nyamuk salah satu organisme yang tidak menyukai dengan kehadiran partikel kekeruhan. Kekeruhan diukur dengan menggunakan skala *Normal Turbidity Unit (NTU)*. Material penyebab kekeruhan dapat berasal dari material organik dan an organik. Material organik berasal dari pembusukan bahan organik dan tercampur dengan air. Material an organik berasal dari lapisan tanah permukaan yang terbawa dan bercampur dengan air.

Hasil pengukuran pada 34 lokasi pengamatan menunjukkan terjadinya variasi antar musim. Pada pancaroba penghujan kemarau (Mei) skala kekeruhan berada pada rentang 1-48 NTU, dengan rata-rata sebesar 10,3 NTU. Nilai kekeruhan ini mengalami penurunan pada musim kemarau (Juli) dengan rata-rata 4,8 NTU, pada rentang 1-21 NTU. Pada pemeriksaan musim pancaroba kemarau penghujan (Oktober) nilai rata-rata kekeruhan meningkat menjadi 6,1 NTU, pada rentang 1-38,8 NTU. Pada Musim penghujan (Desember) kekeruhan meningkat dengan nilai rata-rata sebesar 9,7 NTU pada rentang 1-58 NTU. Gambar 3.11 disajikan variabilitas kekeruhan badan air sebagai tempat biakan selama kurun waktu pancaroba penghujan-kemarau dan pancaroba.

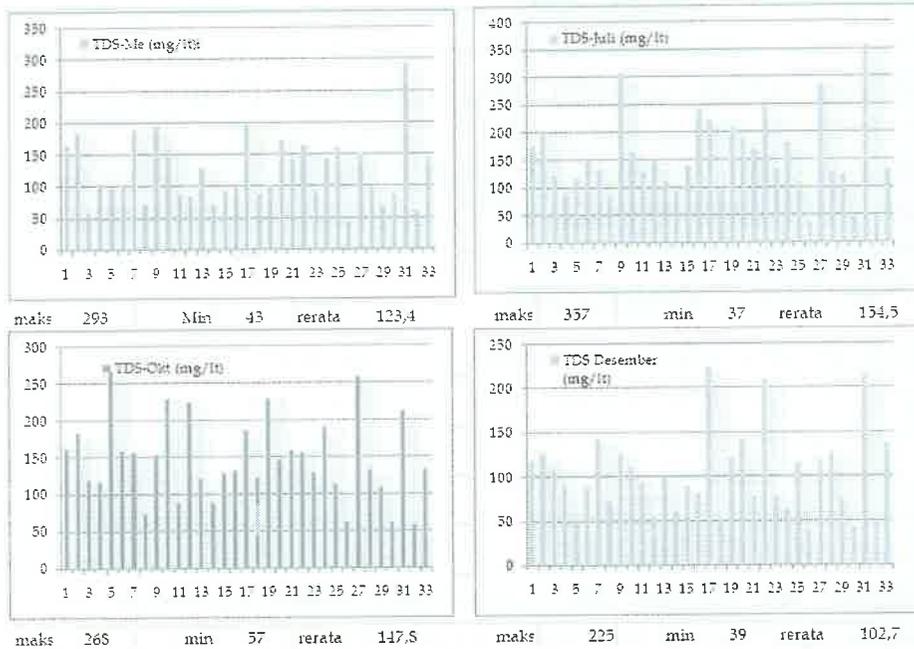


Gambar 3.11 Variasi kekeruhan (NTU) pancaroba, penghujan dan kemarau kualitas air di Kabupaten Purworejo

c. *Total Dissolved Solids (TDS)*

Merupakan parameter kualitas air yang memberikan gambaran besarnya material terlarut dalam air. Material terlarut pada umumnya memiliki ukuran diameter lebih kecil dibandingkan pertikel tersuspensi. Pada umumnya merupakan senyawa kimia yang berasal dari lingkungan sekitar. Hasil penelitian menunjukkan terjadinya variabilitas material terlarut tersebut (TDS). Pada pancaroba penghujan kemarau (Mei) diperoleh

rata-rata TDS sebesar 123,4 mg/lit, dengan rentang 43-293 mg/lit. Rata-rata TDS mengalami peningkatan pada musim kemarau (Juli) hingga rata-rata sebesar 154,5 mg/lit pada rentang 37-357 mg/lit.



Gambar 3.12 Variabilitas Total Dissolved Solids (TDS) pada musim pancaroba, kemarau dan penghujan tempat biakan Kabupaten Purworejo tahun 2012

Pada masa pancaroba kemarau penghujan (Oktober) rata-rata TDS mengalami penurunan hingga pada nilai rata-rata 147,8 mg/lit, dengan rentang 57-268 mg/lit. Pada musim penghujan (Desember) nilai rata-rata TDS menurun hingga pada rata-rata 102,7 mg/lit, pada rentang 39-225 mg/lit.

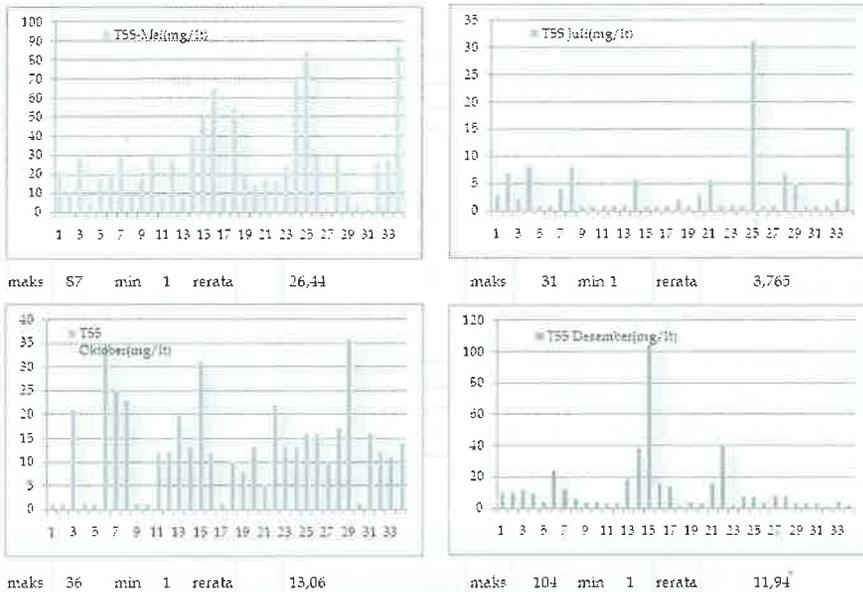
Deviasi antar musim pancaroba-kemarau dan penghujan terbesar senilai 45.1 mg/lit, terjadi pada pancaroba kemarau penghujan ke musim penghujan. Tabel lampiran 1A-1D menyajikan Variabilitas TDS antar musim, pancaroba-kemarau dan penghujan.

d. Total Suspended Solids (TSS)

Total suspended solids tersusun dari material yang lebih besar dibandingkan material terlarut. Material ini melayang-layang pada badan air. TSS dapat berasal dari bahan organik maupun non organik. Material

organik berasal dari pembusukan bahan organik yang terbawa air. Material an organik berasal dari pelarutan material permukaan tanah yang tercampur oleh aliran air.

Hasil penelitian di 34 titik pengamatan menunjukkan terjadinya variasi antar musim. Pada pengukuran musim pancaroba penghujan-kemarau (Mei) nilai rata-rata TSS sebesar 26,44 mg/Lt, dengan rentang 1-87 mg/Lt. Pada pengukuran lanjutan pada musim kemarau (Juli) nilai rata-rata TSS mengalami penurunan menjadi 3,765 mg/Lt, pada rentang 1-31 mg/Lt. Deviasi antara pancaroba dan musim kemarau sebesar 22,68 mg/Lt. Pengukuran TSS pada musim pancaroba kemarau-penghujan (Oktober) menghasilkan nilai rata-rata sebesar 13,06 mg/Lt, pada rentang 1-36 mg/Lt. Nilai tersebut meningkat dengan nilai 9,3 mg/Lt dibandingkan kurun waktu musim sebelumnya. Pada musim penghujan (Desember) nilai TSS diperoleh rata-rata sebesar 11,94 pada rentang 1-104 mg/Lt. Penurunan pada musim penghujan ini disebabkan oleh telah berkurangnya material tersuspensi oleh curah hujan pada musim pancaroba. Gambar 3.13 menyajikan variabilitas *Total Suspended Solids*, pada lokasi pengamatan selama kurun waktu musim pancaroba-penghujan dan kemarau.

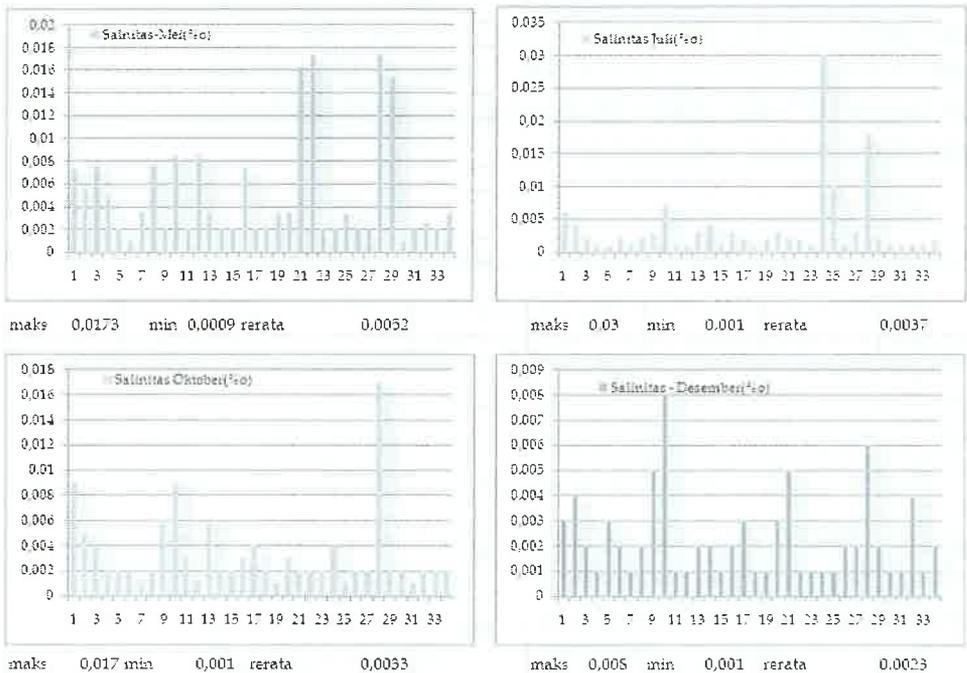


Gambar 3.13 Variabilitas *Total Suspended Solids* (TSS) pada musim pancaroba, penghujan dan kemarau kualitas tempat biakan di Kabupaten Purworejo

e. Salinitas (‰)

Salinitas badan air menunjukkan konsentrasi kadar garam. Terdapat beberapa mineral garam terlarut pada air permukaan tergantung pada lahan. Pada lahan sekitar laut maka konsentrasi NaCl dominan. Pada lahan pegunungan konsentrasi garam karbonat Na_2CO_3 , CaCO_3 yang lebih dominan. Terdapat beberapa organisme yang menyukai lingkungan dengan konsentrasi kadar garam tinggi.

Hasil penelitian pada 34 lokasi pengamatan diperoleh variabilitas salinitas antar musim di Purworejo. Pada penelitian musim pancaroba penghujan kemarau (Mei) diperoleh salinitas rata-rata sebesar 0.0052 ‰ dengan rentang 0.0009-0.0173. Konsentrasi salinitas tempat biakan ini mengalami penurunan pada musim kemarau (Juli) menjadi 0.0037 ‰, pada rentang 0.001-0.03‰. Deviasi antar kedua musim sebesar 0.0015.



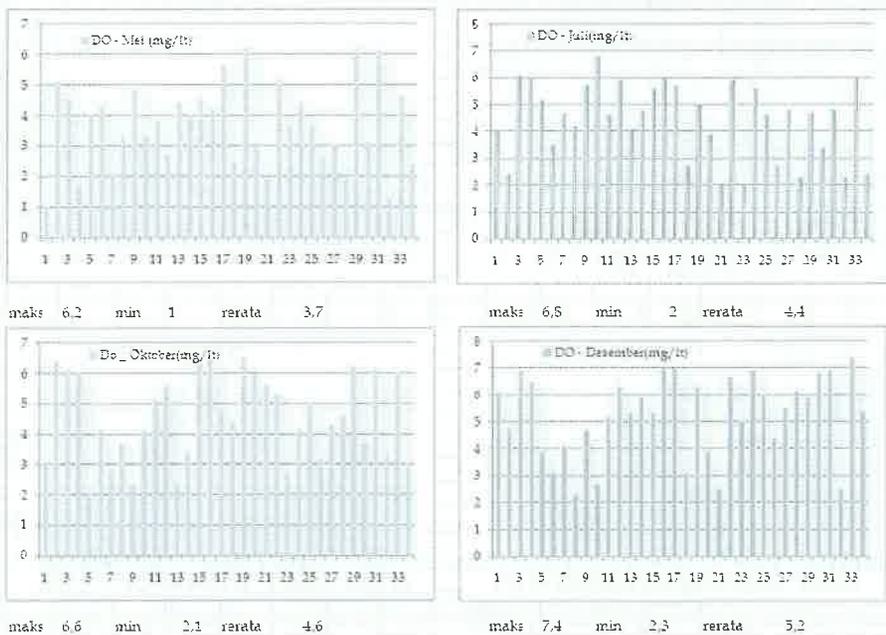
Gambar 3.14 Variabilitas salinitas tempat biakan pada musim pancaroba-kemarau-penghujan Kabupaten Purworejo

Pada penelitian lanjutan pada pancaroba kemarau penghujan (Oktober) salinitas tempat biakan mengalami sedikit penurunan menjadi

rata-rata sebesar 0.0033 ‰, dengan rentang 0.0009-0.0173‰. Begitu pula dengan penelitian lanjutan pada musim penghujan (Desember) salinitas mengalami penurunan hingga rata-rata 0.0023 ‰, dengan rentang 0.001-0.008‰. Gambar 3.14 menunjukkan variabilitas salinitas tempat biakan selama musim pancaroba-penghujan-kemarau.

f. Dissolved Oxygen (DO)

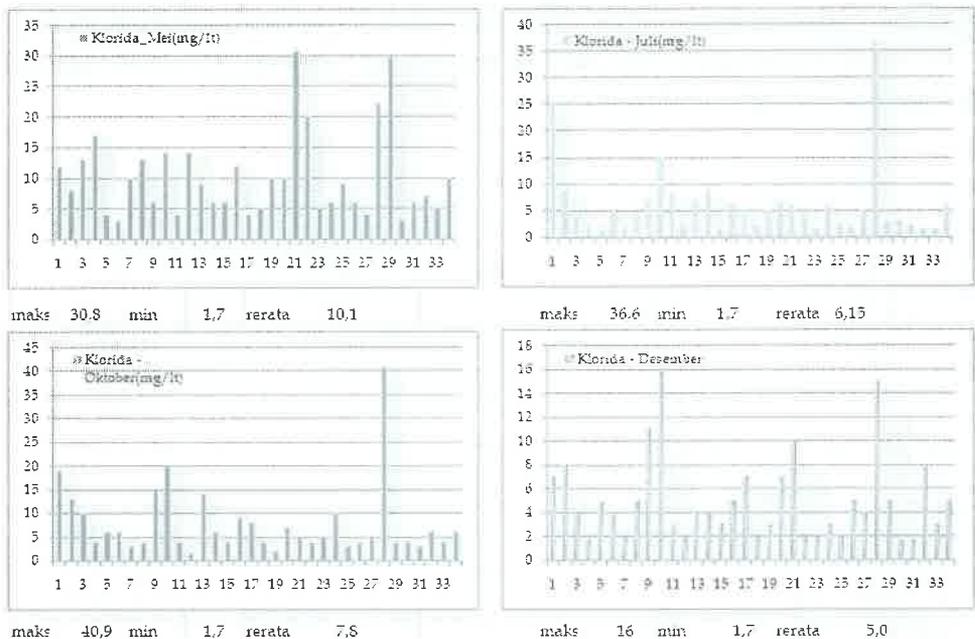
Dissolved Oxygen merupakan konsentrasi oksigen yang terlarut di badan air. Oksigen di badan air bersumber dari penyerapan dari atmosfer dan hasil fotosintesa tumbuhan air. Oksigen digunakan oleh organisme untuk metabolisme dan bahan organik untuk proses penguraian. Kualitas air tempat biakan salah satunya ditentukan oleh konsentrasi oksigen dalam air. Keberadaan oksigen membuat proses dalam air berjalan secara *aerob*, dan sebaliknya akan berjalan secara an-aerob.



Gambar 3.15 Variabilitas oksigen terlarut (DO) tempat biakan pada musim pancaroba-kemarau-penghujan Kabupaten Purworejo

Hasil penelitian secara longitudinal musim pancaroba penghujan dan kemarau menunjukkan terjadinya variabilitas oksigen terlarut (DO). Pada

pancaroba penghujan kemarau (Mei) rata-rata oksigen terlarut sebesar 3,7 mg/lit pada rentang 1- 6,2 mg/lit. Oksigen terlarut mengalami peningkatan pada musim kemarau (Juli) menjadi sebesar 4.4 mg/lit, pada rentang 2-6,8 mg/lit. Terdapat deviasi sebesar 0,7 antar musim tersebut. Pada penelitian lanjutan di pancaroba kemarau penghujan (Oktober) nilai rata-rata oksigen terlarut sebesar 4,6 mg/lit pada rentang 2,1-6.6 mg/lit. Nilai tersebut mengalami peningkatan sebesar 0,2. Pada penelitian di musim penghujan (Desember) rata-rata oksigen terlarut tercatat sebesar 5,2 mg/lit pada rentang 2,3-7,4 mg/lit. Deviasi antar pancaroba dan musim penghujan sebesar 0,6. Gambar 3.16 menyajikan variabilitas konsentrasi oksigen terlarut selama musim pancaroba-penghujan dan musim kemarau



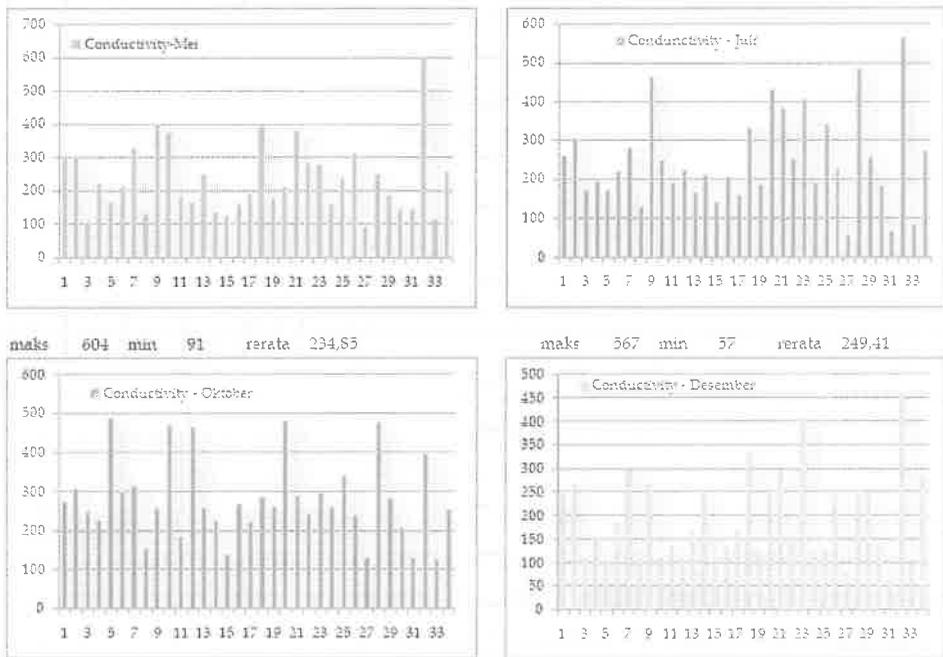
Gambar 3.16 Variabilitas konsentrasi klorida tempat biakan pada musim pancaroba-kemarau-penghujan Kabupaten Purworejo

g. Klorida (Cl)

Klorida merupakan mineral dalam air yang digunakan untuk pertumbuhan organisme. Keberadaan mineral klorida bersumber dari batuan di alam. Hasil penelitian pada 34 titik pengamatan secara

longitudinal menunjukkan terjadi variabilitas selama musim pancaroba, penghujan dan kemarau. Pada pancaroba penghujan kemarau diperoleh rata-rata konsentrasi klorida sebesar 10,1 mg/l pada rentang 1,7-30,8 mg/l. Nilai rata-rata ini mengalami penurunan menjadi 6,15 mg/l pada musim kemarau, dengan rentang 1,7-36,6 mg/l. Terjadi deviasi sebesar 3,95 antara pancaroba dan musim kemarau. Pada penelitian lanjutan pada pancaroba musim kemarau penghujan, nilai rata-rata klorida sebesar 7,8 mg/l, dengan rentang 1,7-40,9 mg/l. Terjadi deviasi 1,65 konsentrasi klorida antara kemarau dan pancarobanya.

Penelitian pada musim penghujan menunjukkan kosentrasi klorida mengalami penurunan hingga pada rata-rata sebesar 5,0 mg/l, dengan rentang 1,7-6 mg/l. Terjadi deviasi sebesar 2,8 antara pancaroba dan musim penghujan. Gambar 3.17 disajikan variabilitas konsentrasi klorida antara musim pancaroba, kemarau dan penghujan.



Gambar 3.17 Variabilitas daya hantar listrik (DHL) tempat biakan pada musim pancaroba-kemarau-penghujan Kabupaten Purworejo

h. *Electric Conductivity (EC)*

Daya hantar listrik (*Electric Conductivity*) merupakan parameter untuk menggambarkan banyak mineral yang terkandung di badan air. Hasil penelitian pada lokasi penelitian menunjukkan terjadi variasi nilai daya hantar listrik selama penelitian pergantian antar musim. Penelitian pada pancaroba penghujan-kemarau menunjukkan nilai rata-rata daya hantar listrik sebesar 234,8 $\mu\text{mhos/cm}$, pada rentang 91-604 $\mu\text{mhos/cm}$.

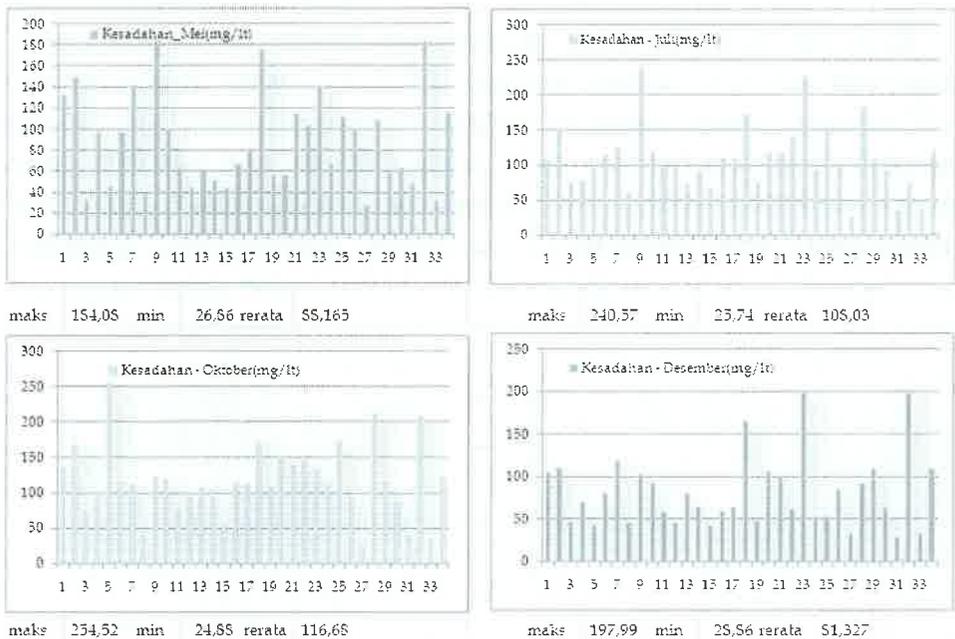
Pada penelitian lanjutan pada musim kemarau nilai daya hantar listrik mengalami peningkatan pada nilai rata-rata 249,41 $\mu\text{mhos/cm}$, dengan rentang 57-567 $\mu\text{mhos/cm}$. Terjadi deviasi sebesar 14,61 antara pancaroba penghujan kemarau ke musim kemarau. Pada pancaroba kemarau penghujan nilai DHL mengalami peningkatan pada nilai rata-rata sebesar 279,41 $\mu\text{mhos/cm}$, pada rentang 126-488 $\mu\text{mhos/cm}$. Deviasi antara kedua kurun waktu tersebut sebesar 30. Pada musim penghujan hasil penelitian menunjukkan nilai daya hantar listrik mengalami penurunan menjadi sebesar 192,94 $\mu\text{mhos/cm}$, dengan rentang 64-458 $\mu\text{mhos/cm}$. Terjadi deviasi sebesar 86,47 antara musim pancaroba dan musim penghujan. Gambar 4.21 disajikan variabilitas daya hantar listrik antara pancaroba, musim kemarau dan penghujan.

i. *Hardness/Kesadahan*

Kesadahan badan air menunjukkan komposisi mineral di dalamnya. Terdapat 2 jenis kesadahan yaitu kesadahan tetap dan kesadahan sementara. Kesadahan tetap terjadi bila senyawa logam banyak berikatan dengan SO_4^{2-} dan CL^- . Kesadahan sementara terjadi bila ion senyawa logam banyak berikatan dengan senyawa bikarbonat (HCO_3^-). Organisme juga dipengaruhi oleh tingkat kesadahan untuk tumbuh dan berkembang. Hasil penelitian menunjukkan terjadi variasi tingkat kesadahan antar musim selama pengamatan. Penelitian pada musim pancaroba penghujan kemarau menunjukkan nilai rata-rata kesadahan sebesar 88,18 mg/lit CaCO_3 , dengan rentang 26,8-184,01 mg/lit CaCO_3 . Penelitian lanjutan pada musim kemarau menunjukkan kesadahan meningkat menjadi rata-rata 108,03 mg/lit CaCO_3 dengan rentang 25,74-240,57 mg/lit CaCO_3 . Terjadi peningkatan sebesar 19,85. Penelitian lanjutan pada pancaroba kemarau penghujan diperoleh nilai kesadahan badan air tempat biakan pada nilai rata-rata 116,68 mg/lit CaCO_3 ,

dengan rentang 24,88-254,52 mg/lit. Terjadi deviasi dari musim sebelumnya sebesar 8,08. Hasil pengukuran pada musim penghujan menunjukkan kesadahan rata-rata sebesar 81,27 mg/lit CaCO₃ dengan rentang 28,86-197,99 mg/lit. Terjadi deviasi sebesar 35,41. Gambar 3.18 disajikan variabilitas kesadahan dari antar musim di tempat biakan.

Sebenarnya kualitas air yang seperti apa yang berpengaruh, sesuai dengan hasil penelitian penulis dan atau pustaka.



Gambar 3.18 Variabilitas kesadahan tempat biakan pada musim pancaroba-kemarau-penghujan Kabupaten Purworejo

j. Suhu Udara

Tempat istirahat vektor (*resting place*) dipengaruhi kualitas udara. Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran suhu, kelembaban dan kecepatan angin. Pengambilan sampel dilakukan pada sekitar rumah tempat penangkapan nyamuk. Pengukuran dilakukan secara longitudinal antar musim dan pancaroba. Kualitas udara berpengaruh terhadap usia nyamuk (*longevity*) dan keaktifan nyamuk dalam mencari mangsa darah untuk mendukung metabolisme.

Hasil pengukuran suhu, kelembaban dan kecepatan angin selama pancaroba penghujan kemarau, kemarau, pancaroba kemarau penghujan dan penghujan, menunjukkan terjadinya variasi. Pada pancaroba penghujan kemarau (Mei) diperoleh suhu udara rata-rata 28,3 °C, dengan rentang 23,5-31 °C. Pada pengukuran lanjutan pada musim kemarau (Juli) suhu udara mengalami penurunan pada nilai suhu rata-rata 26,9 °C, dengan rentang 23-32 °C. Terjadi deviasi 1,4 °C antara musim kemarau dengan pancaroba penghujan kemarau.

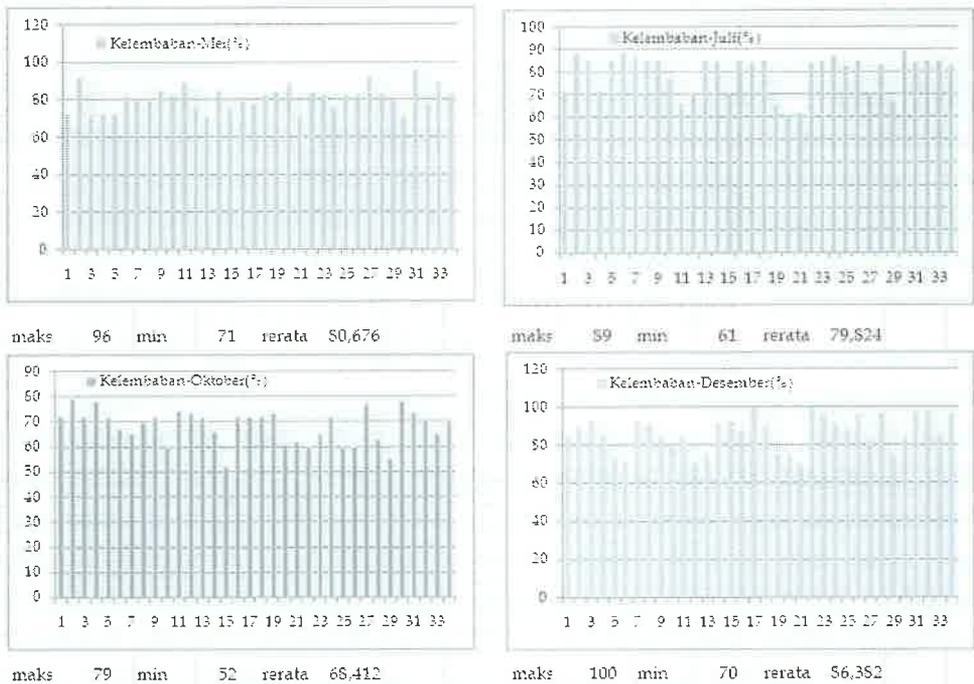
Pada pancaroba kemarau penghujan (Oktober) suhu udara rata-rata pada nilai 29,1 °C, dengan rentang 26,5-33 °C. Terjadi deviasi sebesar 2,2 °C antara musim kemarau dengan pancaroba menjelang musim penghujan. Penelitian lanjutan pada musim penghujan (Desember) suhu rata-rata berada pada nilai 26,29 °C, dengan rentang 22,5-30,5 °C. Nilai rata-rata suhu mengalami penurunan 2,81 °C. Gambar. 3.19 disajikan variabilitas suhu udara selama kurun waktu pancaroba, kemarau dan penghujan.



Gambar 3.19 Variabilitas suhu udara tempat biakan pada musim pancaroba-kemarau-penghujan Kabupaten Purworejo

k. Kelembaban Udara

Pengukuran kelembaban dilakukan secara longitudinal pada halaman sekitar rumah untuk penangkapan nyamuk. Hasil pengukuran pada musim pancaroba penghujan kemarau (Mei) diperoleh bahwa kelembaban udara rata-rata sebesar 80.6 %, dengan rentang 71-96%. Pengukuran pada musim kemarau (Juli) diperoleh kelembaban rata-rata sebesar 79.8%, dengan rentang 61- 89%. Nilai kelembaban terdapat deviasi sekitar 0,8%. Pada pengukuran lanjutan terhadap kelembaban di pancaroba kemarau penghujan (Oktober) diperoleh nilai rata-rata kelembaban udara sebesar 68,41% dengan rentang 52-79%. Deviasi dibandingkan dengan musim sebelumnya sebesar 11,3%. Hasil pengukuran lanjutan pada penghujan (Desember) diperoleh nilai kelembaban rata-rata 86,3% dengan rentang 70-100%. Besarnya deviasi dari musim sebelumnya sebesar 11,4%. Gambar 43.20 disajikan variabilitas kelembaban udara selama perubahan musim pancaroba, kemarau dan penghujan.

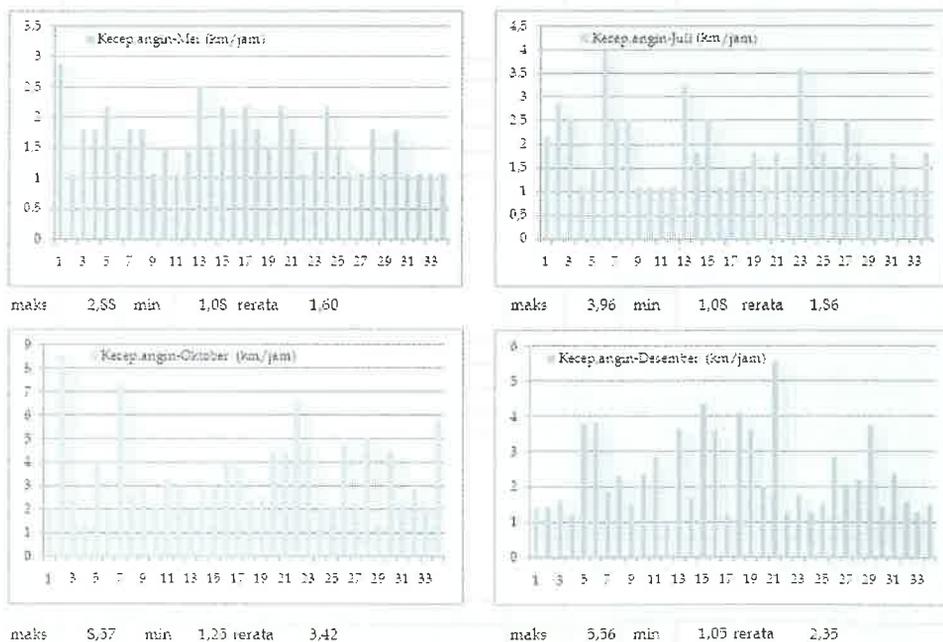


Gambar 3.20 Variabilitas kelembaban udara tempat biakan pada musim pancaroba-kemarau-penghujan Kabupaten Purworejo

1. Kecepatan Angin

Kecepatan angin berpengaruh terhadap pergerakan nyamuk. Dorongan angin dimanfaatkan nyamuk untuk berpindah menyebar ke wilayah lain. Hasil pengukuran kecepatan angin pada pancaroba penghujan-kemarau, diperoleh nilai rata-rata sebesar 1,6 km/jam, dengan rentang 1,08-2,88 km/jam. Pada penelitian di musim kemarau diperoleh rata-rata kecepatan angin sebesar 1,86 km/jam dengan rentang 1,08-3,96 km. Pada musim kemarau kecepatan angin terdapat deviasi sebesar 0,26.

Hasil penelitian pada pancaroba kemarau penghujan (Oktober) diperoleh kecepatan angin rata-rata sebesar 3,42 km/jam, dengan rentang 1,25-8,57 km.jam. Terjadi deviasi sebesar 1,56 dibandingkan dengan musim sebelumnya. Pada musim penghujan kecepatan angin rata-rata sebesar 2,35 km/jam, dengan rentang 1,05-5,56 km/jam. Deviasi terjadi sebesar 1,07 dengan kecepatan angin musim sebelumnya. Gambar 3.21 disajikan variabilitas kecepatan angin antar musim pancaroba, kemarau dan penghujan.



Gambar 3.21 Variabilitas kecepatan angin tempat biakan pada musim pancaroba-kemarau-penghujan Kabupaten Purworejo

7. Kesesuaian Habitat Spesies Malaria

Terdapat pengaruh parameter kualitas air dan udara terhadap tumbuh dan berkembangnya spesies *Anopheles*. Peneliti lain menemukan terdistribusinya berbagai spesies *Anopheles* secara topografis di Timor Barat dan Jawa (Ndoen dkk.,2010). Penelitian tersebut tidak spesifik membahas pengaruh parameter kualitas air dan kualitas udara pada setiap aras topografi. Hasil penelitian pengaruh pH dan salinitas sesuai dengan penelitian oleh Ageep dkk.,(2009). Penelitian Ageep dkk tersebut tentang distribusi spasial dan temporal nyamuk *Anopheles* di Sudan. Hasil penelitian juga menghasilkan pengaruh kualitas habitat terhadap sebaran vektor malaria. Ayala dkk.,(2009), melakukan penelitian tentang habitat yang sesuai untuk vektor malaria di Kamerun. Ayala menggunakan *eco geographical variabels (EGVs)* yang berhubungan dengan aktivitas manusia memberikan pengaruh besar terhadap habitat yang sesuai dengan 5 vektor utama malaria.

Penyinaran matahari, curah hujan, penguapan (*evapotranspirasi*), kelembaban, dan kecepatan angin sebagai faktor yang paling diskriminatif. Hasil penelitian di Purworejo menunjukkan adanya kesesuaian hasil penelitian dengan penelitian Ayala dkk tersebut. Garros C dkk.,(2008), melakukan penelitian distribusi *Anopheles* di Vietnam, menghasilkan terjadinya dominasi vektor sesuai dengan geografis. *An.minimus* dan *An.sinensis* banyak tersebar di Vietnam bagian utara, sedangkan *An.vagus* dan *An.aconitus* banyak tersebar di Vietnam bagian tengah, Kedua wilayah memiliki karakteristik yang berbeda, hal ini memperkuat adanya pengaruh karakteristik lingkungan terhadap sebaran vektor.

Setiap makhluk hidup akan tumbuh dan berkembang sesuai dengan daya dukung lingkungan yang ada. Makhluk hidup juga di tentukan oleh ketersediaan material kimia penyusun sebagai faktor pembatas (Hk. Minumum Leibig). Berbagai hasil penelitian tersebut juga menunjukkan adanya pengaruh kualitas air sebagai tempat biakan dan suhu dan kelembaban udara sebagai tempat istirahat. Angin berpengaruh terhadap distribusi nyamuk dewasa. Pengaruh kualitas *breeding* dan *resting* dibuktikan dengan tidak meratanya spesies *Anopheles* pada setiap wilayah.

8. Spesies dan Kualitas Habitat

Kualitas air merupakan tempat biakan untuk perkembangbiakan vektor malaria. Parameter kualitas air sebagai tempat biakan yang memberikan pengaruh secara dominan adalah: *total dissolved solids* (TDS); *Chlorida* (Cl); kekeruhan; salinitas; kesadahan; *conductivity*; *dissolved oxygen* (DO); pH. Kualitas udara sebagai resting yang memberikan pengaruh secara dominan adalah suhu, kelembaban dan kecepatan angin.

Kualitas air dan kualitas udara merupakan habitat setiap vektor malaria. Hasil penelitian menunjukkan karakteristik habitat spesies *Anopheles* adalah sebagai berikut.

a. *An.balabaensis*

Spesies ini ditemukan pada ketinggian 100-sekitar 700 mdpl (Tabel 4.17). Tempat biakan yang sesuai memiliki karakteristik TDS (39-293 mg/l); Chlorida (1,7-36,6 mg/l); kekeruhan (< 48 NTU); salinitas (< 0.02); kesadahan (24,88-206,91 mg/l); *conductivity* (44,78-604 μ mhos/cm); DO (1,3-7,4 mg/l) dan pH (4,3-8,3). *An balabaensis* hidup habitat dengan suhu 22,5-31 °C, dengan kelembaban > 61%, dan kecepatan angin < 5,56 km/jam.

Tabel 3.12 Tipologi kualitas lingkungan untuk *An.balabaensis*

Kualitas Breeding											
No	Parameter	Mei		Juli		Okt		Des		rentang	
		max	min	max	min	max	min	Max	min		
1	TDS	293,00	64,00	297,00	48,00	230,00	62,00	225,00	39,00	39,00	293,00
2	Chlorisa	22,22	4,00	36,60	1,70	10,00	1,70	15,00	1,70	1,70	36,60
3	kekeruhan	48,00	1,00	10,00	2,00	10,00	2,00	39,00	1,00	1,00	48,00
4	salinitas	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02
5	kesadahan	184,08	44,78	184,14	34,65	206,91	24,88	197,99	28,86	24,88	206,91
6	conductivity	604,00	44,78	484,00	85,00	481,00	131,00	438,00	64,00	44,78	604,00
7	DO	6,10	1,30	6,00	2,30	6,60	3,30	7,40	2,50	1,30	7,40
8	pH	7,40	5,90	8,30	6,40	7,60	4,60	7,30	4,30	4,30	8,30
Kualitas Resting											
1	kecepatan angin	1,80	1,05	3,24	1,05	4,36	2,18	5,56	1,26	1,05	5,56
2	suhu	30,00	23,50	31,00	25,00	31,00	26,50	30,50	22,50	22,50	31,00
3	kelembaban	96,00	75,00	87,00	61,00	77,00	61,00	100,00	70,00	61,00	100,00

Sumber: olahan data primer hasil penelitian lapangan

b. *An.aconitus*

Spesies ini ditemukan pada ketinggian 100-sekitar 600 mdpl (Tabel 4.17). Tempat biakan yang sesuai memiliki karakteristik TDS (37-890 mg/l); Chlorida (1,7-40,9 mg/l); kekeruhan (< 58 NTU); salinitas (< 0.02);

kesadahan (24,88-254,52 mg/l_t); *conductivity* (57,00 - 488 μmhos/cm); DO (1,7-7,4 mg/l_t) dan pH (4,3-8,5). *An. aconitus* hidup habitat dengan suhu 22,5-33 °C, dengan kelembaban > 52%, dan kecepatan angin < 7,4 km/jam.

Tabel 3.13 Tipologi kualitas lingkungan untuk *An. aconitus*

Kualitas breeding											
No	Parameter	Mei		Juli		Okt		Des		rentang	
		max	min	max	min	max	min	Max	min		
1	TDS	196,00	43,00	310,00	37,00	890,00	37,00	223,00	39,00	37,00	890,00
2	Clorida	30,50	3,00	36,60	1,70	40,90	1,70	16,00	1,70	1,70	40,90
3	kekeruhan	48,00	1,00	31,00	1,00	36,60	1,00	58,00	1,00	1,00	58,00
4	salinitas	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02
5	kesadahan	184,08	26,86	240,57	23,74	254,52	24,58	197,99	64,00	24,88	254,52
6	conductivity	401,00	91,00	484,00	57,00	488,00	126,00	407,00	64,00	57,00	488,00
7	DO	6,20	1,70	6,50	2,00	6,60	2,10	7,40	2,30	1,70	7,40
8	pH	7,70	5,60	8,30	6,00	8,30	4,80	8,00	4,30	4,30	8,30
Kualitas resting											
1	kecepatan angin	2,16	1,08	3,96	1,08	7,40	1,25	5,56	1,08	1,08	7,40
2	suhu	31,00	23,30	32,00	23,00	33,00	26,30	30,50	22,50	22,50	33,00
3	kelembaban	96,00	71,00	89,00	61,00	78,00	52,00	100,00	70,00	52,00	100,00

Sumber: olahan data primer hasil penelitian lapangan

c. An. barbirostress

Spesies ini ditemukan pada ketinggian 100-sekitar 600 mdpl (Tabel 4.17). Tempat biakan yang sesuai memiliki karakteristik TDS (54-890 mg/l_t); Chlorida (1,7-30,8 mg/l_t); kekeruhan (< 58 NTU); salinitas (< 0,02); kesadahan (31,84-172,26 mg/l_t); *conductivity* (91 - 481 μmhos/cm); DO (1,7-7,0 mg/l_t) dan pH (5,6-8,5). *An. barbirostress* hidup pada habitat dengan suhu 24,5-33°C, dengan kelembaban 52%-93%, dan kecepatan angin < 7,4 km/jam.

Tabel 3.14 Tipologi kualitas lingkungan untuk *An. barbirostress*

Kualitas breeding											
No	Parameter	Mei		Juli		Okt		Des		rentang	
		max	min	max	min	max	min	Max	min		
1	TDS	169,00	59,00	205,00	57,00	890,00	74,00	142,00	34,00	34,00	890,00
2	Clorida	30,50	3,00	15,00	2,00	20,00	1,70	16,00	1,70	1,70	30,50
3	kekeruhan	48,00	2,00	21,00	1,00	19,00	1,00	58,00	2,00	1,00	58,00
4	salinitas	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02
5	kesadahan	142,25	31,54	153,45	39,40	172,26	40,50	119,60	42,79	31,84	172,26
6	conductivity	381,00	108,00	434,00	131,00	451,00	137,00	298,00	91,00	91,00	451,00
7	DO	6,20	1,70	6,50	2,00	6,60	2,10	7,00	2,40	1,70	7,00
8	pH	7,60	5,90	8,50	6,00	7,70	5,60	8,00	5,90	5,60	8,50
Kualitas resting											
1	kecepatan angin	2,52	1,08	3,24	1,08	7,40	1,25	5,56	1,05	1,05	7,40
2	suhu	31,00	23,30	32,00	23,00	33,00	27,00	30,50	24,50	24,50	33,00
3	kelembaban	89,00	71,00	89,00	61,00	78,00	52,00	93,00	70,00	52,00	93,00

Sumber: pengolahan data primer hasil penelitian lapangan

d. An.vagus

Spesies ini ditemukan pada ketinggian 0- > 700 mdpl (Tabel 4.17). Tempat biakan yang sesuai memiliki karakteristik TDS (37-890 mg/l); *Chlorida* (1,7-40,8 mg/l); kekeruhan (< 58 NTU); salinitas (< 0.03); kesadahan (24,88-254,52 mg/l); *conductivity* (57 - 488 μ mhos/cm); DO (1,0 -7,4 mg/l) dan pH (4,3-8,5). *An vagus* hidup pada habitat dengan suhu 22,5-33°C, dengan kelembaban > 52%, dan kecepatan angin < 8,57 km/jam.

Tabel 3.15 Tipologi kualitas lingkungan untuk *An. vagus*

Kualitas breeding		Mei		Juli		Okt		Des		rentang	
No	Parameter	max	min	max	min	max	min	Max	min		
1	TDS	196,00	43,00	310,00	37,00	890,00	57,00	225,00	39,00	37,00	890,00
2	Clorida	30,80	3,00	36,60	1,70	40,90	1,70	16,00	1,70	1,70	40,90
3	kekeruhan	45,00	1,00	21,00	1,00	35,80	1,00	58,00	1,00	1,00	58,00
4	salinitas	0,02	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03
5	kesadahan	154,05	26,56	240,57	25,74	234,52	24,88	197,99	28,56	24,88	254,52
6	<i>conductivity</i>	401,00	91,00	484,00	57,00	488,00	126,00	407,00	64,00	57,00	488,00
7	DO	6,20	1,00	6,50	2,00	6,60	2,10	7,40	2,30	1,00	7,40
8	pH	8,20	5,60	8,50	6,00	8,50	4,80	8,00	4,30	4,30	8,50
Kualitas resting											
1	kecepatan angin	2,88	1,08	3,96	1,08	8,57	1,25	5,56	1,05	1,05	8,57
2	suhu	31,00	23,50	32,00	23,00	33,00	26,50	30,50	22,50	22,50	33,00
3	kelembaban	96,00	71,00	89,00	61,00	79,00	52,00	100,00	70,00	52,00	100,00

Sumber: olahan data primer hasil penelitian lapangan

e. An.anularis

Spesies ini ditemukan pada ketinggian 100 - 600 mdpl (Tabel 4.17). Tempat biakan yang sesuai memiliki karakteristik TDS (54 - 229 mg/l); *Chlorida* (1,7- 20,0 mg/l); kekeruhan (< 48 NTU); salinitas (< 0.01); kesadahan (44,78-119,18 mg/l); *conductivity* (109 - 471 μ mhos/cm); DO (2,7 -7,0 mg/l) dan pH (5,9-8,3). *An anularis* hidup pada habitat dengan suhu 24,5-32,5°C, dengan kelembaban 60-90%, dan kecepatan angin < 4,48 km/jam.

f. An.kochi

Spesies ini ditemukan pada ketinggian 0 - 600 mdpl (Tabel 4.17). Tempat biakan yang sesuai memiliki karakteristik TDS (37 - 230 mg/l); *Chlorida* (1,7- 30,8 mg/l); kekeruhan (< 48 NTU); salinitas (< 0,02); kesadahan (24,88-175,12 mg/l); *conductivity* (51-481 μ mhos/cm); DO (1,9 - 6,9 mg/l) dan pH (4,3-8,4). *An.kochi* hidup pada habitat dengan suhu 23,5-32,5°C, dengan kelembaban 55-96%, dan kecepatan angin < 7,40 km/jam.

Tabel 3.16 Tipologi kualitas lingkungan untuk *An. anularis*

Kualitas breeding											
No	Parameter	Mei		Juli		Okt		Des		rentang	
		max	min	max	min	max	min	Max	min		
1	TDS	157,00	67,00	166,00	121,00	229,00	109,00	110,00	54,00	54,00	229,00
2	Clorida	14,00	3,00	15,00	2,00	20,00	1,70	16,00	1,70	1,70	20,00
3	kekeruhan	48,00	3,00	3,00	1,00	7,00	1,00	10,00	2,00	1,00	48,00
4	salinitas	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
5	kesadahan	100,50	44,78	118,59	91,08	119,15	87,57	91,46	45,23	44,78	119,18
6	conductivity	375,00	141,00	249,00	152,00	471,00	209,00	133,00	109,00	109,00	471,00
7	DO	4,20	2,70	6,60	3,40	6,60	3,70	7,00	2,70	2,70	7,00
8	pH	7,60	5,90	8,30	6,00	7,60	5,90	7,70	6,30	5,90	8,30
Kualitas resting											
1	kecepatan angin	1,50	1,44	1,05	1,05	4,45	2,10	3,59	1,05	1,05	4,45
2	suhu	31,00	26,00	27,00	26,00	32,50	28,00	29,00	24,50	24,50	32,50
3	kelembaban	82,00	71,00	89,00	71,00	75,00	60,00	87,00	71,00	60,00	89,00

Sumber: olahan data primer hasil penelitian lapangan

Tabel 3.17 Tipologi kualitas lingkungan untuk *An. kochi*

Kualitas breeding											
No	Parameter	Mei		Juli		Okt		Des		rentang	
		max	min	max	min	max	min	Max	min		
1	TDS	196,00	43,00	222,00	37,00	230,00	62,00	225,00	39,00	37,00	230,00
2	Clorida	30,80	3,00	8,00	2,00	10,00	1,70	10,00	1,70	1,70	30,80
3	kekeruhan	48,00	1,00	15,30	1,00	19,00	1,00	14,00	1,00	1,00	48,00
4	salinitas	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02
5	kesadahan	175,12	28,86	172,75	25,74	172,26	24,88	165,17	32,16	24,88	175,12
6	conductivity	395,00	91,00	434,00	57,00	461,00	131,00	336,00	81,00	57,00	461,00
7	DO	6,20	1,90	6,10	2,00	6,20	2,50	6,90	2,50	1,90	6,90
8	pH	7,60	5,60	8,40	6,00	7,50	4,80	7,70	4,30	4,30	8,40
Kualitas resting											
1	kecepatan angin	2,16	1,05	3,96	1,05	7,40	1,28	5,56	1,05	1,05	7,40
2	suhu	31,00	25,50	32,00	25,00	32,00	26,50	30,50	23,50	23,50	32,00
3	kelembaban	92,00	71,00	59,00	61,00	78,00	55,00	96,00	70,00	55,00	96,00

Sumber: olahan data primer hasil penelitian lapangan

g. An.maculatus

Spesies ini ditemukan pada ketinggian 0 - 700 mdpl (Tabel 4.17). Tempat biakan yang sesuai memiliki karakteristik TDS (42 - 310 mg/l); Chlorida (1,7- 29,9 mg/l); kekeruhan (< 48 NTU); salinitas (< 0,03); kesadahan (28,86- 240,57 mg/l); conductivity (64-481 μmhos/cm); DO (1,7-7,4 mg/l) dan pH (5,6-8,5). *An.maculatus* hidup pada habitat dengan suhu 22,5-32,5°C, dengan kelembaban > 55%, dan kecepatan angin < 7,40 km/jam.

Tabel 3.18 Tipologi kualitas lingkungan untuk *An.maculatus*

Kualitas breeding											
No	Parameter	Mei		Juli		Okt		Des		rentang	
		max	min	max	min	max	min	Max	min		
1	TDS	195,00	59,00	310,00	44,00	230,00	57,00	209,00	42,00	42,00	310,00
2	Clorida	29,90	3,00	15,00	1,70	20,00	1,70	16,00	1,70	1,70	29,90
3	kekeruhan	45,00	1,00	21,00	1,00	35,50	1,00	28,00	1,00	1,00	45,00
4	salinitas	0,02	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03
5	kesadahan	154,05	31,54	240,57	34,65	172,26	31,65	197,99	25,56	25,56	240,57
6	conductivity	401,00	108,00	464,00	66,00	451,00	126,00	407,00	64,00	64,00	451,00
7	DO	6,20	1,70	6,80	2,00	6,20	2,30	7,40	2,30	1,70	7,40
8	pH	7,70	5,90	5,50	6,00	5,50	5,60	5,00	5,90	5,60	5,50
Kualitas resting											
1	kecepatan angin	2,52	1,08	3,96	1,08	7,40	1,25	3,52	1,05	1,05	7,40
2	suhu	31,00	23,50	31,00	23,00	32,50	26,50	29,50	22,50	22,50	32,50
3	kelembaban	96,00	71,00	59,00	61,00	75,00	55,00	100,00	71,00	55,00	100,00

Sumber: olahan data primer hasil penelitian lapangan

h. *An.indifinitus*

Spesies ini ditemukan pada ketinggian 330 - 400 mdpl (Tabel 4.17). Tempat biakan yang sesuai memiliki karakteristik TDS (55 - 230 mg/l); Clorida (2,0- 30,8 mg/l); kekeruhan (< 31 NTU); salinitas (< 0,02); kesadahan (48,24-152,51 mg/l); *conductivity* (116-481 μ mhos/cm); DO (1,0-6,5 mg/l) dan pH (6,5-7,5). *An.indifinitus* hidup pada habitat dengan suhu 25,5-32,0°C, dengan kelembaban 61-88%, dan kecepatan angin < 5,56 km/jam.

Tabel 3.19 Tipologi kualitas lingkungan untuk *An.indifinitus*

Kualitas breeding											
No	Parameter	Mei		Juli		Okt		Des		Rentang	
		max	min	max	min	max	min	max	min		
1	TDS	172,00	86,00	208,00	93,00	230,00	123,00	141,00	55,00	55,00	230,00
2	Clorida	30,80	10,00	7,00	5,00	7,00	2,00	10,00	3,00	2,00	30,80
3	Kekeruhan	31,00	6,00	18,30	3,00	2,00	1,00	12,00	4,00	1,00	31,00
4	Salinitas	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02
5	Kesadaran	114,42	56,72	116,82	77,22	152,51	109,54	106,53	48,24	48,24	152,51
6	Conductivity	381,00	180,00	434,00	186,00	481,00	259,00	298,00	116,00	116,00	481,00
7	DO	6,20	1,90	6,00	1,00	6,50	5,60	6,30	2,50	1,00	6,50
8	pH	7,00	6,90	7,20	6,50	7,50	7,10	7,20	6,70	6,50	7,50
Kualitas resting											
1	Kecepatan angin	2,16	1,44	1,80	1,08	4,45	2,45	5,56	2,01	1,08	5,56
2	Suhu	29,00	25,50	32,00	31,00	32,00	30,00	30,50	29,50	25,50	32,00
3	kelembaban	88,00	72,00	65,00	61,00	73,00	61,00	75,00	70,00	61,00	88,00

Sumber: data primer penelitian lapangan

i. An.subpictus

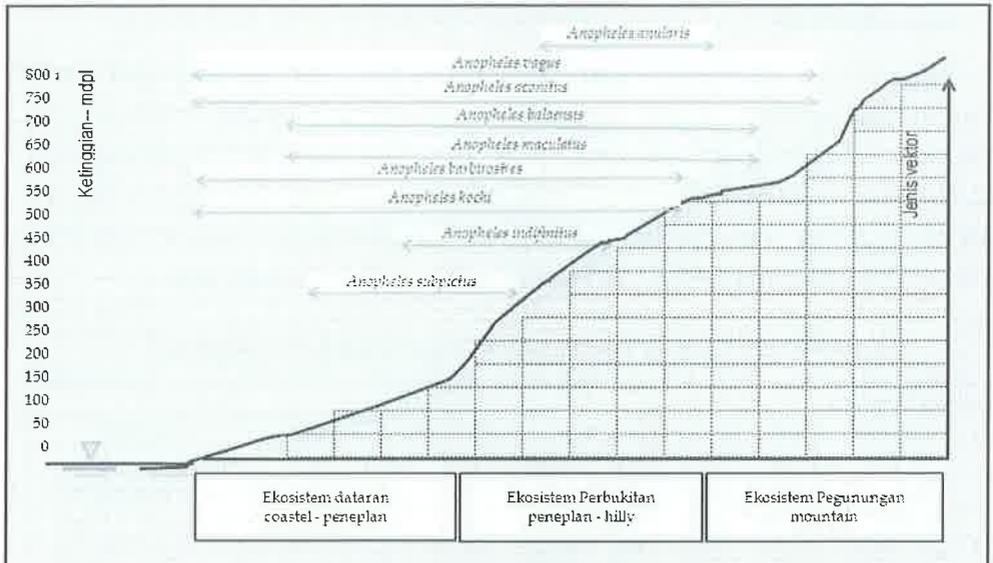
Spesies ini ditemukan pada ketinggian 100 - 400 mdpl (Tabel 4.17). Tempat biakan yang sesuai memiliki karakteristik TDS (51 - 268 mg/lit); Chlorida (2,0 - 10 mg/lit); kekeruhan (< 31 NTU); salinitas (< 0,00); kesadahan (42,21-254,52 mg/lit); *conductivity* (106-488 μ mhos/cm); DO (2,1-5,9 mg/lit) dan pH (6,3-7,5). *An.subpictus* hidup pada habitat dengan suhu 25,5-32,0°C, dengan kelembaban 61-88%, dan kecepatan angin < 4,36 km/jam.

Tabel 3.20 Tipologi kualitas lingkungan untuk *An.subpictus*

Kualitas breeding											
No	Parameter	Mei		Juli		Okt		Des		Rentang	
		max	min	max	min	max	min	max	min		
1	TDS	105,00	98,00	208,00	115,00	268,00	160,00	121,00	51,00	51,00	268,00
2	Clorida	10,00	3,00	7,00	2,00	7,00	6,00	7,00	4,00	2,00	10,00
3	Kekeruhan	31,00	21,00	5,00	2,00	10,00	2,00	14,00	4,00	2,00	31,00
4	Salinitas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	Kesadaran	97,51	45,77	116,82	94,05	254,52	115,14	106,53	42,21	42,21	254,52
6	Conductivity	212,00	168,00	434,00	172,00	488,00	300,00	254,00	106,00	106,00	488,00
7	DO	4,30	2,90	5,20	3,50	5,90	2,10	3,90	3,10	2,10	5,90
8	pH	6,90	6,80	7,40	6,50	7,50	7,10	7,30	6,30	6,30	7,50
Kualitas resting											
1	Kecepatan angin	2,16	1,44	3,96	1,08	4,36	1,87	2,01	2,01	1,08	4,36
2	Suhu	31,00	25,50	31,00	26,00	32,00	31,00	30,00	29,50	25,50	32,00
3	kelembaban	88,00	73,00	88,00	61,00	72,00	61,00	75,00	72,00	61,00	88,00

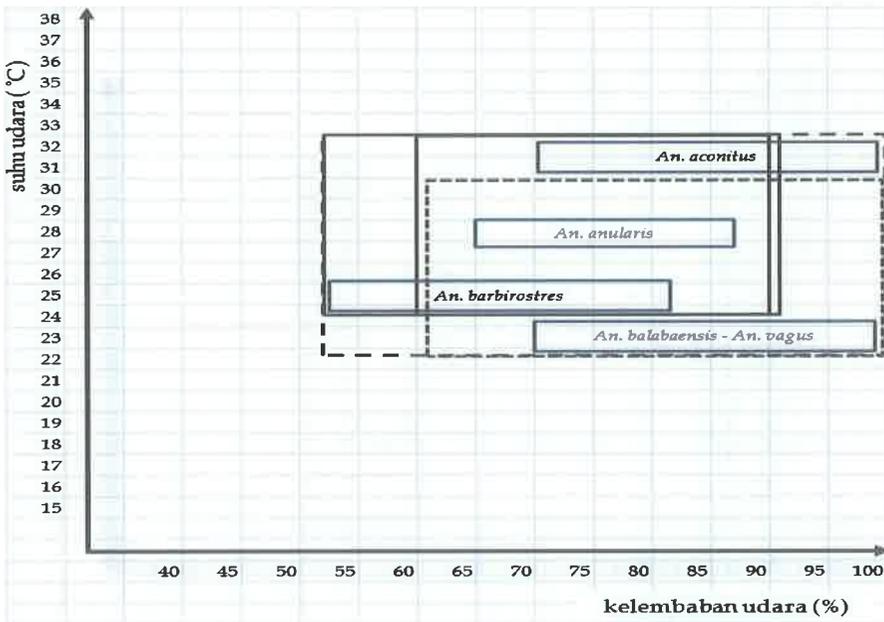
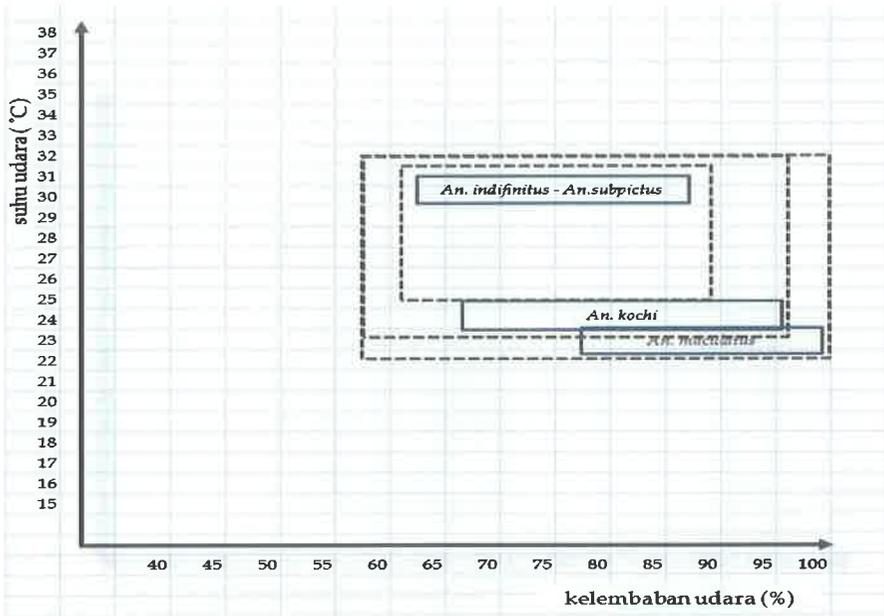
Sumber: olahan data primer hasil penelitian lapangan

Habitat berbagai spesies *Anopheles* dapat digambarkan dalam skalogram untuk menunjukkan rentang dari sebaran spesies. Gambar 3.22 menunjukkan sebaran secara ketinggian berbagai spesies nyamuk. *Anopheles vagus* dan *An.aconitus* memiliki sebaran yang paling luas yaitu dari ketinggian nol sampai sekitar 700 mdpl masih ditemukan spesies tersebut. Spesies *An.maculatus* dan *An.balabaensis* ditemukan pada ketinggian 100-600 mdpl; Spesies *An.barbirostres* ditemukan pada ketinggian nol-600 dpl; *An.kochi* ditemukan pada ketinggian 0- 500 mdpl; *An. subpictus* detemukan pada ketinggian 100-300 mdpl; *An.indifinitus* ditemukan pada ketinggian 200-400 mdpl; dan *An. anularis* ditemukan pada ketinggian 400 -600 mdpl.

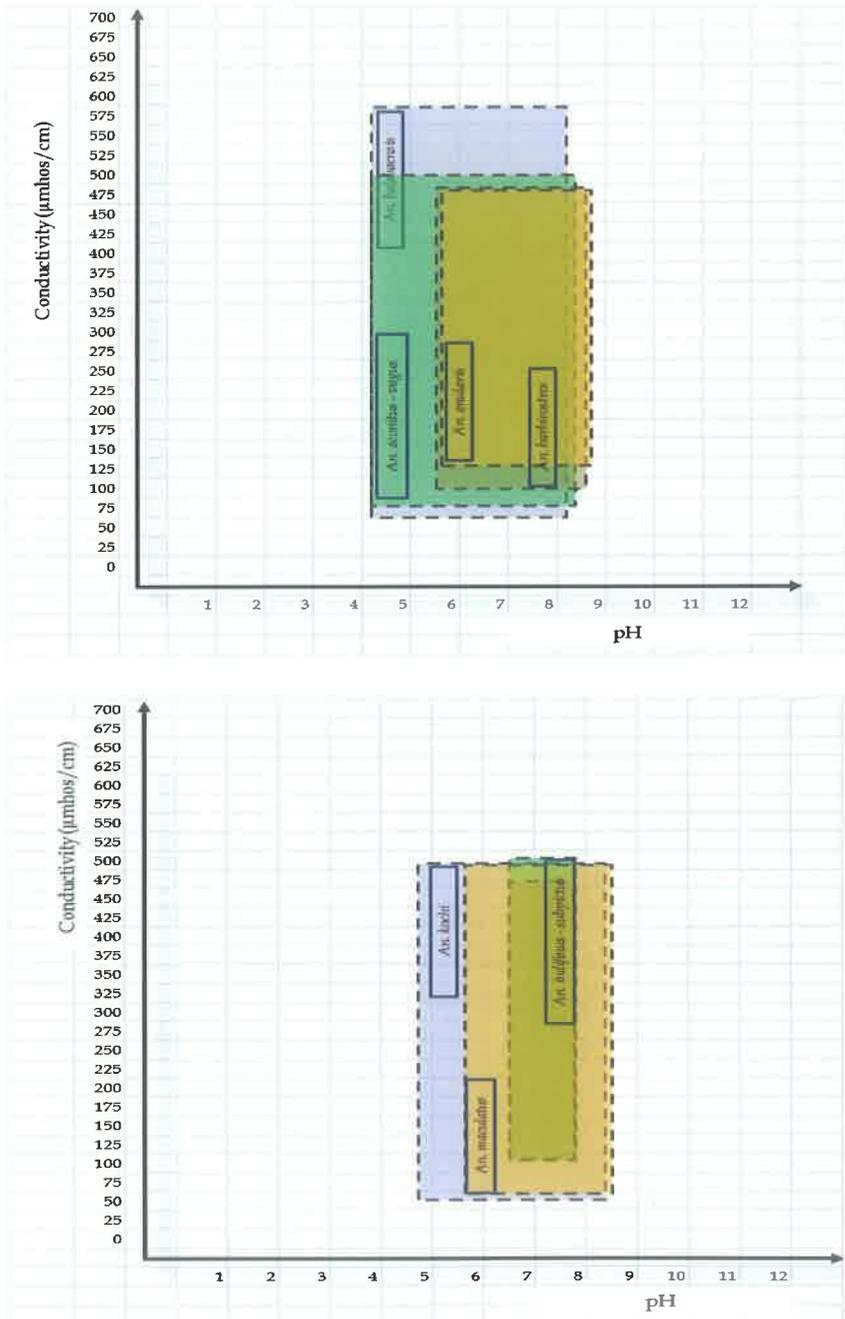


Gambar 3.22 Profil sebaran spesies *Anopheles* di Kabupaten Purworejo

Skalogram suhu dan kelembaban udara rentang dari sebaran spesies *Anopheles* ditunjukkan dalam Gambar 3.23 Spesies *Anopheles vagus* dan *An.balabaensis* memiliki rentang suhu dan kelembaban yang sama yaitu suhu udara 22,5-31°C, dan kelembaban > 60%; *An. aconitus* pada rentang suhu 22,5-33°C dengan kelembaban > 52%; *A.barbirostri* suhu 24,5-33 °C, dengan kelembaban 52%-93%; *An.anularis* suhu 24,5-32,5 °C, dengan kelembaban 60-90%; *An.kochi* rentang suhu 23,5-32,5 °C, dengan kelembaban 55-96%; *An.maculatus* hidup pada habitat dengan suhu 22,5-32,5 °C, dengan kelembaban > 55%; *An.indefinitus* hidup pada habitat dengan suhu 25,5-32,0°C, dengan kelembaban 61-88%; *An.subpictus* hidup pada habitat dengan suhu 25,5-32,0°C, dengan kelembaban 61-88%.



Gambar 3.23 Suhu dan kelembaban habitat spesies nyamuk Anopheles



Gambar 3.24 pH dan Conductivity habitat spesies nyamuk *Anopheles* di Purworejo

Skalogram pH dan *Conductivity* rentang dari sebaran spesies *Anopheles* ditunjukkan dalam Gambar 3.24 Spesies *Anopheles balabaensis* memiliki rentang pH dan *conductivity* 4,3-8,3 dan *conductivity* 44,78-604 $\mu\text{mhos/cm}$. Spesies *Anopheles aconitus* dan *vagus* memiliki rentang pH dan *conductivity* sama yaitu antara 4,3-8,5 dan *conductivity* 57-488 $\mu\text{mhos/cm}$. Spesies *Anopheles indifinitus* dan *subpictus* memiliki rentang pH dan *conductivity* sama yaitu antara 6,3-7,5 dan *conductivity* 106-488 $\mu\text{mhos/cm}$. Spesies *Anopheles barbirostris* memiliki rentang pH dan *conductivity* antara 5,6-8,5 dan *conductivity* 91 - 481 $\mu\text{mhos/cm}$. Spesies *Anopheles anularis* memiliki rentang pH dan *conductivity* antara 5,9-8,3 dan *conductivity* 107-471 $\mu\text{mhos/cm}$. Spesies *Anopheles kochi* memiliki rentang pH dan *conductivity* antara 4,8-8,4 dan *conductivity* 57-481 $\mu\text{mhos/cm}$.

DAFTAR PUSTAKA

1. Harjanto P.N, 2000, Malaria, Patogenesis, Manifestasi Klinis, & Penanganan, Penerbit Buku Kedokteran EGC, Jakarta
2. [http://www .depkes.go.id](http://www.depkes.go.id), Kemenkes, 2013, Bebas Malaria Investasi Masa Depan Bangsa, diakses, 24 April 2013
3. Baroji, Damar T, 2003, Bionomik Vektor dan Situasi Malaria di Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulonprogo, Jurnal Ekologi Kesehatan, Vol 2 No 2
4. Sosrodarsono, 1977, Hidrologi Untuk Pengairan, PT.Prandya Paramita, Jakarta
5. Tejoyuwono NH, 2000, Tanah dan Lingkungan Hidup, Yogyakarta, Pusat Studi Sumber Daya Lahan UGM.
6. Huggett JR, 1995, Geoecology An evolutionary approach, Routledge, New York
7. Bintarto, 1997, Ekologi Manusia, Yogyakarta, Fakultas Geografi UGM
8. Verstappen, H.Th, 1983, Applied Geomorphology, Elsevier Science Publisher, New York
9. Aswar. A, 1986, Pengantar Ilmu Kesehatan Lingkungan, Jakarta, PT. Mutiara Sumber Widya.
10. Odum T, 1988, Basic of Ecology, John Wiley&Sons LTD, New York
11. Beroya AM, 2000, Mengenal Lingkungan Hidup, Rineka Cipta, Jakarta
12. Tanjung SD, 1995, Dasar Dasar Ilmu Lingkungan, Fakultas Biologi, Yogyakarta

13. O'Riordan T, 1995, Environmental Science for Environmental Management, Longman Science&Technical, London
14. WHO Study Group, 1995, Vector Control for Malaria and Other Mosquito-Borne Disease, WHO, Geneva
15. Sutrisno B, 1994, Pengantar Metode Epidemiologi, Dian Rakyat, Jakarta
16. Mardihusodo SJ, 1999, Malaria Status Kini dan Pengendalian Nyamuk Vektornya untuk Abad XXI, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
17. Subbarao KS, 1998, Anopheline Species Complexes in South-East Asia, WHO, New Delhi

-oo0oo-

4

PERUBAHAN IKLIM GLOBAL DAN PERUBAHAN POLA PENYAKIT

4.1 PERUBAHAN IKLIM GLOBAL (*CLIMATE CHANGE*)

Fenomena perubahan pola cuaca merupakan indikasi nyata terjadinya perubahan iklim di Indonesia. Iklim adalah rata-rata peristiwa cuaca di suatu wilayah tertentu dalam variasi waktu yang cenderung lama. Cuaca merupakan gejala alam yang terus terjadi dan berubah dalam waktu harian atau bulanan. Perubahan iklim adalah perubahan jangka panjang terhadap pola cuaca. Perubahan iklim akan menghasilkan pola cuaca baru, yang dirasakan oleh seluruh kehidupan di Bumi.

Sebenarnya, bumi juga membutuhkan gas rumah kaca untuk menjaga suhu agar tetap stabil. Bumi berangsur-angsur memecahkan rekor suhu terpanasnya setiap tahun. Analisis independen *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* dan *National Aeronautics and Space Administration* Amerika Serikat atau NASA mencatat, suhu global tahunan telah meningkat rata-rata 0,7 derajat Celcius per dekade sejak 1880 dan terus mencapai dua kali lipat atau 0,18 derajat Celcius sejak 1981. Tahun 2019, suhu permukaan global tahunan menjadi yang terhangat kedua dalam kurun waktu 140 tahun terakhir, atau sejak pencatatan suhu modern dimulai pada tahun 1880.

Pada 2019, suhu permukaan laut dan daratan secara global, dilaporkan meningkat 0,95 derajat Celcius. Angka ini hanya 0,04 derajat lebih rendah dari rekor peningkatan suhu bumi tertinggi yakni 0,99 derajat Celcius pada

2016 yang menjadi tahun terhangat di bumi. Sebelumnya, rekor tahun terhangat kedua dipegang oleh 2015 dengan peningkatan suhu global mencapai 0,93 derajat Celcius. Sejak 2015 juga bumi terus mencatatkan lima tahun terpanasnya suhu dalam rekor 1880-2019.

Pola yang sama terjadi di Indonesia, 2019 juga menjadi tahun terpanas kedua yang dialami masyarakat Indonesia. Data observasi stasiun pengamatan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) memperlihatkan, anomali suhu pada 2019 mencapai 0,58 derajat Celcius dari rata-rata periode normal (1981-2010). Pada tahun itu juga, seluruh provinsi di Indonesia kecuali Bali mencatatkan anomali positif dengan nilai anomali tertinggi 1,13 derajat Celcius di Kepulauan Riau dan 1,03 derajat Celcius di Banten. Sedangkan 31 provinsi lainnya mencatatkan anomali positif dibawah 1 derajat Celcius. Layaknya fenomena peningkatan suhu global tahunan, BMKG juga mencatat tahun terpanas di Indonesia terjadi pada 2016 dengan nilai anomali, sebesar 0,8 derajat Celcius.

Tahun ini, Indonesia kembali mengalami peningkatan suhu. Berdasarkan data pengamatan BMKG, suhu rata-rata September 2020 mencapai 27,2 derajat Celcius atau meningkat 0,6 derajat Celcius dari suhu September pada periode normal yakni 26,6 derajat Celcius. Tidak hanya Indonesia, suhu global juga dihadapkan dengan risiko serupa. Secara keseluruhan, suhu permukaan global pada September 2020 sendiri menjadi September terpanas dalam catatan. Apabila diruntut dari Januari tahun ini, NOAA mencatat adanya peningkatan suhu rata-rata 1,02 derajat Celcius di sebagian besar daratan dan lautan global.

BPS dalam "Statistik Lingkungan Hidup 2019" menjelaskan, pemanasan global dapat mengakibatkan kerusakan lapisan ozon karena semakin sedikitnya panas yang mampu dilepaskan ke luar troposfer, akibatnya lapisan stratosfer akan semakin dingin. Kerusakan lapisan ozon inilah yang kemudian mempengaruhi kondisi iklim dan memicu perubahan pola cuaca terlebih di wilayah dengan garis lintang bumi yang lebih tinggi. Di negara tropis seperti Indonesia, berkurangnya jumlah hari hujan terutama di musim kemarau, turut berkontribusi terhadap terjadinya kekeringan yang parah selama kemarau berkepanjangan di beberapa wilayah Indonesia.

Sepanjang 2019, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mencatat, terjadinya 1.529 kejadian bencana kekeringan yang menimpa 13 provinsi di Indonesia yakni kepulauan Jawa kecuali DKI Jakarta, Nusa Tenggara, Sumatra Selatan, Sumatra Barat, Aceh, Maluku, Bali, dan Kalimantan Selatan. Jumlah ini hampir dua kali lipat dari seluruh kejadian bencana kekeringan pada tahun sebelumnya dengan 834 kasus kekeringan dan merupakan tahun dengan bencana kekeringan terbanyak selama satu dekade terakhir.

Data Informasi Bencana Indonesia BNPB memperlihatkan, mayoritas bencana kekeringan yang menimpa Indonesia terpusat di Jawa Tengah, setidaknya sejak 2017. Tahun ini saja, Jawa Tengah dilaporkan telah dilanda 35 dari 38 kejadian bencana kekeringan yang menimpa Indonesia. Jumlah ini bukanlah apa-apa jika dibandingkan dengan akumulasi bencana kekeringan yang menimpa Jawa Tengah pada 2019 yang mencapai 1.208 kasus, empat kali lipat lebih besar dari akumulasi bencana kekeringan yang menimpa 12 provinsi lainnya pada tahun yang sama. Sebagian besar wilayah tengah Jawa juga diprediksi masih akan ditimpa bencana kekeringan dikemudian hari dengan tingkat kekeringan yang tinggi, seperti yang dikemukakan Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas) dalam "Statistik Lingkungan Hidup 2019". Selain Jawa, risiko kekeringan yang tinggi juga ditemukan di sebagian Sumatra dan Nusa Tenggara.

Pada saat yang bersamaan, Jawa, Sumatra dan Nusa Tenggara juga dihadapkan dengan risiko berkurangnya ketersediaan air bersih yang cukup tinggi pada periode 2025-2030. Bappenas memprakirakan, risiko penurunan ketersediaan air bersih akan menimpa 75 persen kawasan Jawa-Bali, terutama di bagian utara Jawa Barat, bagian tengah dan selatan Jawa tengah dan Jawa Timur. Di Pulau Sumatra dan Nusa Tenggara, risiko berkurangnya ketersediaan air bersih terjadi di sebagian kecil wilayah utara, barat dan selatan Sumatra dan beberapa bagian kawasan Pulau Lombok.

1. Proyeksi Perubahan Iklim 2020-2049 BMKG

Ke depannya, suhu rata-rata tahunan Indonesia pada 2020-2049 diproyeksikan mengalami perubahan lebih dari 0,9 derajat Celcius. BMKG dalam artikel "Proyeksi Perubahan Iklim" yang dipublikasi pada laman resminya mengemukakan, perubahan suhu rata-rata tahunan di sebagian

besar wilayah Indonesia diperkirakan mencapai 1,2 hingga lebih dari 1,3 derajat Celcius. Suhu minimum dan maksimum tahunan pada periode tersebut juga dipastikan turut berubah melebihi angka 2 derajat Celcius untuk suhu minimum dan 2,4 derajat Celcius untuk suhu maksimum.

Perubahan rata-rata suhu tahunan ini juga berimbas pada jumlah hari hujan tahunan, yang juga diperkirakan BMKG akan semakin berkurang pada periode yang sama. Persentase hari hujan di sebagian besar wilayah selatan Indonesia diprediksi akan berkurang 5 hingga 20 persen pada setiap September-November 2020-2049. Adapun wilayah yang berisiko mengalami penurunan jumlah hari hujan paling tinggi mencakup bagian selatan Pulau Jawa, sebagian besar Nusa Tenggara, bagian selatan Sulawesi Selatan dan Sulawesi Tenggara, juga sebagian kecil selatan Lampung dan Bengkulu.

Risiko yang bisa terjadi, wilayah tersebut juga diprediksi akan mengalami penambahan hari kering selama periode Juni hingga Agustus 2020-2049. Sebagian besar Pulau Jawa, dan Nusa Tenggara digadang-gadang akan mengalami penambahan hari kering dengan risiko yang cenderung rendah dengan persentase yang bervariasi mulai dari 1 hingga 15 persen. Sementara risiko peningkatan yang lebih ekstrem diproyeksikan menimpa Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Barat, Sulawesi Timur, Sumatra Selatan, Maluku, Papua Barat dan sebagian Papua dengan penambahan hari kering yang berkisar 15 sampai melebihi 25 persen.

Pengaruh kondisi iklim dalam abad ini telah diketahui, terutama dampaknya terhadap kesehatan manusia. Hubungan antara kesehatan manusia dan perubahan iklim merupakan permasalahan khusus dalam dekade belakangan ini. Perubahan iklim global, kelembaban global yang ekstrim, dan epidemi dalam skala besar, merupakan permasalahan besar dalam skala internasional, dampaknya terhadap kesehatan manusia dan kematian. Muncul permasalahan mengenai bagaimana perubahan cuaca dan iklim berpengaruh terhadap kesehatan manusia.

Hunt, dalam CSIRO (2010) menyatakan, periode pendek terjadinya pendinginan secara global jangan diinterpretasikan bahwa periode pemanasan global berakhir. Pada beberapa bagian wilayah bumi tahun 2010 menjadi tahun sangat panas secara global. Dua komponen iklim terjadi interaksi secara terus menerus, kadang sinergi kadang bertentangan satu

sama lain, menyebabkan iklim yang ekstrim. Ada pengaruh aktifitas manusia dan perubahan akibat pengaruh alami, yang menyebabkan terjadinya pemanasan global dan pendinginan global.

Kennedy (2010) menyatakan bahwa pada abad yang lalu, rata-rata suhu global meningkat 0,74 °C. Secara global emisi CO₂ dan suhu permukaan laut mengalami peningkatan lebih cepat dari perkiraan semula. Lautan secara global mengalami kenaikan dengan 0,10 °C antara 1961 hingga 2003, pada kedalaman sampai 700 meter. Di Australia terjadi peningkatan 0,9 °C sejak tahun 1950. Beberapa fakta terkait perubahan iklim global ini antara lain: mencairnya kutub es dan laut es; penurunan 10-15% es di laut Artic, dan penurunan 40% ketebalan rata-rata; rata-rata peningkatan muka air laut hingga 20 mm setiap periode 10 tahun, selama 50 tahun terakhir; meningkatnya kematian terumbu karang karena peningkatan suhu air.

Konferensi PBB untuk Perubahan Iklim di Cancun, Tahun 2010, menerbitkan "*A Green Fund To Cut Global Warming By Cutting Emissions*" menunjukkan bahwa perubahan iklim menjadi konsentrasi global yang harus dilakukan penanganan. Pengaruh Perubahan iklim secara global, juga diduga kuat memberikan pengaruh dalam skala lebih kecil. Pengaruh tersebut dapat terjadi secara langsung atau secara tidak langsung seperti terjadinya ledakan vektor penyakit. Pola penyakit Malaria diduga kuat mengalami perubahan akibat adanya perubahan cuaca secara global ini.

4.2 PERUBAHAN IKLIM GLOBAL (CLIMATE CHANGE) DAN PERUBAHAN POLA PENYAKIT

Menurut Genchi (2010) perubahan iklim bersamaan dengan peningkatan dinamika fauna, di Eropa. Perubahan dinamika tersebut menyebabkan peningkatan rentang secara geografis dari beberapa vektor penyakit (*vector borne parasites*). Beberapa tahun terakhir, derajat pertumbuhan harian (*growing degree day (GDD)*), yang menggunakan model prediksi, menunjukkan skala lokal data suhu udara, mengalami peningkatan dengan kejadian *dirofilaria di beberapa tempat di dunia*. Pemanasan global, menyebabkan suhu pada musim panas lebih sesuai bagi penyebaran *dirofilaria*. *Faktor ini tidak hanya menjadi penyebab tunggal inkubasi Dirofilaria*, tetapi juga berdampak pada spesies nyamuk.

Sejak Tahun 2004, Kementerian Kesehatan Italia telah menyusun program penanggulangan pengaruh peningkatan suhu pada musim panas sebagai penyebab kematian. Kegiatan tersebut mencakup 34 kota besar dan 93% penduduk yang berusia lebih dari 65 tahun. Program ini akan mengambil contoh penting dari pengaruh panas pada kesehatan dan angka kematian. Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh perubahan suhu dengan meningkatnya angka kematian.

Muthers (2010), melakukan penelitian tentang *climate change* dan angka kematian (*mortality*). Potensi peningkatan suhu berhubungan dengan angka kematian pada abad 21 di Viene, Austria. Dengan menggunakan model IPCC, wilayah dikelompokkan dalam dua region berdasarkan skenario emisi. Tekanan panas dijelaskan dengan menggunakan *human biometeorological index*, PET (*Physiologically Equivalent Temperature*). Berdasarkan data hubungan antara tekanan panas dan angka kematian tahun 1970-2007, dapat dilakukan beberapa prediksi. Sampai Tahun 2011-2040 tidak terjadi perubahan secara signifikan. Pada dekade selanjutnya tahun 2040-2100, diprediksikan akan terjadi peningkatan hingga 129%.

Tonnang, dkk., (2010), melakukan penelitian prediksi dan pemetaan malaria di Afrika. Pendekatan yang dilakukan dengan melihat bahwa malaria merupakan penyakit dengan prevalensi yang tinggi di Afrika. *Vector borne disease*, seperti malaria merupakan penyakit yang sensitif terhadap perubahan iklim. Peningkatan vektor memiliki risiko tinggi terhadap kejadian penyakit. Metode yang digunakan dengan kalibrasi CLIMEX parameter. Model ini membantu estimasi distribusi potensi geografis spesies dikaitkan dengan faktor iklim. Hasil penelitian menunjukkan bahwa batas spesies terjadi peningkatan pada wilayah dengan iklim yang berbeda.

Beberapa faktor penghambat pemberantasan malaria antara lain terbatasnya pengetahuan mengenai biologi parasit, vektor, ekologi manusia dan lingkungan. Faktor lingkungan fisik dan meteorologi di Indonesia sangat menguntungkan terjadinya transmisi malaria. Pengaruh suhu berbeda untuk setiap spesies. Pada suhu 26,7°C masa *inkubasi eksentrik* adalah 10 -12 hari (*falciparum*); 8-11 hari (*vivax*); 14-15 hari (*malariae* dan *ovale*).

Pengaruh lingkungan fisik pada perkembangan nyamuk *Anopheles* adalah sebagai berikut, Suhu berpengaruh terhadap perkembangan parasit

pada nyamuk, makin tinggi suhu akan semakin pendek masa inkubasi pada nyamuk, sebaliknya makin rendah suhu maka akan makin panjang masa inkubasi. Kelembaban yang rendah memperpendek umur nyamuk. Batas kelembaban 40% merupakan batas paling rendah untuk memungkinkan hidupnya nyamuk secara optimum. Pada kelembaban yang lebih tinggi nyamuk menjadi lebih aktif dan sering menggigit, sehingga meningkatkan penularan malaria.

4.3 KARAKTERISTIK LAHAN DAN HABITAT VEKTOR

Geomorfologi wilayah memiliki keterkaitan langsung dengan distribusi dan kerapatan vegetasi, baik secara *altitudinal* maupun *latitudinal*. *Latitudinal* dan *altitudinal* dipengaruhi oleh faktor unsur cuaca seperti curah hujan, kelembaban dan suhu udara, yang akan membentuk tipe vegetasi tertentu. Bentuk lahan, komponen vertikal, dan relief juga merupakan faktor penting yang akan menentukan karakteristik kerapatan vegetasi. Beberapa *zoning* vegetasi berdasarkan kerapatan dan tipe vegetasi, misalnya *quercus ilex*, *quercus pubescens* dan *vagus silvatica*, menunjukkan distribusi vegetasi secara *altitudinal*.

Fluktuasi curah hujan akan berpengaruh pada perkembangan nyamuk. Hujan yang diselingi panas akan memperbesar kemungkinan berkembangbiaknya nyamuk *Anopheles*. Ketinggian tempat berkorelasi dengan suhu, semakin tinggi suatu wilayah, penyebaran malaria makin jarang ditemui, kecuali akibat pengaruh pemanasan bumi dan El Nino. Ketinggian paling tinggi masih memungkinkan transmisi malaria sekitar 2500 m di atas permukaan laut. Pengaruh angin adalah pada kemampuan jarak terbang nyamuk. Pengaruh sinar matahari memberikan pengaruh berbeda pada spesies nyamuk. Arus air juga memberikan pengaruh berbeda untuk setiap spesies.

Land unit merupakan satuan lahan yang digunakan sebagai dasar melakukan analisis. Satuan lahan dihasilkan dari melakukan tumpang susun berbagai parameter karakteristik lingkungan. Parameter karakteristik lingkungan yang digunakan dapat berupa ketinggian wilayah, klasifikasi kasus malaria, pemanfaatan lahan, dan parameter lingkungan lain. Satuan lahan memiliki karakteristik dan merupakan habitat dari makhluk hidup.

Pada habitat tersebut akan ditemukan kehidupan yang saling interaksi dan interdependensi.

Organisme dikendalikan oleh lingkungan (habitat) dengan dua cara yaitu ambang batas organisme dalam jumlah yang dibutuhkan oleh semua organisme untuk dapat bertahan hidup, dan batas toleransi dimana organisme masih mampu bertahan hidup dan berkembang. Reaksi organisme dalam menyikapi perubahan lingkungan dapat berbagai tahapan antara lain migrasi, adaptasi atau mutasi. Pertumbuhan populasi yang melampaui daya dukung lingkungan akan memberikan beban kepada daya dukung lingkungan dan akan terjadi konsep homeostatis, dimana jumlah populasi akan berada pada jumlah tetap, sesuai dengan daya dukung lingkungan yang ada.

4.4 IKLIM GLOBAL DAN IKLIM MIKRO

1. Indikator Perubahan Iklim Global

Perubahan iklim global dilakukan analisis dengan salah satu indikator yaitu indek osilasi selatan (*Southern Oscillation Index, SOI*). Data SOI diperoleh dari *Australian Government Bureau of Meteorology*. Indek osilasi selatan memberikan informasi tentang iklim secara global, terutama terjadinya fenomena El-Nino dan La-Nina. Kedua fenomena tersebut memberikan dampak pada terjadinya peningkatan curah hujan dan atau terjadinya kekeringan. Indeks negatif memberikan kecenderungan terjadinya fenomena el-nino yang berpotensi terjadinya kekeringan. Indeks positif memberikan kecenderungan terjadinya fenomena la-nina yang mendukung peningkatan curah hujan. Tahun 1997 menunjukkan indek negatif hingga (-28,5). Tahun tersebut terjadi el-nino, yang berpengaruh terhadap terjadinya kekeringan. El-nino lain terjadi tahun 2002 dan 2004 meskipun tidak sebesar tahun 1997. Fenomena la-nina terjadi tahun 1998, 2007, 2008, 2010. Tahun 2010 besarnya indek positif sebesar 25,0 merupakan tahun dengan pengaruh la-nina paling besar. Pengaruh yang terjadi adalah peningkatan curah hujan. Tabel 4.1 menyajikan data indeks osilasi selatan.

Tabel 4.1 *Indek osilasi selatan tahun 1996-2013*

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Agst	Sep	Okt	Nop	Des
1996	8,4	1,1	6,2	7,8	1,3	13,9	6,8	4,6	6,9	4,2	(0,1)	7,2
1997	4,3	13,3	(8,5)	(16,2)	(22,4)	(24,1)	(9,5)	(19,8)	(14,8)	(17,8)	(15,2)	(9,1)
1998	(23,5)	(19,1)	(28,5)	(24,4)	0,5	9,9	14,6	9,8	11,1	10,9	12,5	13,3
1999	15,6	8,6	8,9	18,5	1,3	1,0	4,8	2,1	(0,4)	9,1	13,1	12,8
2000	5,1	12,9	9,4	16,8	3,6	(5,5)	(3,7)	5,3	9,9	9,7	22,4	7,7
2001	8,9	11,9	6,7	0,3	(9,0)	1,8	(3,0)	(8,9)	1,4	(1,9)	7,2	(9,1)
2002	2,7	7,7	(5,2)	(3,8)	(14,5)	(6,3)	(7,6)	(14,6)	(7,6)	(7,4)	(6,0)	(10,6)
2003	(2,0)	(7,4)	(6,8)	(5,5)	(7,4)	(12,0)	2,9	(1,8)	(2,2)	(1,9)	(3,4)	9,8
2004	(11,6)	8,6	0,2	(25,4)	13,1	(14,4)	(6,9)	(7,6)	(2,8)	(3,7)	(9,3)	(8,0)
2005	1,8	(29,1)	0,2	(11,2)	(14,5)	2,6	0,9	(6,9)	3,9	10,9	(2,7)	0,6
2006	12,7	0,1	13,8	15,2	(9,8)	(5,5)	(8,9)	(15,9)	(5,1)	(15,3)	(1,4)	(3,0)
2007	(7,3)	(2,7)	(3,4)	(3,0)	(2,7)	5,0	(4,3)	2,7	1,5	5,4	9,8	14,4
2008	14,1	21,3	12,2	4,5	(4,3)	5,0	2,2	9,1	14,1	13,4	17,1	13,3
2009	9,4	14,8	0,2	8,6	(5,1)	(2,3)	1,6	(5,0)	3,9	(14,7)	(6,7)	(7,0)
2010	(10,1)	(14,5)	(10,6)	15,2	10,0	1,8	20,5	18,8	25,0	18,3	16,4	27,0
2011	19,9	22,3	21,4	25,1	2,1	0,2	10,7	2,1	11,7	7,3	13,8	23,0
2012	9,4	2,5	2,9	(7,1)	(2,7)	(10,4)	(1,7)	(5,0)	2,7	2,4	3,9	(6,0)
2013	(1,1)	(3,6)	11,1	0,3	8,4	13,9	8,1	(0,5)	3,9	(1,9)	9,2	0,6

Sumber: Australian Government Bureau of Meteorology, 2014

2. Iklim di Purworejo

Iklim di Kabupaten Purworejo dikaji dengan pendekatan Schmidt & Ferguson dan pendekatan Oldeman. Kategori bulan basah, lembab dan kering, digunakan klasifikasi MOHR. Sesuai dengan pendekatan Schmidt & Ferguson, besarnya nilai perbandingan antara bulan kering dan bulan basah (Q) rata-rata tahun 1996-2012 yaitu sebesar 38%. Berdasarkan pengelompokan termasuk dalam kategori Iklim C.

Klasifikasi lain dengan pendekatan Oldeman juga menggunakan perbandingan bulan basah dan bulan kering. Dikenal 5 zona iklim yaitu iklim A, B, C, D, dan E. Klasifikasi lebih khusus dikelompokkan berdasarkan jumlah bulan basah dan bulan kering. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa Kabupaten Purworejo secara rata-rata selama kurun waktu tahun 1996-2012, termasuk dalam kategori Iklim C3.

Tabel 4.2 Klasifikasi iklim Kabupaten Purworejo berdasarkan klasifikasi Schmidt & Ferguson

Tahun	Jumlah Bulan			Q	Klasifikasi Iklim
	Basah	Lembab	Kering		
1996	7	0	5		
1997	4	2	6		
1998	10	1	1		
1999	8	0	4		
2000	8	1	3		
2001	9	1	2		
2002	6	1	5		
2003	6	0	6		
2004	6	1	5		
2005	8	1	3		
2006	6	0	6		
2007	6	3	3		
2008	7	0	5		
2009	7	1	4		
2010	11	1	0		
2011	7	0	5		
2012	7	1	4		
Rerata	8	1	3	38 %	C

Keterangan :

Q = (rata jumlah bulan kering setahun / rata-rata jumlah bulan basah) x 100 %

A = 0 % < Q < 14.3 %
 B = 14.3 % < Q < 33.3 %
 C = 33.3 % < Q < 60 %
 D = 60 % < Q < 100 %
 E = 100 % < Q < 167 %
 F = 167 % < Q < 300 %
 G = 300 % < Q < 700 %
 H = Q > 700 %

Sumber: perhitungan peneliti, 2013

Tabel 4.3 Klasifikasi iklim Kabupaten Purworejo berdasarkan klasifikasi Oldeman

Tahun	Jumlah Bulan			Zone Iklim	Klasifikasi
	Basah	Lembab	Kering		
1996	6	1	5		
1997	2	2	8		
1998	9	1	2		
1999	6	2	4		
2000	7	1	4		
2001	7	2	3		
2002	6	-	6		
2003	5	1	6		
2004	5	1	6		
2005	6	2	4		
2006	5	1	6		
2007	5	1	6		
2008	6	1	5		
2009	5	2	5		
2010	8	3	1		
2011	7	-	5		
2012	6	1	5		
Rerata	6	2	4	C	C3

Klasifikasi

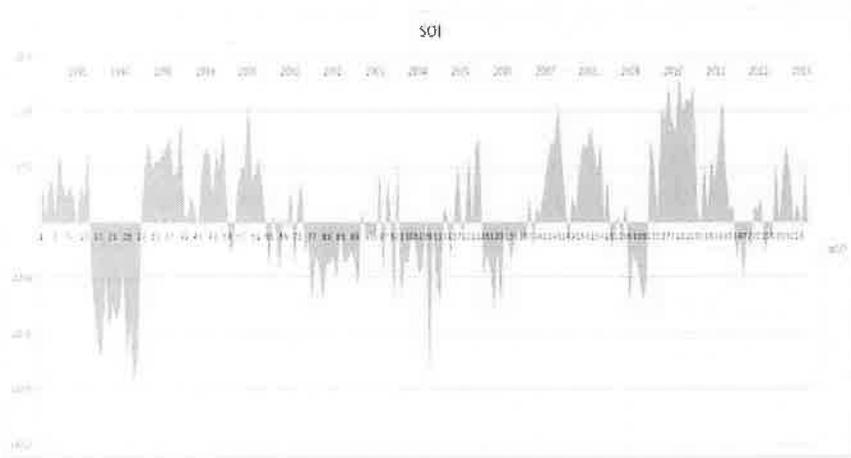
Iklim A > 9 kali
 Iklim B 7-9 kali
 Iklim C 5-6 kali
 Iklim D 3-4 kali
 Iklim E < 3 kali

Bulan Basah > 200 mm
 Bulan Lembab 100-200
 Bulan Kering < 100

Sumber: perhitungan peneliti, 2013

3. Penyimpangan Iklim Purworejo

Pengaruh perubahan iklim global dan variasi perubahan iklim di Purworejo dilakukan analisis dengan menggunakan analisis kecenderungan. Analisis ini menggabungkan gambar diagram SOI dengan kategori iklim. Pada tahun 1996 indeks positif, terjadi peluang La-Nina bersifat basah, iklim yang terjadi di Purworejo adalah C3 bersifat basah. Tahun 1997, indeks SOI negatif, terjadi El-Nino bersifat kering, pada tahun tersebut di Purworejo, cuaca bersifat kering. Begitu juga pada tahun-tahun berikutnya terjadi kemiripan sifat iklim dengan perubahan indeks osilasi selatan. Perubahan nyata dirasakan ketika $SOI > 10$ atau lebih kecil dari (-10) . Dapat dipahami bahwa perubahan iklim secara global memiliki pengaruh untuk penyimpangan iklim di Purworejo. Perubahan SOI tahun 1996-2012 disajikan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Kecenderungan perubahan iklim global Southern Oscillation Index (SOI)

4. Pengaruh Perubahan Iklim Global Terhadap Unsur Cuaca

Perubahan iklim global memberikan pengaruh pada curah hujan di Kabupaten Purworejo. Uji pengaruh ini dilakukan dengan analisis korelasi antara indeks osilasi selatan (SOI) pada Tabel 4.1, dengan curah hujan bulanan selama kurun waktu tahun 1996 -2012. Hasil analisis menunjukkan koefisien korelasi bervariasi. Pada kondisi perubahan iklim global ekstrim dimana indeks SOI lebih besar dari 10 atau kurang dari (-10) memberikan pengaruh besar terhadap curah hujan. Pada tahun 1997 koefisien korelasi tersebut

mencapai angka 0,86. Begitu pula dengan tahun lain koefisien korelasi menunjukkan nilai signifikan, yaitu: 0,44 (1996); 0,43(1998); 0,77(1997, 2000); 0,48(2001); 0,52(2002); 0,76 (2006); 0,61(2008); 0,73(2011).

Pada kondisi iklim global relatif normal, SOI antara 10 sampai -10, maka pengaruh terhadap curah hujan tidak signifikan. Koefisien korelasi lebih kecil dari 0,3, antara lain terjadi pada tahun 2003 (0,33); 2004 (0,06); 2005(0,19); 2010(0,09). Hasil analisis ini memberikan gambaran bahwa apabila terjadi perubahan iklim global secara ekstrim, memberikan pengaruh terhadap curah hujan di Kabupaten Purworejo. Sedangkan bila iklim global relatif normal maka tidak berpengaruh terhadap curah hujan.

Begitu pula dengan pengaruh terhadap unsur cuaca yang lain baik untuk suhu rata-rata maksimum dan kelembaban bulanan minimum. Hal tersebut dapat diartikan bahwa pada kondisi iklim global yang menyimpang dari kondisi normal, memberikan pengaruh terhadap cuaca di Kabupaten Purworejo. Selengkapnya besarnya pengaruh, yaitu koefisien korelasi (R) antara SOI terhadap unsur cuaca disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Koefisien korelasi tahunan pengaruh perubahan iklim global terhadap unsur cuaca Tahun 1996-2012

Tahun	Koefisien korelasi R			
	curah hujan	suhu maksimum	suhu rata-rata	kelembaban min
1996	(0.44)	0.10	0.04	(0.16)
1997	0.86	0.26	(0.08)	0.06
1998	(0.43)	(0.76)	0.19	0.01
1999	0.77	0.48	0.56	0.16
2000	0.77	0.62	0.59	0.44
2001	0.48	0.11	0.03	0.40
2002	0.52	0.29	0.49	(0.42)
2003	0.33	(0.15)	0.18	(0.18)
2004	0.06	(0.09)	0.11	(0.41)
2005	(0.19)	(0.36)	(0.03)	0.17
2006	0.76	0.32	0.43	0.32
2007	0.48	0.06	(0.19)	0.28
2008	0.61	0.41	0.41	(0.07)
2009	0.50	0.09	0.16	(0.03)
2010	(0.09)	0.30	(0.43)	(0.51)
2011	0.73	0.55	0.51	(0.02)
2012	0.36	(0.03)	0.17	0.13

Sumber: perhitungan peneliti, 2013

5. Penanda Pengaruh Perubahan Iklim Global di Purworejo

Pengaruh perubahan iklim yang dirasakan di Kabupaten Purworejo adalah terjadinya anomali curah hujan bulanan beberapa tahun terakhir. Pada tahun 1997, tahun 2002 dan 2004, ketika indek SOI lebih kacil dari (-10) secara global terjadi El-Nino, menandakan terjadi kekeringan. Pada tahun yang sama di kabupaten Purworejo juga terjadi penyimpangan intensitas curah hujan. Pada tahun 1997 bulan kering ditandai dengan curah hujan < 100 mm berlangsung selama 7 bulan mulai dari bulan Mei sampai November. Begitu pula dengan tahun 2002 dan 2004 pengaruh tersebut juga dirasakan dengan lamanya musim kemarau.

Pada tahun 2010 juga terjadi dampak perubahan iklim secara global yaitu terjadinya penyimpangan curah hujan. Pada tahun tersebut SOI lebih besar dari 10, secara global terjadi La-Nina. Pada tahun tersebut terjadinya penyimpangan (anomali) curah hujan di Kabupaten Purworejo. Musim penghujan terjadi sepanjang tahun, bahkan pada bulan Agustus pun curah hujan masih tercatat sebesar 81 mm. Data-data tersebut memberikan penanda bahwa perubahan iklim secara global, juga terutama pada kondisi puncak (ekstrim), dengan SOI lebih besar dari 10 atau lebih kecil dari (-10), berpengaruh terhadap cuaca di Kabupaten Purworejo.

4.5 PERUBAHAN POLA SPASIAL DAN TEMPORAL PENYAKIT MALARIA

Terdapat permasalahan mengenai perubahan Pola Spasial dan Pola Temporal Kasus Malaria di Kabupaten Purworejo. Pola spasial berhubungan langsung dengan luas sebaran kasus malaria dari tahun ke tahun. Pola atau dalam bahasa Inggris disebut "*pattern*" memiliki arti susunan warna atau gambar atau substansi (materi) yang menyusun sebuah sistem. Pola sebaran kasus malaria dimaknai sebagai susunan wilayah yang terjadi kasus malaria dari waktu ke waktu. Pola sebaran dapat diterjemahkan atas dasar luas wilayah sebaran dan atas dasar bentuk sebaran kasus malaria.

Analisis pola sebaran dapat dilakukan dengan *Arc-GIS*, *Spatial Statistic Tools*, atau *Analyzing Patterns*. Terdapat beberapa pilihan dalam memanfaatkan perangkat lunak *Arc-GIS* untuk analisis pola (*pattern*) yaitu: *Average Nearest Neighbor (ANN)*, *Heigh/Low Clustering*, *Multi Distance Spatial*

Cluster Analysis, dan *Spatial Autocorrelation*. Analisis temporal dapat dilakukan dengan pendekatan analisis varian kasus malaria dari data tahunan malaria.

1. Sebaran Kasus Malaria

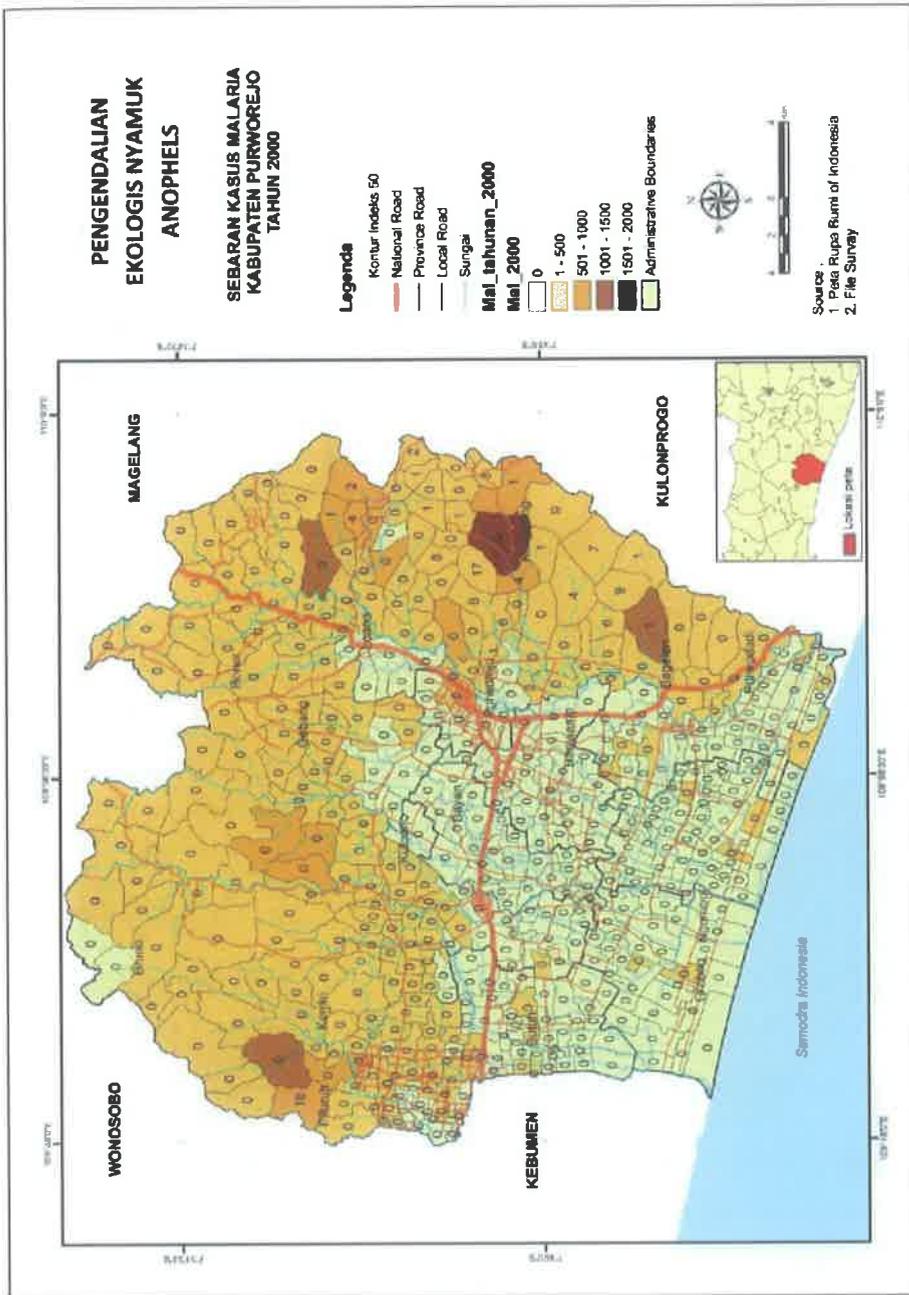
Data sebaran kasus malaria di Kabupaten Purworejo tercatat sejak tahun 2000 hingga tahun 2012. Data tidak tersedia untuk tahun 2002, 2004 dan 2005 karena permasalahan dan kebijakan Pemerintah Kabupaten Purworejo, sehingga *surveillance* untuk 3 tahun tersebut tidak dilakukan dengan baik. Sebaran ditemukannya kasus malaria mengalami dinamika setiap tahunnya. Tahun 2000 sebaran mencakup 176 desa, tahun 2001 meluas menjadi 233 desa, tahun 2003 turun menjadi 176 desa. Tahun 2006 sampai tahun 2012 mengalami dinamika, hingga paling sedikit tersebar pada tahun 2009 (35 desa), dan tahun terakhir kasus meningkat persebarannya hingga mencapai 65 desa. Tabel 4.5 berikut menyajikan persebaran kasus malaria dari tahun 2000-tahun 2012.

Tabel 4.5 *Dinamika jumlah desa kasus malaria Kabupaten Purworejo Tahun 2000-2012*

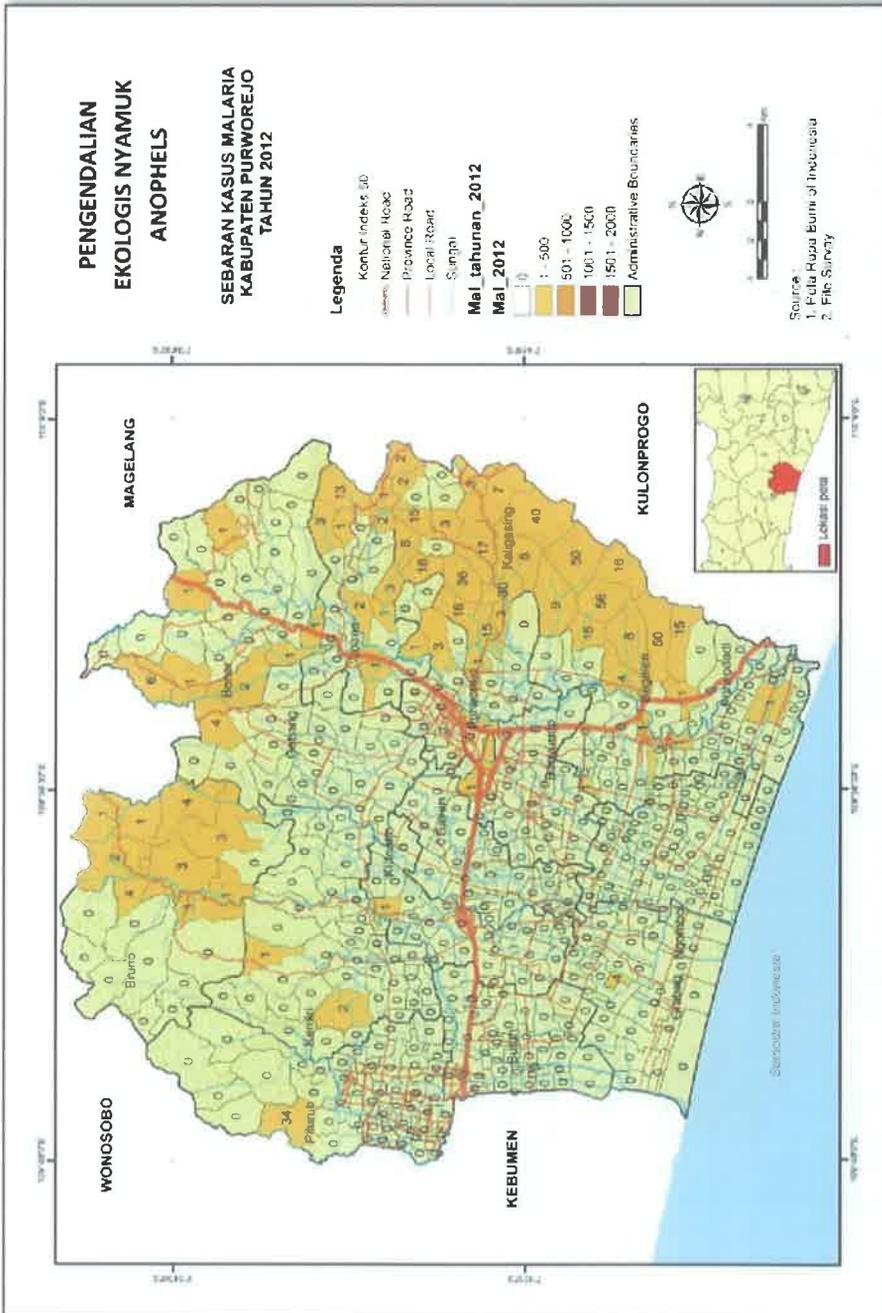
No.	Puskesmas Area	Jumlah Desa Endemis Malaria Kabupaten Purworejo									
		2000	2001	2003	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
1	Bagelan I	9	9	5	1	7	1	1	3	3	8
2	Bagelan II	8	8	7	6	8	0	0	1	7	0
3	Banyuurip	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4	Bayan	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Bener	28	29	27	12	14	19	20	10	8	8
6	Butuh	3	8	2	6	3	0	1	1	0	0
7	Gebang	19	20	18	11	13	1	0	2	0	0
8	Grabag	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0
9	Bruno	16	16	13	0	11	4	1	0	2	10
10	Kaligesing	21	21	19	16	15	9	3	8	11	17
11	Kemiri	38	35	8	14	11	1	0	1	5	3
12	Kutoarjo	10	5	0	0	0	0	0	0	0	1
13	Loano	15	19	18	13	19	13	7	8	3	9
14	Ngombol		5	1	5	0	0	0	0	0	0
15	Pituruh	38	35	22	9	10	0	1	2	7	1
16	Purwodadi	3	5	0	0	0	0	0	0	0	3
17	Purworejo	16	17	13	11	12	4	1	1	0	4
	Jumlah Desa	224	234	173	104	129	52	35	37	46	65

Sumber: Dinas Kesehatan Kabupaten Purworejo, 2012

Gambar 4.2 dan 4.3 menyajikan sebaran secara spasial kasus malaria Kabupaten Purworejo tahun 2000 dan 2012



Gambar 4.2 Sebaran spasial kasus malaria Tahun 2000 Kabupaten Purworejo

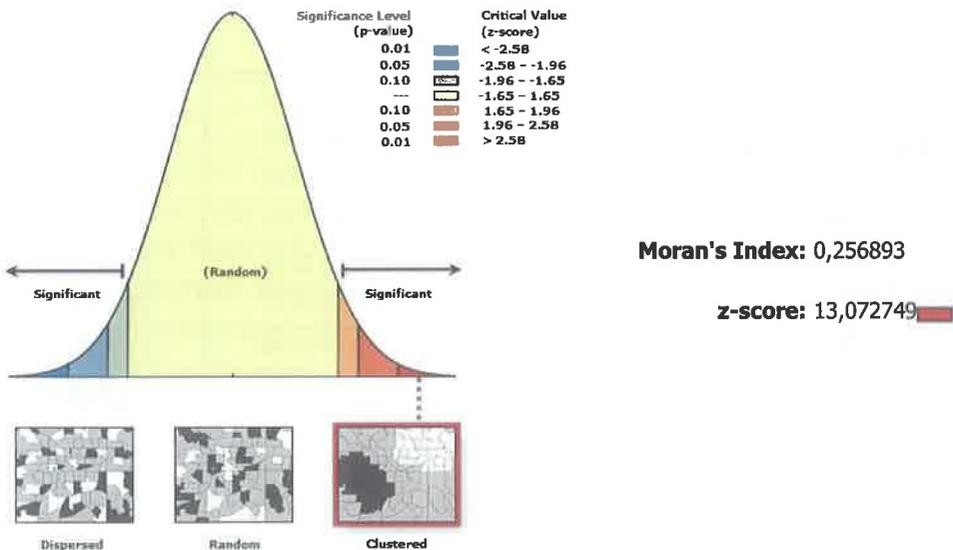


Gambar 4.3 Sebaran spasial kasus malaria Tahun 2012 Kabupaten Purworejo

2. Analisis pola spasial dengan metode *Autocorrelation* (Indek Moran)

Salah satu metode untuk melakukan analisis pola sebaran kasus malaria Kabupaten Purworejo adalah metode *Autocorrelation* dengan ARC-GIS. Metode *autocorrelation* dilakukan dengan pendekatan bahwa kesamaan fitur dari lokasi kasus malaria terjadi, metode ini akan menghasilkan indek Moran. Penentuan pola sebaran ditentukan berdasarkan nilai Z dan tingkat signifikansi (*p-value*). Indek Moran juga menghasilkan nilai Z untuk menentukan penerimaan atau penoakan H_0 . Hipotesis nol (H_0) menyatakan bahwa tidak ada kelas secara spasial. Tingkat signifikansi ditentukan berdasarkan *p-value* sebesar 0.05.

Sebagaimana digambarkan dalam grafik berikut nilai z dapat digambarkan dalam grafik dan akan dapat dihasilkan pola sebaran kasus malaria. Terdapat tiga pola yang dihasilkan yaitu *disperse* (menyebarkan), *random* (acak) dan *clustered* (kelas).



Gambar 4.4 Penentuan pola sebaran kasus malaria dengan Moran Indek

Grafik tersebut menunjukkan bahwa besarnya z-score sebesar 13,072, dengan signifikansi 0.000. Hal ini menunjukkan bahwa H_0 ditolak, dan H_1 diterima, berarti terdapat kelas-kelas dalam pola sebaran kasus malaria. Grafik juga telah menunjukkan bahwa pola yang dihasilkan untuk sebaran

malaria tahun 2000 *Clustered*. Tabel 4.6 dan Gambar 4.4, menunjukkan besarnya nilai *z-score* sebaran kasus malaria dari tahun 2000-2012. Tabel tersebut menunjukkan bahwa besarnya *z-score* selama kurun waktu tahun 2000-2012, berpola *clustered*. Berdasarkan indek moran, bila mendekati -1 maka berarti berpola menyebar (*disperse*), bila mendekati 0 (nol) maka cenderung berpola acak, sedangkan bila mendekati 1 maka akan berpola *clustered*.

Hasil analisis dengan menggunakan pendekatan Arc-GIS diperoleh bahwa pola sebaran tidak mengalami perubahan dari tahun ketahun yang menghasilkan pola *clustered*. Metode Moran-Indek menunjukkan bahwa terjadi perubahan pola sebaran spasial malaria **tidak terbukti**. Hasil analisis pola kecenderungan disajikan pada Gambar 4.4.

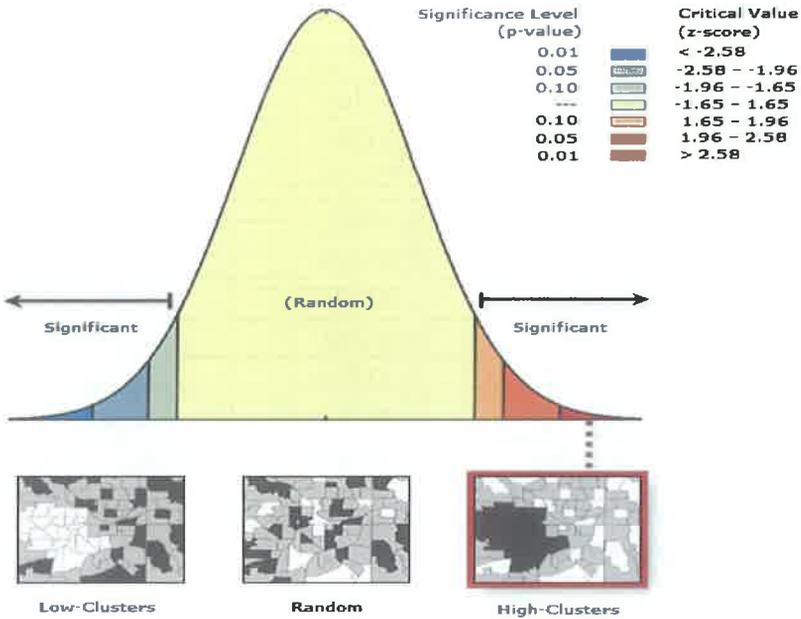
Tabel 4.6 Pola sebaran kasus malaria dengan model *autocorrelation*

No	Tahun	z-score	p-value	Moran Indeks	pola sebaran
1	2000	13,072749	0,000000	0,256893	clustered
2	2001	8,957647	0,000000	0,168377	clustered
3	2003	8,688635	0,000000	0,163701	clustered
4	2006	4,495960	0,000007	0,063226	clustered
5	2007	8,324947	0,000000	0,145702	clustered
6	2008	8,254347	0,000000	0,151363	clustered
7	2009	4,226893	0,000024	0,072181	clustered
8	2010	4,940345	0,000001	0,086470	clustered
9	2011	5,675375	0,000000	0,094439	clustered
10	2012	5,886862	0,000000	0,111138	clustered

Sumber: Hasil analisispeneliti dengan Arc-GIS, 2013

3. Metode *High Low Clustering (Getis-Ord)*

Metode lain yang dapat digunakan untuk melakukan penentuan pola sebaran kasus malaria adalah *High-Low Clustering* dengan menggunakan GETIS-ORD. Pendekatan yang digunakan adalah pengelompokan titik dengan pengukuran EUCLIDEAN dan konsep invers distance. Hasil analisis menggunakan indek Getis-ORD, disajikan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Penentuan pola sebaran kasus malaria dengan metode High Low Clustering

Grafik tersebut memberikan gambaran bahwa terdapat 3 pola sebaran yang dihasilkan yaitu *low-culters*, *random* dan *high-clusters*. Penentuan pola sebaran adalah besarnya z score dan nilai signifikansi (p-value). Nilai z negatif memberikan kecenderungan berpola *low-clusters*, sedangkan nilai positif memberikan kecenderungan membentuk *high cluster*. Nilai z antara 1,65-(-1,65) kecenderungan berpola *random*. Hasil analisis sebaran malaria tahun 2000-2012 dengan menggunakan metode *high-low clusters* sebagaimana tabel 4.7

Tabel 4.7 tersebut memberikan gambaran bahwa pola sebaran secara umum tidak mengalami perubahan dan memiliki pola sebaran *high-clusters*. Perubahan terjadi pada tahun 2006 yang memiliki pola *random* (acak). Arah pergerakan dari *high* menuju *random* terjadi pada tahun 2001, 2003, dan 2012. Dengan menggunakan pendekatan *High Low Clustering*, menunjukkan terjadi perubahan pola sebaran kasus malaria tahun 2000-2012.

Tabel 4.7 Pola sebaran kasus malaria 2000-2012 dengan Model High-Low Clusters

No	Tahun	z-score	p-value	pola sebaran
1	2000	3,541183	0,00039	high cluster
2	2001	2,321253	0,020273	high cluster
3	2003	2,319446	0,020371	high cluster
4	2006	1,518963	0,000000	Random
5	2007	4,494628	0,000007	high cluster
6	2008	5,425917	0,000000	high cluster
7	2009	3,436342	0,000590	high cluster
8	2010	3,607060	0,000310	high cluster
9	2011	3,732316	0,000000	high cluster
10	2012	2,627992	2,627992	high cluster

Sumber: Hasil analisis peneliti dengan Arc-GIS

Menggunakan dua pendekatan tersebut menunjukkan maka secara umum dapat disampaikan bahwa pola sebaran secara mayoritas tidak mengalami perubahan yaitu *high cluster*. Pola sebaran secara spasial tidak mengalami perubahan dan berpola *high cluster*. Hasil tersebut memberikan gambaran bahwa meskipun terjadi penyempitan luas persebaran kasus malaria, akan tetapi kasus tersebut terjadi pada wilayah yang cenderung sama, membentuk kelompok -kelompok dan tidak menyebar di seluruh wilayah Purworejo.

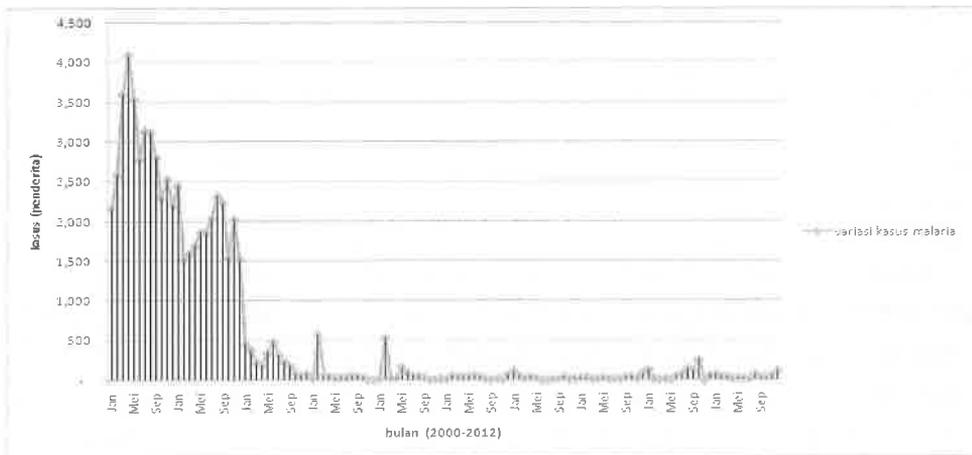
4. Perubahan Pola Temporal Kasus Malaria

Hasil penelitian kasus malaria Kabupaten Purworejo selama kurun waktu tahun 2000-2012, menunjukkan terjadinya dinamika. Data dari Dinas Kesehatan Kabupaten Purworejo tidak secara lengkap tersedia. Sebagai analisis temporal digunakan data bulanan selama sepuluh tahun mulai tahun 2000 sampai tahun 2012. Tabel 4.8 berikut disajikan data seri bulanan kasus malaria Kabupaten Purworejo. Tahun 2000 dan tahun 2001 kasus malaria tercatat lebih dari dua puluh ribu kasus. Besaran kasus mengalami penurunan hingga tahun 2012.

Tabel 4.8 Kasus malaria bulanan Kabupaten Purworejo Tahun 2000-2012

Tahun	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sept	Okt	Nop	Des	Jumlah
2000	2.152	2.583	3.595	4.092	3.534	2.771	3.132	3.116	2.800	2.292	2.518	2.203	34.788
2001	2.442	1.512	1.589	1.691	1.860	1.856	2.040	2.310	2.227	1.534	2.024	1.521	22.606
2003	453	372	218	180	341	484	317	230	178	82	51	76	2.982
2006	20	569	55	47	29	34	39	51	47	39	7	4	941
2007	20	537	27	23	160	92	56	46	27	12	9	16	1.025
2008	8	55	43	44	45	56	37	17	15	18	5	69	412
2009	103	55	21	34	25	-	5	11	20	39	9	21	343
2010	27	27	16	14	31	17	19	17	40	36	16	80	340
2011	126	17	6	10	7	48	71	143	117	253	-	59	857
2012	75	46	39	15	27	21	19	74	31	32	53	115	547
Jumlah	5.426	5.773	5.609	6.150	6.059	5.379	5.735	6.015	5.502	4.337	4.692	4.164	
Rata-rata	543	577	561	615	606	538	574	602	550	434	469	416	

Sumber: Dinas Kesehatan Kabupaten Purworejo, Tahun 2012



Gambar 4.6 Dinamika kasus malaria bulanan Tahun 2000-2012

Gambar 4.6 menunjukkan terjadinya dinamika kasus malaria Kabupaten Purworejo. Secara visual kasus malaria mengalami fluktuasi bulanan. Tahun 2000 menunjukkan kasus bulanan tertinggi hingga besaran kasus lebih dari 4000 kasus. Kasus bulanan mengalami penurunan pada beberapa tahun terakhir, dengan besaran kasus bulanan kurang 500. Kasus bulanan terendah terjadi pada bulan Juni (2009) dan November (2011) dengan tidak ditemukan kasus malaria.

Variabilitas bulanan kasus malaria di Kabupaten Purworejo membentuk pola tertentu. Secara umum terjadi kasus malaria sepanjang tahun. Pada tahun 2000-2003, variasi siklik puncak kasus terjadi pada bulan Januari, April, Agustus dan November. Tahun 2006-2007, puncak kasus malaria di bulan Februari, sedangkan pada bulan lain relatif konstan. Tahun 2008-2009, puncak kasus malaria terjadi pada bulan Januari, April, Oktober dan Desember. Pada tahun 2010 sampai 2012, variasi siklik puncak kasus terjadi pada bulan Januari, Agustus, Oktober dan Desember. Gambar 4.6 disajikan variasi bulanan kasus malaria di Kabupaten Purworejo periode 2000-2012.

5. Analisis Perubahan Pola Temporal Penyakit Malaria

Analisis temporal dilakukan dengan uji variasi kasus malaria bulanan dari tahun 2000 sampai tahun 2012, sebanyak 120 data kasus secara seri. Data tersebut membentuk 10 kelompok berupa bulan kejadian dari Januari sampai Desember. Pengujian statistik dilakukan dengan analisis varian (ANOVA) dari 10 kelompok data kasus malaria tahun 2000 sampai tahun 2012.

6. Uji Homogenitas

Uji homogenitas dengan menggunakan *Levene's test*, diperoleh nilai *Levene* sebesar 16,64 dengan derajat kebebasan kelompok 1 sebesar 9 dan kelompok 2 sebesar 110, tingkat signifikansi 0,000. Signifikansi $< 0,05$ memberikan hasil bahwa varian antar kelompok berbeda. Varian antar kelompok adalah kasus malaria bulanan antara tahun 2000 hingga tahun 2012. Hasil tersebut menunjukkan bahwa varian bulanan kasus malaria selama tahun 2000 sampai tahun 2012 berbeda.

7. Analisis Varians

Hasil uji anova dengan diperoleh bahwa varian antar kelompok diperoleh nilai F sebesar 219,25 dengan signifikansi 0,000. Hasil uji anova memberikan gambaran bahwa rata-rata kasus malaria bulanan berbeda. Kasus malaria bulan Januari tahun 2000 berbeda dengan kasus malaria bulan Januari tahun 2001, 2003 dan tahun-tahun berikutnya. Rata-rata kasus malaria bulanan lainnya Februari, Maret, April hingga Desember antara

tahun 2000 sampai tahun 2012 berbeda. Hasil ini menunjukkan bahwa terjadi variabilitas kasus malaria selama kurun waktu tahun 2000 sampai tahun 2012. Hasil uji anova disajikan pada tabel 4.9 berikut.

Tabel 4.9 Analisis varian kasus malaria bulanan Kabupaten Purworejo Tahun 2000 - 2012

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	(Combined)	109422144.408	9	12158016.045	219.253	.000
	Linear Term	57223133.546	1	57223133.546	1031.939	.000
	Contrast	52199010.863	8	6524876.358	117.667	.000
	Deviation	6099726.583	110	55452.060		
Within Groups		6099726.583	110	55452.060		
Total		115521870.992	119			

Sumber: hasil analisis statistik

Uji post test digunakan *Games-Howell* (varian berbeda), untuk mengetahui kelompok rata-rata kasus malaria pada bulan apa yang nyata berbeda. Hasil uji menunjukkan bahwa rata-rata kasus malaria yang berbeda adalah untuk kelompok kasus pada bulan Januari 2000 sampai tahun 2012, dengan rata-rata 2650,5 sampai 2853,4. Kasus bulan Februari juga memiliki variasi yang berbeda antara tahun 2000-2012. Kasus bulan Maret terdapat variasi yang sama untuk tahun 2005 dan 2006, sedangkan tahun lain memiliki variasi yang berbeda. Pada bulan April perbedaan varian hanya terjadi untuk tahun 2000 dan 2001, sedangkan tahun lainnya memiliki perbedaan yang sama. Kasus malaria lain yang memiliki perbedaan untuk bulan Mei, Juni, Juli, Agustus, September, Oktober, Nopember dan Desember terjadi pada tahun 2000, 2001 dan 2003, sedangkan untuk tahun lainnya tidak terjadi perbedaan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Dixon G.P. Climate Change and Human Health. *Special Issue of International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2010;5: 78-91.
2. Michelozzi P, de' Donato FK, Bargagli AM, et al. Surveillance of summer mortality and preparedness to reduce the health impact of heat waves in Italy. *Int J Environ Res Public Health*. 2010;7(5):2256-2273. doi:10.3390/ijerph7052256

3. Subbarao KS. *Anopheline Species Complexes in South and South-East Asia*. New Delhi: WHO; 1998.
4. Verstappen HT. *Applied Geomorphology, Geomorphological Surveys for Environmental Development*. New York: El sevier; 1983.
5. WHO Study Group. *Vector Control for Malaria and Other Mosquito-Borne Disease*. Geneva: WHO; 1995.
6. Odum EP. *Dasar-dasar Ekologi*. Diterjemahkan dari *Fundamental of Ecology* oleh T. Samingan. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press; 1998.
7. Brewer R. *The Science of Ecology*. Sec.Ed. New York: Saunders College Publishing; 1993.
8. Beroya AM. *Mengenal Lingkungan Hidup*. Jakarta: Rineka Cipta; 2000.
9. Tanjung SD. *Dasar Dasar Ilmu Lingkungan*. Yogyakarta: Fakultas Biologi; 1995.

-oo0oo-

5

INDEK KERENTANAN MALARIA (*MALARIA VULNERABILITY INDEX*)

Malaria Vulnerability Index (MVI) merupakan indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan setiap wilayah untuk penyebaran malaria. Indeks diperoleh dari gabungan dari sub indeks setiap komponen kualitas lingkungan disetiap satuan wilayah wilayah. Indek dibuat dalam kelas untuk setiap kategori, memberi informasi risiko lingkungan. Berikut disajikan bahasan tentang Malaria Vulnerability Index.

5.1 MALARIA SEBAGAI RISIKO BENCANA

Risiko adalah kemungkinan bahwa sesuatu yang tidak terduga akan terjadi (*the possibility that something unpleasant will happen*). Juga diartikan sebagai situasi yang melibatkan paparan/keadaan yang menyebabkan bahaya. Risiko merupakan faktor dari adanya bahaya (*hazard*), paparan (*exposure*), dan kerentanan (*vulnerability*). Antar ketiga komponen tersebut saling memberikan kontribusi untuk membentuk kondisi dimana kawasan/wilayah memiliki risiko tinggi munculnya kasus malaria.

1. Bahaya (*Hazard*) Malaria

Bahaya untuk malaria adalah melimpahnya *plasmodium* sebagai agent malaria. *Plasmodium* dapat ditemukan pada dua induk yaitu pada penderita malaria maupun pada tubuh nyamuk. Siklus *plasmodium* terjadi pada 2 bentuk yaitu aseksual yang terjadi pada tubuh manusia dan seksual terjadi pada tubuh nyamuk. Wilayah dengan bahaya malaria (*hazard*)

adalah melimpahnya *plasmodium* yang dapat terjadi akibat banyaknya penderita malaria maupun tingginya kepadatan nyamuk yang mengandung *plasmodium* (vektor). Beberapa faktor sebagai pendukung munculnya bahaya malaria adalah sebagai berikut:

a) Kepadatan vektor

Kepadatan vektor adalah banyaknya nyamuk *Anopheles* yang mengandung *plasmodium* pada suatu wilayah. Kepadatan nyamuk ini dipengaruhi oleh faktor lingkungan sebagai habitat. Suhu dan kelembaban udara merupakan faktor utama terhadap terbentuknya lingkungan yang sangat sesuai untuk tumbuh dan berkembangnya vektor malaria. Suhu dan kelembaban berpengaruh terhadap lama fase sporogonik, usia nyamuk (*longevity*), dan keaktifan menggigit. Suhu dan kelembaban udara dipengaruhi oleh beberapa faktor misalnya :

1. Ketinggian Tempat
2. Lokasional
3. Jumlah hari hujan

b) Jumlah penderita malaria

Siklus aseksual *plasmodium* terjadi pada tubuh penderita malaria. Semakin tinggi jumlah penderita malaria, tingkat bahaya (*hazard*) malaria semakin tinggi. Penderita malaria dapat berasal dari daerah endemis (penduduk setempat) dan dapat juga berasal dari penduduk daerah lain yang datang pada wilayah tersebut (kasus impor).

2. Kerentanan (*Vulnerability*)

Kerentanan merupakan tingkat keadaan lingkungan/orang untuk bertahan dari bahaya. Kerentanan terdiri dari 3 komponen yaitu berkait dengan keadaan/paparan (*exposure*), kemampuan menyesuaikan diri (*adaptive capacity*) dan kepekaan (*sensitivity*). Beberapa faktor sebagai pendukung besarnya *vulnerability* malaria adalah sebagai berikut:

a. Kemampuan adaptasi (*adaptive capacity*)

Merupakan kemampuan orang untuk melakukan adaptasi terhadap ancaman malaria. Kemampuan adaptasi merupakan fungsi dari sosial ekonomi, teknologi, dan ketersediaan infrastruktur. Kemampuan adaptasi sangat tergantung dari: a. kemampuan ekonomi; b. pengetahuan, sikap dan praktek (perilaku/kebiasaan) menghindarkan diri; Semakin

tinggi kemampuan melakukan adaptasi akan memperkecil risiko penularan malaria; c. teknologi yang tersedia; d. infrastruktur.

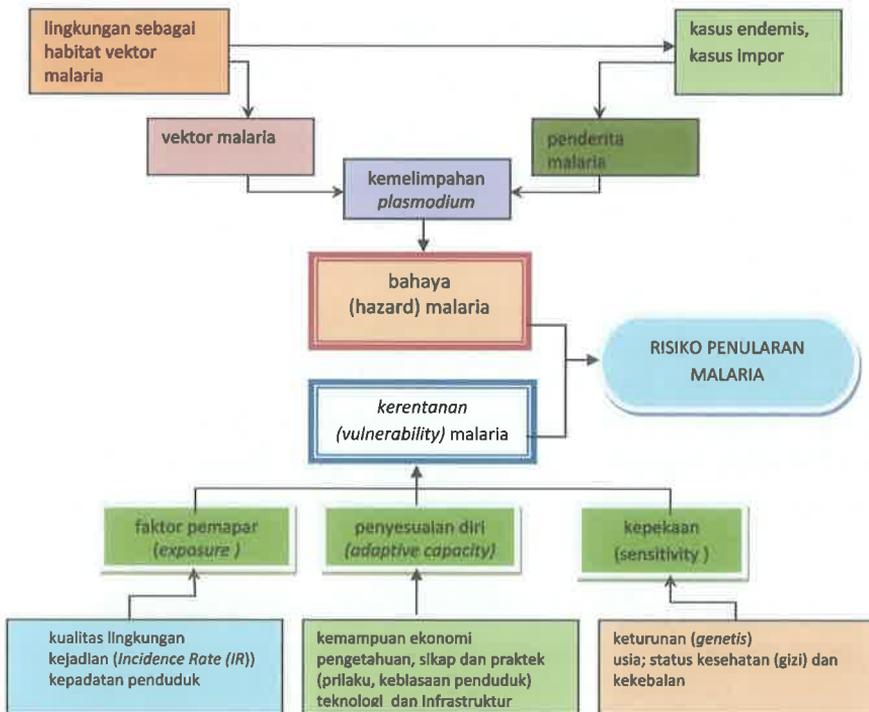
b. Keadaan/Pajanan (*exposure*)

Merupakan besarnya faktor lingkungan sekitar yang memberikan risiko untuk tertularnya malaria. *Exposure* (keadaan) lingkungan yang mendukung penyebaran malaria antara lain: a. banyaknya penderita malaria; b. kepadatan nyamuk; c. kepadatan penduduk;

c. Kepekaan (*sensitivity*)

Kepekaan adalah daya tahan fisik orang/lingkungan menerima pajanan/keadaan (*exposure*) hingga mengalami perubahan (menderita) sakit malaria. Faktor yang berpengaruh terhadap kepekaan seseorang/lingkungan adalah keturunan (*genetis*), usia, status kesehatan/gizi, dan Imunisasi.

Risiko malaria dapat dilakukan perhitungan dengan menggabungkan antara besarnya bahaya (*hazard*) dan besarnya *vulnerability* (kerentanan).



Sumber: Rebholz dkk, 2006; Yusuf dkk, 2009

Gambar 5.1 Bagan Faktor Risiko Penularan Malaria

5.2 INDEKS KERENTANAN MALARIA (*MALARIA VULNERABILITY INDEX (MVI)*)

Indeks kerentanan malaria (*MVI*) merupakan metode untuk menentukan tingkat kerentanan setiap wilayah, penduduk dan lingkungan dari potensi penyebaran malaria. *MVI* menggabungkan antara informasi terjadinya bahaya (*hazard*) dan kerentanan (*vulnerability*) pada suatu wilayah. Kerentanan (*vulnerability*) merupakan fungsi dari paparan (*exposure*), kepekaan (*sensitivity*), dan kemampuan penyesuaian (*adaptive capacity*). *Exposure* merupakan kondisi lingkungan yang dipengaruhi oleh perubahan cuaca, dinamika penduduk. Kepekaan (*sensitivity*) merupakan tingkat respon akibat perubahan cuaca. *Adaptif capacity* adalah kemampuan melakukan penyesuaian.

$$\begin{aligned} \text{Risiko Malaria} &= f(\text{hazard} \times \text{vulnerability}) \\ \text{bahaya (hazard)} &= f(\text{kemelimpahan plasmodium}) \\ \text{kerentanan (vulnerability)} &= f(\text{exposure} \times \text{sensitivity} \times \text{adaptive capacity}) \end{aligned}$$

Indeks kerentanan malaria ((*MVI*)) adalah indeks yang menggambarkan akumulasi faktor kerentanan. *MVI* terdiri dari *Indek Potensial Exposure* (I_{PE}) (paparan), *Index Sensitivity* (I_{SE}), dan *Index Adaptif Capacity* (I_{AC}).

$$MVI = I_{PE} + I_{SE} + I_{AC}$$

Dimana

$$\begin{aligned} PE &= \text{Besarnya exposure} \\ S_E &= \text{Sensitivity} \\ Ac &= \text{Adaptive Capacity} \end{aligned}$$

MVI merupakan penjumlahan dari *Index Potential Exposue* (I_{PE}), *Index Adaptive Capity* (I_{AC}) dan *Index Sensitivity* (I_S). *Risk Of Malaria (ROM)* merupakan risiko penularan malaria dengan menggabungkan antara potensi bahaya (*hazard*) dan kerentanan (*vulnerability*). *ROM* bisa digunakan untuk melakukan prediksi penularan malaria, dalam bahasa entomologi dikenal dengan *Entomological Innoculation Rate (EIR)*.

5.3 ANALISIS TINGKAT KERENTANAN PENYEBARAN MALARIA

Analisis tingkat kerentanan dilakukan dengan menyusun *Malaria Vulnerability Index (MVI)*. Penyusunan indek dilakukan dengan tahapan sebagai berikut.

1. Kerangka Indek

Setiap wilayah memiliki daya dukung terhadap perkembangbiakan vektor malaria. Setiap wilayah juga memiliki penduduk dengan perilaku yang mendukung atau mencegah berkembang biaknya vektor malaria. Potensi penularan malaria semakin tinggi dengan meningkatnya kepadatan vektor. Risiko penyebaran malaria juga dipengaruhi oleh mobilitas penduduk.

Malaria Vulnerability Index (MVI) merupakan indek untuk menggambarkan tingkat kerentanan setiap wilayah dalam potensi penularan malaria. Terdapat 3 dimensi dalam indek tersebut yaitu dimensi potensi paparan (*exposure*), kemampuan adaptasi (*adaptive capacity*) dan kepekaan (*sensitivity*). Potensi paparan adalah wilayah yang memberikan karakteristik habitat yang sesuai untuk pertumbuhan vektor malaria. Potensi tersebut adalah keberadaan tempat biakan dan tempat istirahat nyamuk yang sesuai. Tempat istirahat dan tempat biakan terdiri dari: suhu udara, kelembaban udara, curah hujan, kualitas air perindukan, dan ketinggian tempat. Kemampuan adaptasi terdiri dari perilaku masyarakat dan kondisi sosial ekonomi, pengetahuan, sikap, praktek dan teknologi atau infrastruktur pendukung. Sedangkan untuk *sensitivity* (kepekaan) terdiri dari daya tahan tubuh dan status gizi masyarakat. Pengembangan dari MVI adalah untuk mengukur tingkat risiko suatu wilayah dengan memasukan kemelimpahan *plasmodium* sebagai *agent* malaria.

Malaria Vulnerability Index (MVI) merupakan penjumlahan dari *Index Potential Exposure* (I_{PE}), *Index Adaptive Capacity* (I_{AC}) dan *Index Sensitivity* (I_S). Setiap indek memiliki sub indek, begitu pula setiap sub indek memiliki sub-sub indek. *Index potential exposure* (I_{PE}) memiliki sub indek temperatur (SI_t), sub indek *humidity* (SI_h), Sub Indek Curah Hujan (SI_{rh}), Sub Indek Kualitas *Breeding* (SI_{qb}), Sub Indek elevasi (SI_{el}) dan Sub Indek Tempat Istirahat (SI_{rp}). Indek memiliki bobot sama sehingga *Index Potential Hazard* merupakan penjumlahan dari sub-sub indek tersebut.

Sub Indek kualitas *breeding* terdiri dari beberapa sub-sub indek yaitu sub-sub indek pH (SSI_{ph}), sub-sub indek kekeruhan (SSI_t), sub-sub indek TDS (SSI_{tds}), sub-sub indek TSS (SSI_{tss}), sub-sub indek salinitas (SSI_{sl}), sub-sub indek DO (SSI_{do}), sub-sub indek chlorida (SSI_{cl}), sub-sub indek

Conductivity (SSICd), sub-sub indeks kesadahan (SSI hr). Selengkapnya disajikan dalam formula sebagai berikut.

$$MVI = I_{PE} + I_{AC} + I_S$$

$$I_{PE} = SI_{aq} + SI_{bq} + SI_{rf} + SI_{ir} + SI_{pd} + SI_{vd}$$

$$SI_{qb} = 1/9 (SSI_{ph} + SSI_{tb} + SSI_{tds} + SSI_{tss} + SSI_{sl} + SSI_{do} + SSI_{cl} + SSI_{cd} + SSI_{hr})$$

Keterangan :

I_{PE} = Indeks *Potential Exposure*

I_{AC} = Indeks *Adaptive Capacity*

I_S = Indeks *Sensitivity*

SI_{aq} = Sub Indeks *Air Quality*

SI_{bq} = Sub Indeks *Breeding Quality*

SI_{rf} = Sub Indeks *Rain Fall*

SI_{el} = Sub Indeks *Elevasi*

$$SI_{qb} = 1/8 (SSI_{ph} + SSI_{tb} + SSI_{tds} + SSI_{tss} + SSI_{sl} + SSI_{do} + SSI_{cl} + SSI_{cd} + SSI_{hr})$$

SI_{bq} = Sub Indeks *breeding quality*

SSI_{ph} = Sub-Sub Indeks pH

SSI_{tb} = Sub-Sub Indeks Turbidity

SSI_{tds} = Sub-Sub Indeks *Total Dissolved Solid*

SSI_{tss} = Sub-Sub Indeks *Total Suspended Solid*

SSI_{sl} = Sub-Sub Indeks *Salinity*

SSI_{do} = Sub-Sub Indeks *Dissolved Oxygen*

SSI_{cl} = Sub-Sub Indeks Chlorida

SSI_{cd} = Sub-Sub Indeks *Conductivity*

SSI_{hr} = Sub-Sub Indeks *Hardness* (Kesadahan)

Malaria Vulnerability Index (MVI) memberikan gambaran tentang potensi kerentanan dari setiap wilayah oleh pengaruh dinamika vektor malaria. Vektor malaria selalu mengalami dinamika akibat perubahan karakteristik lingkungan. Faktor utama adalah keberadaan tempat biakan dari vektor malaria. Tidak semua genangan air dapat berperan sebagai tempat biakan vektor malaria. Setiap spesies *Anopheles* memiliki habitat tersendiri. Setiap spesies juga memiliki kesenangan tempat istirahat (*resting*) tersendiri. Potensi bahaya setiap wilayah adalah sumberdaya yang terkandung

dalam setiap wilayah yang mampu memberikan energi bagi tumbuh dan berkembangnya setiap spesies *Anopheles*. Suhu dan Kelembaban setiap wilayah memberikan tempat istirahat bagi setiap spesies nyamuk. Suhu dan kelembaban ini pada umumnya ditentukan oleh ketinggian tempat.

Curah hujan memberikan pengaruh kepada terbentuknya genangan air yang berpotensi sebagai tempat biakan. Curah hujan tinggi tidak sesuai untuk pembentukan tempat biakan, karena air mengalir memiliki kecepatan, yang tidak memungkinkan nyamuk meletakkan telur. Curah hujan rendah terutama pada musim kemarau menyebabkan terbentuknya kubangan-kubangan di tengah sungai yang berpotensi sebagai tempat biakan. Faktor lain yang mempengaruhi berkembangnya spesies vektor malaria adalah kualitas air dari tempat biakan.

Komponen indek lain yang digunakan adalah kemampuan adaptasi (*adaptive capacity*) dari masyarakat dalam menyikapi keberadaan vektor malaria. Kemampuan melakukan adaptasi dipengaruhi oleh keadaan sosial ekonomi. Perilaku masyarakat yang terdiri dari komponen pengetahuan, sikap, dan praktek berpengaruh besar terhadap penularan malaria. Perilaku yang mampu melakukan perlindungan terhadap serangan nyamuk, mampu mereduksi pola penularan. Keberadaan teknologi untuk melakukan proteksi terhadap gigitan nyamuk menjadi salah satu faktor yang berpengaruh terhadap penularan malaria. Komponen lain yang digunakan untuk melakukan perhitungan indek adalah daya tahan dan kepekaan masyarakat (*sensitivity*). Termasuk dalam daya tahan ini adalah status gizi masyarakat dan daya tahan tubuh yang dimiliki.

5.4 KOMPONEN PENYUSUN INDEK

Perhitungan indek didasarkan pada kualitas hasil pengukuran selama kegiatan penelitian dilakukan. Perhitungan indek terdiri dari 3 indek yang diakumulasikan menjadi indek dalam skala yang lebih luas.

1. *Indek Potential Exposure* (I_{PE})

Index potential exposure (I_{PE}) memiliki sub indek temperatur (SI_t), sub indek kualitas udara (SI_{aq}), Sub Indek Curah Hujan (SI_{rf}), Sub Indek Kualitas Breeding (SI_{qb}), Sub Indek elevasi (SI_{el}) dan Sub Indek Tempat Istirahat (SI_{rp}).

a) Sub Indeks Kualitas *Breeding Place* (SI_{qb})

Sub indeks kualitas *breeding place* (tempat biakan) ditentukan oleh kualitas air. Variabel kualitas air yang dilakukan analisis sebanyak 9 buah yaitu pH, kekeruhan, TDS, TSS, salinitas, DO, kesadahan, Chlorida dan Elektrik Conductivity (EC). Penelitian kualitas air dilakukan selama 4 periode yaitu pancaroba penghujan kemarau (Mei), musim kemarau (Juli), pancaroba kemarau penghujan (Oktober) dan musim penghujan (Desember). Hasil analisis laboratorium tersebut selanjutnya dilakukan analisis kluster dan analisis diskriminan. Peran masing-masing variabel ditunjukkan dalam analisis diskriminan.

b) Sub Indeks Kualitas Udara (SI_{aq})

Sub indeks kualitas udara terutama untuk *resting area* bagi vektor. Pengamatan kualitas udara dilakukan melalui 3 variabel yaitu suhu udara, kelembaban dan kecepatan angin. Koefisien indeks ditentukan dengan mengambil rerata dari setiap komponen kualitas udara sepanjang dilakukan pengamatan.

c) Sub Indeks Curah Hujan (*rain fall*) SI_{rf}

Sub indeks curah hujan ditentukan berdasarkan rata-rata curah hujan pada wilayah yang diamati. Data curah hujan diperoleh dari stasiun curah hujan yang tersebar pada 3 daerah aliran sungai di Kabupaten Purworejo. Ketiga DAS tersebut adalah daerah aliran sungai Bogowonto, Cokroyasan dan Wawar. Terdapat 29 stasiun curah hujan, data yang tercatat mulai tahun 1996 sampai tahun 2012. Curah hujan pada wilayah penelitian diperoleh dari stasiun pengukur curah hujan yang berdekatan dan berada dalam daerah aliran sungai yang sama.

Sub indeks curah hujan ditentukan berdasarkan kategori indeks kekeringan setiap wilayah yang diamati. Indeks kekeringan diperoleh dengan menggunakan perhitungan *Standardized Precipitation Index* (SPI). SPI disusun dengan menggunakan perbandingan rata-rata curah hujan (μ) bulanan selama kurun waktu tahun 1996-2012 dengan standar deviasi (σ) dari curah hujan bulanan yang sama kurun waktu sama (1996-2012). Pendekatan yang digunakan :

$$SPI = \frac{(X - \bar{x})}{\sigma}$$

Klasifikasi yang digunakan adalah sebagai berikut.

Tabel 5.1 *Klasifikasi curah hujan dalam penentuan sun indeks*

No	nilai SPI	Kategori	Skor
1	$SPI > 2$	ekstrim basah	1
2	$1.9 > SPI > 1.6$	sangat basah	2
3	$1.5 > SPI > 1$	kebasahan sedang	3
4	$0.9 > SPI > 0.5$	kebasahan rendah	4
5	$0.4 > SPI > -0.4$	Normal	5
6	$-0.9 < SPI < -0.5$	kekeringan rendah	4
7	$-1.5 < SPI < -1$	kekeringan sedang	3
8	$-1.9 < SPI < -1.6$	sangat kering	2
9	$SPI < -2$	ekstrim kering	1

d) Sub Indek *Inciden Rate* (SI_{ir})

Inciden Rate (IR) menunjukkan jumlah penderita malaria pada setiap desa. Setiap penderita didalam tubuhnya mengandung *plasmodium* yang berpotensi ditularkan ke tubuh manusia lain melalui gigitan nyamuk. Semakin tinggi jumlah penderita akan semakin besar indek yang dihasilkan.

e) Sub Indek kepadatan penduduk (SI_{pd})

Kepadatan penduduk memberikan gambaran jumlah penghuni pada satuan luasan wilayah. Semakin tinggi kepadatan memiliki arti bahwa peluang tergigit oleh seekor nyamuk ke orang lain semakin tinggi.

f) Sub Indek kepadatan vektor (SI_{vd})

Kepadatan vektor memberikan gambaran jumlah gigitan nyamuk pada setiap penghuni. Bagi vektor yang telah ada *plasmodium* didalamnya tubuhnya, kemudian menggigit orang lain akan berpotensi tertular malaria.

2. *Indek Adaptive Capacity* (I_{AC})

Indek adaptive capacity merupakan indek yang menggambarkan kemampuan masyarakat dalam melindungi diri dari pengaruh potensi penular malaria. Kemampuan penyesuaian diri masyarakat tergantung dari kemampuan sosial ekonomi, pengetahuan masyarakat, sikap masyarakat dalam menyikapi malaria, dan praktek sehari-hari dalam pengendalian malaria serta pendekatan teknologi dalam pengendalian malaria.

- a. Sub Indeks Sosial Ekonomi (SI_{SE})
Komponen sosial ekonomi masyarakat, indikator yang digunakan adalah pendapatan ekonomi keluarga. Upah minimum regional digunakan sebagai titik ambang.
- b. Sub Indeks Pengetahuan (*knowledge*) (SI_{pt})
Komponen pengetahuan tentang malaria sangat berpengaruh terhadap penyebaran malaria. Pengetahuan malaria dapat diperoleh dari kegiatan penyadaran antar anggota masyarakat atau berasal dari penyuluhan oleh dinas pengendalian malaria.
- c. Sub Indeks Sikap (*attitude*) (SI_A)
Komponen sikap tentang malaria sangat berpengaruh terhadap penyebaran malaria. Sikap terhadap penularan malaria dapat diperoleh dari kegiatan penyadaran antar anggota masyarakat atau berasal dari penyuluhan oleh dinas pengendalian malaria.
- d. Sub Indeks Praktek (*daily activity*) (SI_{DA})
Komponen praktek tentang malaria sangat berpengaruh terhadap penyebaran malaria. Praktek malaria dapat diperoleh dari kegiatan penyadaran antar anggota masyarakat atau berasal dari penyuluhan oleh dinas pengendalian malaria.
- e. Sub Indeks Teknologi (*technology*) (SI_T)
Komponen teknologi tentang malaria sangat berpengaruh terhadap penyebaran malaria. Teknologi pengendalian malaria dapat diperoleh dari kegiatan penyadaran antar anggota masyarakat atau berasal dari penyuluhan oleh dinas pengendalian malaria. Secara bersamaan besarnya Indeks kemampuan beradaptasi dirumuskan sebagai berikut.

$$I_{AC} = SI_{SE} + SI_K + SI_A + SI_{DA} + SI_T$$

3. Indeks Sensitivity (I_s)

Indeks *Sensitivity* (kepekaan) merupakan potensi yang ada dalam masyarakat yang menggambarkan kepekaan masyarakat untuk mudah tertular malaria. Kepekaan ini mencakup kualitas gizi masyarakat desa dan kemudahan dalam penularan malaria.

- a. Sub Indeks Status Gizi (SI_{GZ})
Sub indeks ini diperoleh dari indeks gizi masyarakat, pendataan diperoleh dari asupan makanan yang dikonsumsi masyarakat setiap hari.

b. Sub Indek *Responsibility* (SI_R)

Merupakan derajat imunitas masyarakat untuk tertular malaria. Derajat imunitas malaria ditentukan dari jumlah penderita malaria klinis yang telah disembuhkan.

$$IS = SI_{gz} + SI_r$$

5.5 SIMULASI TINGKAT KERENTANAN PENYEBARAN VEKTOR MALARIA (PENDEKATAN MALARIA VULNERABILITY INDEX (MVI))

Analisis tingkat kerentanan penyebaran vektor malaria digunakan untuk membuktikan Setiap satuan lahan memiliki daya dukung berbeda terhadap penyebaran vektor malaria. Tingkat kerentanan setiap wilayah dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan. Setiap satuan lahan memiliki karakteristik yang dapat menjadi faktor pendukung dan faktor penghambat untuk berkembangbiakan vektor malaria. Setiap satuan lahan memiliki tingkat kerentanan untuk tumbuh dan berkembangnya vektor malaria. *Malaria Vulnerability Index (MVI)* merupakan indek yang disusun untuk memberikan gambaran tingkat kerentanan setiap wilayah dalam penyebaran penyakit malaria.

1. Penyusunan Indek Kerentanan Malaria (*Malaria Vulnerability Index (MVI)*)

Malaria Vulnerability Index (MVI) tersusun dari tiga komponen indek yaitu komponen potensi paparan (*exposure*), kemampuan adaptasi (*adaptive capacity*) dan kepekaan (*sensitivity*). **Potensi paparan** adalah wilayah yang memberikan karakteristik habitat yang sesuai untuk pertumbuhan vektor malaria. Potensi tersebut antara lain: suhu dan kelembaban udara (sebagai *resting area*), curah hujan, dan kualitas air tempat biakan, proporsi jumlah penderita malaria (*incidence rate (IR)*), kepadatan penduduk, dan kepadatan vektor malaria. **Kemampuan beradaptasi** terdiri dari kondisi sosial ekonomi, pengetahuan, sikap, praktek dan teknologi atau infrastruktur pendukung. Sedangkan untuk *sensitivity* (kepekaan) terdiri dari daya tahan tubuh dan asupan gizi masyarakat.

2. Perhitungan Indeks Potensial Exposure (I_{PE})

Indek *potential exposure* (I_{PE}) memiliki sub indeks kualitas udara (SI_{aq}), sub indeks kualitas air (SI_{bq}), sub indeks Curah Hujan (SI_{rf}), sub indeks banyaknya penderita malaria, sub indeks kepadatan penduduk dan sub indeks kepadatan vektor (*vektor density*).

$$I_{PE} = SI_{aq} + SI_{bq} + SI_{rf} + SI_{ir} + SI_{pd} + SI_{vd}$$

a. Perhitungan Sub Indeks Kualitas Udara (SI_{aq})

Sub indeks kualitas udara (SI_{aq}), terdiri dari sub-sub indeks suhu udara (SSI_v), sub-sub indeks kelembaban (SSI_{hd}) dan sub-sub indeks kecepatan angin (SSI_{ka}). SSI_v , SSI_{hd} dan SSI_{ka} , diperoleh dari hasil analisis diskriminan.

1) Musim pancaroba penghujan-kemarau (Mei)

Peran dari setiap parameter kualitas udara ditunjukkan dari struktur matrik. Output analisis menunjukkan bahwa pada musim pancaroba penghujan-kemarau, nilai diskriminan kecepatan angin sebesar 0,665, kelembaban udara 0,777 dan suhu udara 0,726.

2) Musim Kemarau (Juli)

Hasil analisis menunjukkan bahwa parameter yang memiliki peran sebagai diskriminan yaitu kelembaban udara sebesar 0,792, kecepatan angin 0,894, sedangkan suhu 0,727.

3) Musim Pancaroba Kemarau-Penghujan (Oktober)

Hasil analisis menunjukkan bahwa parameter yang memiliki peran sebagai diskriminan yaitu kecepatan angin 0,665, kelembaban 0,777 dan suhu udara dengan tingkat kepentingan sebesar 0,726.

4) Musim Penghujan (Desember)

Hasil analisis menunjukkan bahwa parameter yang memiliki peran sebagai diskriminan yaitu kelembaban 0,721, kecepatan angin 0,678 dan suhu udara dengan tingkat kepentingan sebesar 0,626.

Koefisien indeks ditentukan dengan mengambil rerata koefisien diskriminan dari setiap komponen kualitas udara selama dilakukan pengamatan. Hasil analisis diskriminan menunjukkan bahwa untuk kualitas udara tingkat kepentingan adalah sebagai berikut: 1. suhu udara memiliki rerata sebesar 0,701, sehingga koefisien sub indeks suhu udara sebesar 0,701;

2. kelembaban udara memiliki rerata peran sebesar 0,767, sehingga koefisien sub indeks kelembaban sebesar 0,767; 3. kecepatan angin memiliki rerata dari setiap komponen sebesar 0,726, sehingga kecepatan angin memiliki koefisien sub indeks sebesar 0,767.

$$(SI_{aq}) = 1/3 (0,701 SSI_t + 0,767 SSI_{hd} + 0,726 SSI_{ka})$$

dimana,

SI_{aq} = Sub Indeks kualitas udara

SSI_t = Sub Sub Indeks suhu udara

SSI_{hd} = Sub Sub Indeks kelembaban

SSI_{ka} = Sub Sub Indeks kecepatan angin.

b. Perhitungan Sub Indeks Kualitas Air (SI_{bq})

Sub indeks kualitas air terdiri sub sub indeks parameter kualitas air yang secara analisis diskriminan memiliki kontribusi terhadap kepadatan vektor. Hasil analisis terdapat 8 parameter yang memiliki kontribusi dalam kemelimpahan vektor. Hasil analisis diskriminan untuk variabel yang berperan dalam kepadatan vektor selama kurun waktu penelitian adalah sebagai berikut.

i) Musim pancaroba penghujan kemarau (Mei)

Peran dari setiap parameter kualitas air ditunjukkan dari struktur matrik. Hasil analisis menunjukkan bahwa parameter yang memiliki peran sebagai diskriminan yaitu TDS (0,737), Chlorida (Cl) dengan tingkat kepentingan 0.943, dan kekeruhan dengan tingkat peran 0.737.

ii) Musim kemarau (Juli)

Hasil analisis menunjukkan bahwa parameter yang memiliki peran sebagai diskriminan yaitu TDS dengan tingkat kepentingan 0.903, Chlorida (Cl) dengan tingkat kepentingan 0.889, dan Salinitas dengan tingkat peran 0.949.

iii) Musim pancaroba kemarau penghujan (Oktober)

Hasil analisis menunjukkan pada musim pancaroba kemarau penghujan, parameter yang memiliki peran sebagai diskriminan yaitu kesadahan dengan tingkat kepentingan (0,755), TDS (0,628), *Conductivity* (0,523), Salinitas (0,648), dan *dissolved oxygen (DO)* dengan tingkat kepentingan 0,867.

iv) Musim penghujan (Desember)

Hasil analisis menunjukkan bahwa parameter yang memiliki peran sebagai diskriminan yaitu kesadahan dengan tingkat kepentingan 0,705; pH dengan tingkat kepentingan 0,796; Chlorida dengan tingkat kepentingan 0,854; kekeruhan dengan tingkat kepentingan 0,319; dan DO dengan tingkat peran 0,817.

Hasil analisis diskriminan diatas menunjukkan peran dari variabel kualitas air dalam mengendalikan perkembangan vektor selama satu tahun. Terdapat 8 variabel yang memiliki peran dalam mendukung perkembang biakan vektor malaria. Variabel tersebut adalah *total dissolved solids (TDS)*, Chlorida (Cl), kekeruhan, salinitas, *conductivity*, pH, kesadahan dan *dissolved oxygen (DO)*. Terdapat 8 variabel yang memberi kepentingan sebagai pendukung dalam perkembang biakan vektor.

Variabel TDS memiliki peran sebesar 0,628-0,903 atau rata-rata sebesar 0,756, sehingga sub indek untuk variabel TDS sebesar 0,756. Begitupula dengan variabel lain besarnya rerata, digunakan sebagai sub indeks. Variabel chlorida nilai diskriminan sebesar 0,854-0,943, atau rata-rata sebesar 0,895, sub indek sebesar 0,895. Kekeruhan memiliki diskriminan sebesar 0,319-0,737 atau rata-rata sebesar 0,528, sub indek sebesar 0,528. Variabel salinitas memiliki diskriminan 0,648-0,949, rata-rata sebesar 0,799, sehingga sub indek salinitas sebesar 0,799. Variabel *dissolved oxygen (DO)* memiliki diskriminan sebesar 0,817-0,867 dengan rata-rata sebesar 0,842, sehingga sub indek DO sebesar 0,842. Variabel *conductivity* memiliki diskriminan sebesar 0,523, sehingga sub indek sebesar 0,523. Variabel pH memiliki diskriminan rerata sebesar 0,796, sehingga sub indek sebesar 0,796. Variabel kesadahan memiliki peran sebesar 0,705-0,755 dengan rata-rata sebesar 0,730, sehingga sub indek kesadahan sebesar 0,730.

Rerata dari sub-sub indeks menghasilkan sub indeks untuk kualitas air, sehingga ditemukan sebagai berikut.

$$SI_{qbe} = 1/8 (aSSI_{tds} + bSSI_{cl} + cSSI_{tb} + dSSI_s + eSSI_{do} + fSSI_{cd} + gSSI_{ph} + hSSI_{hr})$$

Besarnya masing masing koefisien adalah berikut.

Tabel 5.2 *Koefisien sub indeks kualitas air*

Variable	kode koefisien	Besaran
total dissolve solids (tds)	a	0,756
chlorida (cl)	b	0,895
kekeruhan (tb)	c	0,528
salinitas (s)	d	0,799
dissolved oxygen (do)	e	0,842
conductivity (cd)	f	0,523
pH (ph)	g	0,796
kesadahan (hr)	h	0,730

Sumber: pengolahan data hasil penelitian, 2012

c. Perhitungan Sub Indeks Curah Hujan (*rain fall*) S_{IRf}

Sub indeks curah hujan ditentukan berdasarkan rata-rata curah hujan pada wilayah penelitian. Data curah hujan diperoleh dari stasiun curah hujan yang tersebar pada 3 daerah aliran sungai di Kabupaten Purworejo. Ketiga DAS tersebut adalah daerah aliran sungai Bogowonto, Cokroyasan dan Wawar. Terdapat 29 stasiun curah hujan, data yang tercatat mulai tahun 1996 sampai tahun 2012. Curah hujan pada wilayah penelitian diperoleh dari stasiun pengukur curah hujan yang berdekatan dan berada dalam daerah aliran sungai yang sama.

Hasil perhitungan *Malaria Vulverability Index (MVI)* dilakukan secara longitudinal untuk musim pancaroba penghujan kemarau (Mei), musim kemarau (Juli), pancaroba kemarau penghujan (Oktober) dan musim penghujan (Desember).

Hasil perhitungan keseluruhan sub indeks setiap lokasi penelitian akan menunjukkan skor dari MVI. Besarnya skor menunjukkan besarnya pengaruh setiap variabel terhadap potensi penularan malaria. Diperoleh skor sub indeks setiap lokasi untuk 4 periode pengamatan. Setiap lokasi penelitian terdapat sub indeks yang dinamis dan sub indeks yang statis. Sub indeks dinamis adalah besaran sub indeks yang mengalami perubahan setiap saat. Sub indeks statis adalah sub indeks yang tidak mengalami perubahan setiap saat.

Sub indeks dinamis terdiri dari sub sub indeks kualitas air (SSI_{bq}), sub sub indeks kualitas udara (SSI_{aq}), sub sub indeks kepadatan vektor (SSI_{vd}). Sub indeks statis adalah sub indeks yang tidak mengami perubahan setiap saat. Sub indeks statis terdiri dari: sub sub indeks curah hujan (SSI_{rf}), sub sub indeks kejadian malaria (incidence rate) (SSI_{ir}), sub sub indeks perilaku masyarakat (SSI_{pr} , SSI_{sk} , SSI_{pr}), sub sub indeks sosial ekonomi (SSI_{se}), sub-sub indeks pemanfaatan teknologi (SSI_{tk}), dan Sub indeks sensitivity (status asupan gizi dan penderita malaria klinis).

Klasifikasi hasil skoring sub indeks menghasilkan lima kelas yaitu wilayah sangat berisiko (*Very High Risk*, VHR), wilayah *risiko tinggi* (HR), wilayah risiko menengah (*Middle Risk*, MR), wilayah risiko rendah (*Low Risk*, LR) dan wilayah dengan risiko sangat rendah (*Very Low Risk*, VLR). Klasifikasi menggunakan dasar standard deviasi skor MVI untuk empat periode pengamatan, atau hasil pengamatan satu tahun. Tabel klasifikasi adalah sebagai berikut.

Tabel 5.3 *Klasifikasi Indeks Kerentanan Malarian (Malaria Vulnerability Index, MVI)*

No	Klasifikasi	Nilai	Keterangan
1.	<i>Very High Risk (VHR)</i>	Skor > 1.25 SD + X	X = rata-rata
2.	<i>High Risk (HR)</i>	(1.25SD+X) > Skor > (0,75SD+X)	
3.	<i>Medium Risk (MR)</i>	(0.75SD+X) > Skor > (X)	
4.	<i>Low Risk (LR)</i>	(X) > Skor > (X-SD)	
5.	<i>Very Low Risk (VLR)</i>	(X-SD) > Skor	

Sumber: hasil analisis statistik pengolahan data, 2012

a. Hasil Perhitungan MVI Untuk Periode Pancaroba Penghujan Kemarau (Mei)

Hasil perhitungan *Malaria Vulnerability Index* (MVI) pada periode pancaroba penghujan kemarau diperoleh sebagai berikut. Terdapat 1 lokasi penelitian yaitu Kaliharjo dengan kategori risiko tinggi (VHR), skor 42.5. Kategori VHR mencakup (3%) wilayah endemis. Lokasi penelitian dengan klas *High Risk* (HR) sebanyak 3 lokasi yaitu Durensari, Ngadirejo dan Watuduwur, mencakup (9%) wilayah endemis. Lokasi penelitian dengan risiko menengah (MR) sebanyak 10 lokasi yaitu Dadirejo, Kaliwader,

Sokoagung, Kaliglagah, Kedung Pom Kulon, Kedunggubah, Hardimulyo, Ngasinan dan Donorejo, mencakup (29%) dari wilayah endemis. Lokasi penelitian dengan kategori risiko rendah (LR) terdiri dari 11 lokasi yaitu Begelen, Ngandagan, Kaliurip, Tepansari, Medono, Somoleter, Ngaran, Purbowono, Wonosido, Benowo, dan Tlogoguwo, mencakup (32%) wilayah endemis. Lokasi dengan risiko sangat rendah (VLR) terdapat 9 lokasi (26%) yaitu Kapiteran, Kaligondang, Bleber, Cacaban Lor, Puspo, Cepedak, Guntur, Pekacangan, dan Gunungwangi. Secara spasial disajikan pada Gambar 5.2.

b. Hasil perhitungan MVI untuk periode kemarau (Juli)

Hasil perhitungan MVI pada musim kemarau diperoleh sebagai berikut. Terdapat 3 lokasi penelitian dengan kategori risiko sangat tinggi (VHR), Kaliharjo, Kedung Pomahan Kulon dan Durensari, mencakup 9% dari wilayah endemis. Lokasi penelitian dengan kategori *High Risk* (HR) sebanyak 4 lokasi yaitu Dadirejo, Sokoagung dan sendangsari, mencakup 12% wilayah endemis malaria. Lokasi penelitian dengan risiko menengah (MR) sebanyak 11 lokasi yaitu Kaliwader, Ngandagan, Teoansari, Bleber, Kaliglagah, Kedunggubah, Medono, Hardimulyo, Ngadirejo, Ngasinan dan Donorejo. Lokasi penelitian dengan kategori risiko rendah terdiri dari 11 lokasi yaitu Begelen, Kapiteran, Kaliurip, Tepansari, Cacaban Lor, Medono, Somoleter, cepedak, Guntur, Ngaran, Wonosido, Benowo, dan Tlogoguwo. Wilayah dengan kategori MR mencakup 32% dari daerah endemis malaria. Lokasi dengan risiko sangat rendah (VLR) terdapat 5 lokasi yaitu Kaligondang, Puspo, Pekacangan, Gunungwangi serta Purbowono, mencakup 15% daerah endemis malaria. Secara spasial ekologis disajikan pada Gambar 5.3.

c. Hasil perhitungan MVI untuk pancaroba kemarau -penghujan (Oktober)

Hasil perhitungan MVI untuk pancaroba kemarau penghujan diperoleh sebagai berikut. Terdapat 5 lokasi penelitian dengan kategori risiko sangat tinggi (VHR), yaitu Kaliwader, Kedunggubah, Durensari Kedung pom Kulon dan Hardimulyo, mencakup 15% wilayah endemis malaria. Lokasi penelitian dengan klas risiko tinggi (HR) sebanyak 9 lokasi yaitu Dadirejo, Kaliharjo, Kaliglagah, Sendangsari, Medono, Sokoagung dan sendangsari,

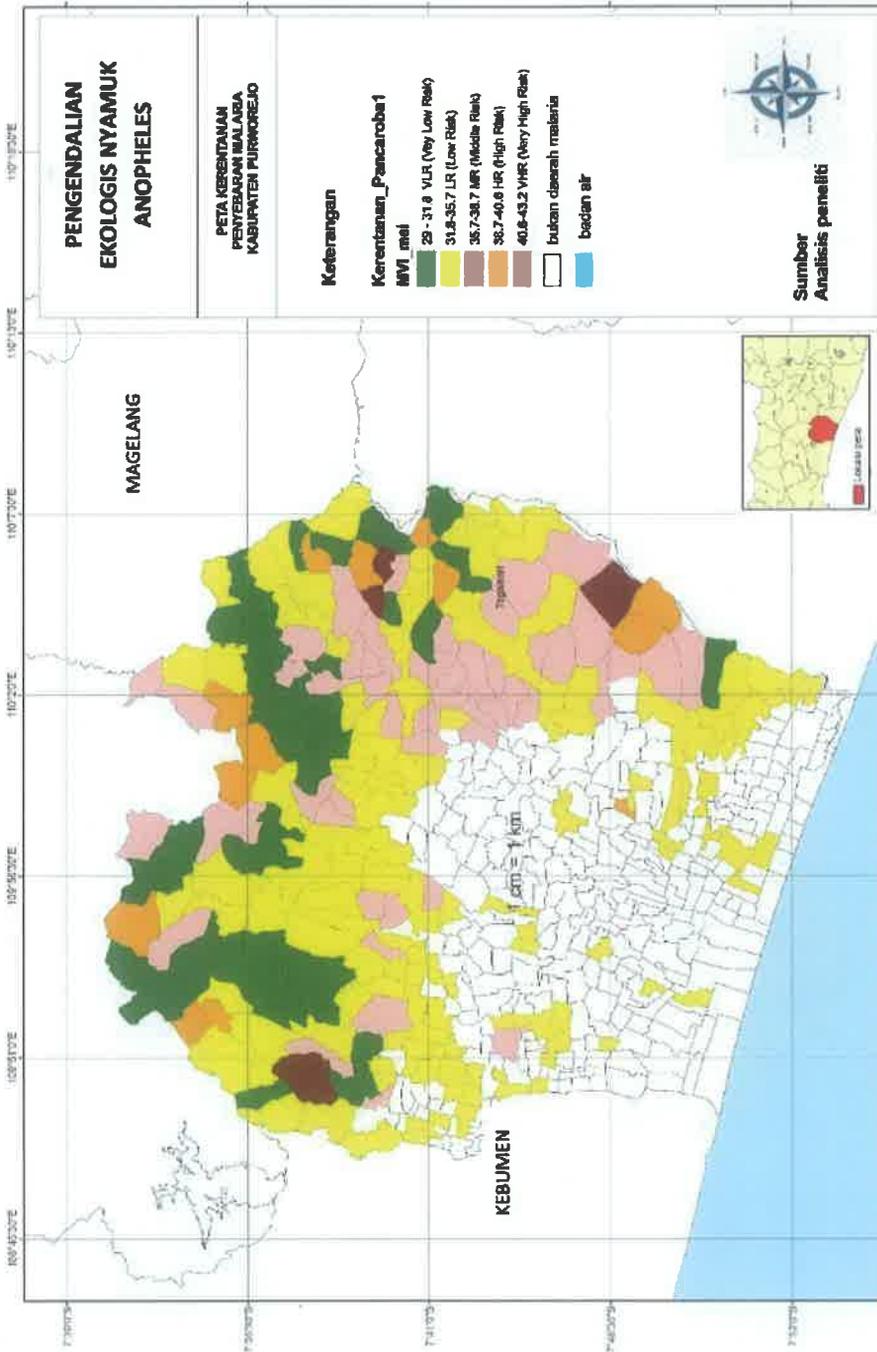
mencakup 26% dari wilayah endemis malaria. Lokasi penelitian dengan risiko menengah (MR) sebanyak 7 lokasi yaitu Kaliurip, Tepansari, Bleber, Somoleter, Ngaran, Watuduwur, Benowo, mencakup 21% dari wilayah endemis. Lokasi penelitian dengan kategori risiko rendah (LR) terdiri dari 9 lokasi yaitu Begelen, Kapiteran, Ngandagan, Cacaban Lor, Puspo, Cepedak, Pekacangan, Wonosido, Tlogoguwo, mencakup 26% wilayah endemis. Lokasi dengan risiko sangat rendah (VLR) terdapat 4 lokasi yaitu Kaligondang, Purbowono, Gunungwangi, dan Guntur, mencakup 12% dari wilayah endemis. Secara spasial disajikan pada Gambar 5.4.

d. Hasil perhitungan MVI untuk penghujan (Desember)

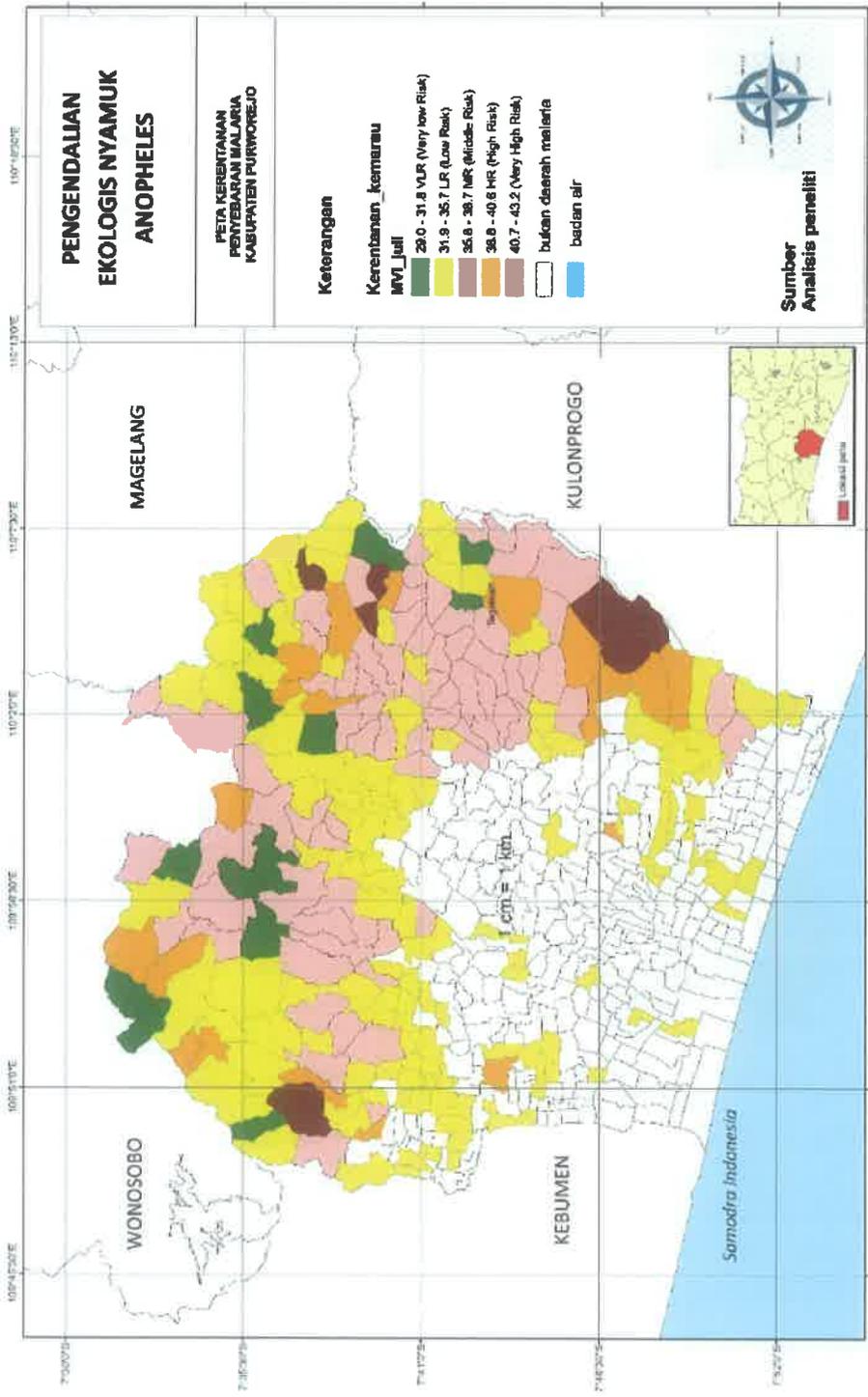
Hasil perhitungan MVI untuk musim penghujan diperoleh sebagai berikut. Terdapat 4 lokasi penelitian dengan kategori risiko sangat tinggi (VHR), yaitu Sendangsari, Ngadirejo, Ngasinan, dan Kaliharjo, mencakup 12% dari wilayah endemis. Lokasi penelitian dengan klas *High Risk* (HR) sebanyak 8 lokasi yaitu Kaliwader, Sokoagung, Kaliglagah, Kedunggubah, Durensari, Hardimulyo, Benowo, dan Donorejo, mencakup 24% dari wilayah endemis. Lokasi penelitian dengan risiko menengah (MR) sebanyak 8 lokasi yaitu Dadirejo, Ngandagan, Tepansari, Bleber, Kedung Pom Kulon, Medono, Watuduwur, Tlogoguwo, mencakup 24% wilayah endemis malaria. Lokasi dengan kategori risiko rendah (LR) terdiri dari 10 lokasi yaitu Begelen, Kapiteran, Kaliurip, Cacaban Lor, Somoleter, Cepedak, Guntur, Ngaran, Purbowono, dan Wonosido, mencakup 29% dari wilayah endemis. Lokasi dengan risiko sangat rendah (VLR) terdapat 4 lokasi yaitu Kaligondang, Puspo, Pekacangan dan Gunungwangi, mencakup 12% dari wilayah endemis. Secara spasial disajikan pada Gambar 5.5.

3. Tingkat Kerentanan Wilayah

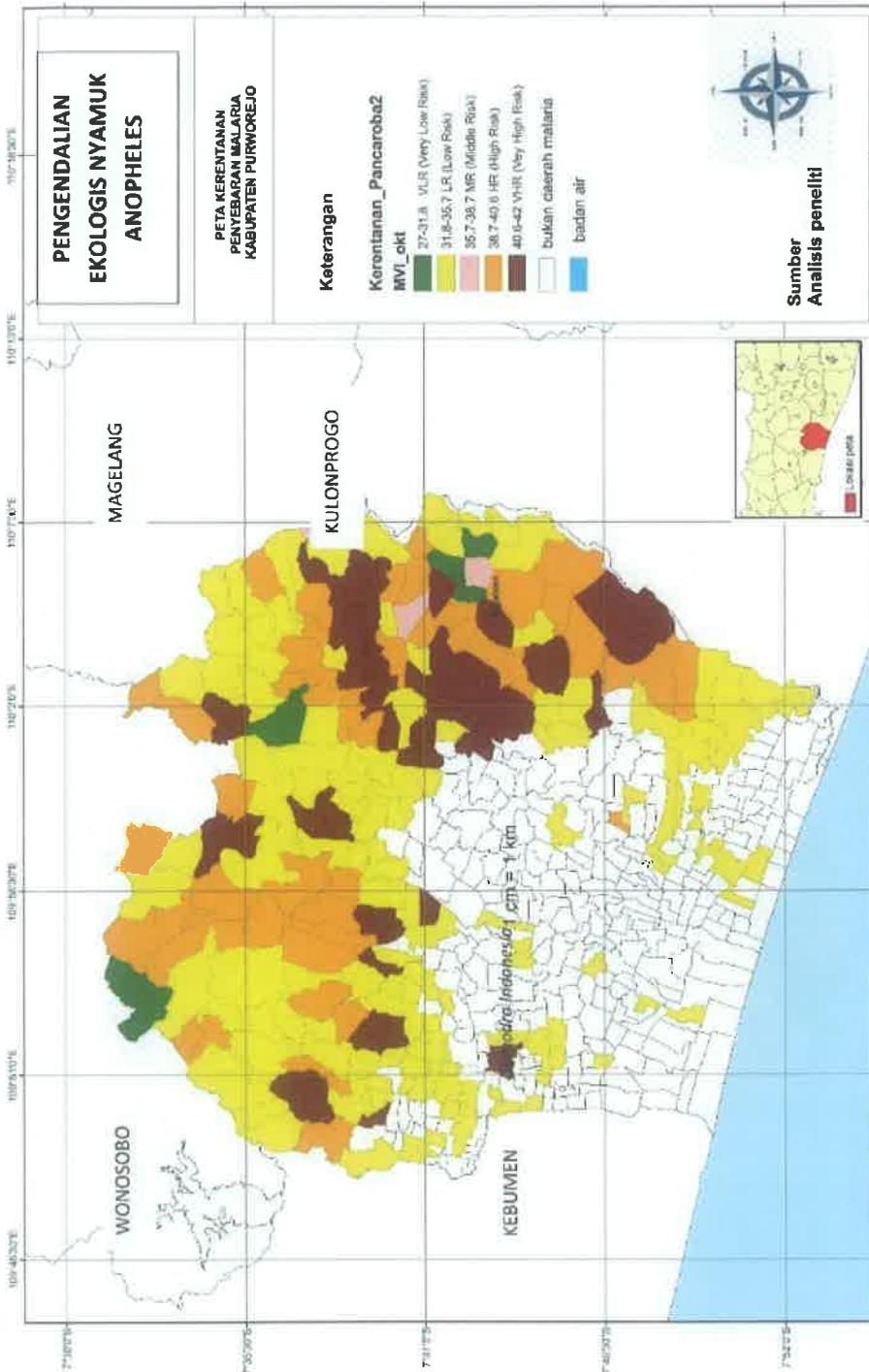
Distribusi kerentanan wilayah endemis malaria bervariasi selama 4 musim yaitu sangat tinggi (VHR) 3-15%, tinggi (HR) 9-26%, menengah (MR) 21-32%, rendah (LR) 26-32%, sangat rendah (VLR) 12-26%. Wilayah rentan penyebaran malaria berfluktuasi yaitu musim kemarau (53%), pancaroba menuju musim penghujan (62%), penghujan 60% dan pancaroba ke musim kemarau 41%. Gambar 5.2-5.5 berikut menggambarkan tingkat kerentanan wilayah untuk penyebaran malaria.



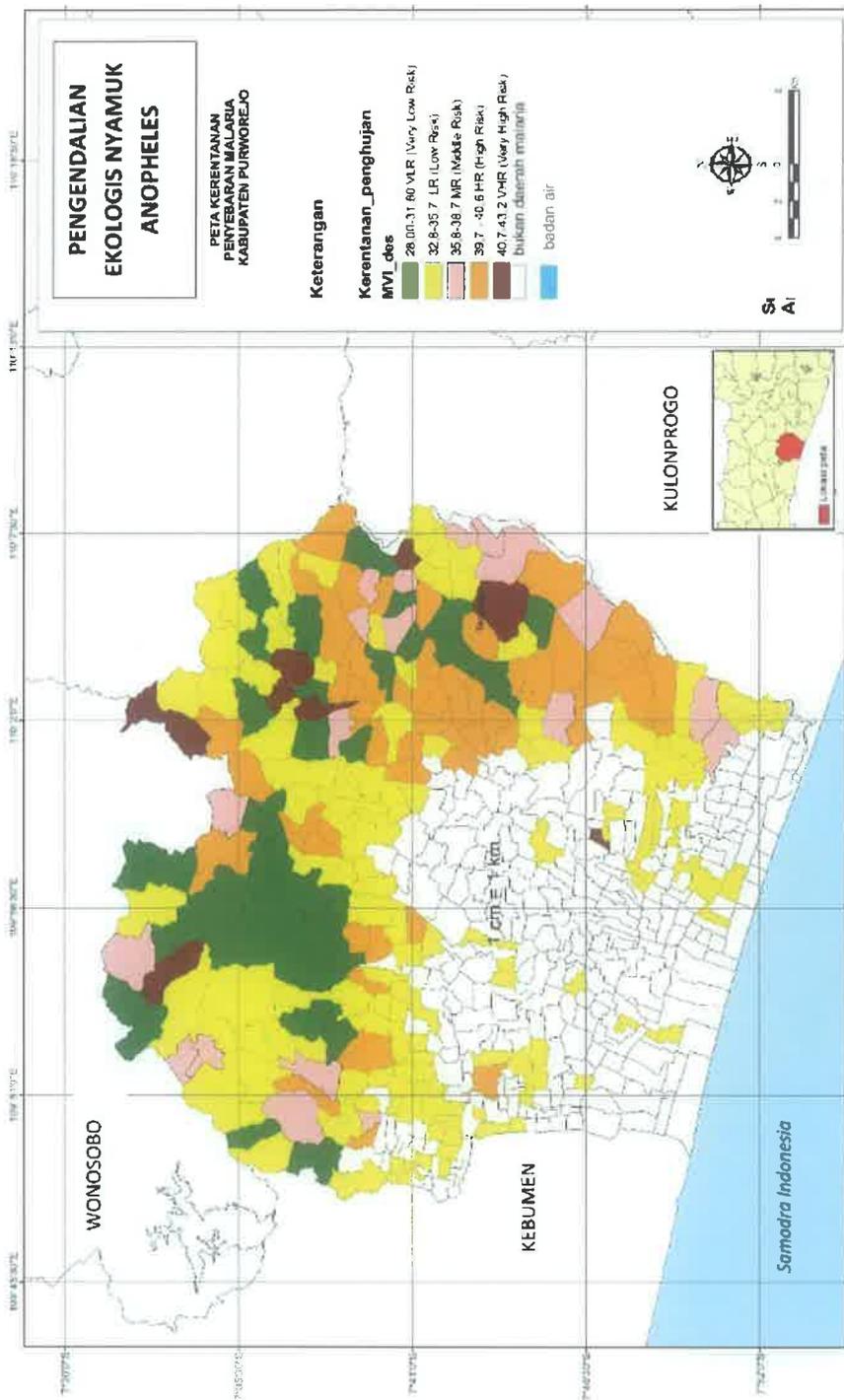
Gambar 5.2 Sebaran MVI musim pancaroba pengujian kemarau (Mei)



Gambar 5.3 Sebaran MVI musim kemarau (Juli)



Gambar 5.4 Sebaran MVI pancaroba musim kemarau-penghujan (Oktober)



Gambar 5.5 Sebaran MVI pancaroba musim penghujan (Desember)

Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Indek Kerentanan Malaria (Malaria Vulnerability Index) pancaroba pengujian kemarau (Mei)

NO	DESA/SAMPUNG	Sub Index (SI) potential Exposure				Sub Index (SI) Adambt Capacity				SI (SI) Sensitivity		Kategori				
		SSI-wq	SSI-bq	SSI-ir	SSI-pd	SSI-se	SSI-pt	SSI-sk	SSI-pr	SSI-ak	SSI-rs					
1	Bagelen	2.19	1.67	4	1	2	1	3	4	3	1	3	5	2	32.9	MR
2	Dadirejo	1.45	2.42	4	1	1	1	5	4	3	3	4	3	3	37.9	MR
3	Kaliwader	1.94	2.68	2	1	1	4	5	3	3	4	2	4	4	37.4	MR
4	Kabraran	1.94	2.52	1	1	2	1	3	3	2	3	1	1	4	30.5	VLR
5	Ngandong	2.17	2.15	5	1	1	1	4	4	1	3	1	4	4	33.3	VLR
6	Kaligondang	1.46	2.47	3	1	1	4	3	3	1	3	2	2	2	28.9	VLR
7	Kaliharjo	2.94	2.53	3	5	1	4	4	1	2	3	5	4	5	42.5	MR
8	Kaliurip	2.07	2.34	2	1	2	1	4	3	3	3	3	3	2	31.8	MR
9	Sokoagung	2.71	1.81	4	5	1	1	3	4	1	2	4	3	5	37.5	MR
10	Pepansari	2.92	1.58	4	1	1	1	3	4	3	1	4	1	5	32.5	MR
11	Bleber	2.47	2.22	2	1	1	3	5	3	2	3	1	3	5	31.7	VLR
12	Kaligajah	2.41	2.59	4	1	1	3	4	3	3	3	2	3	5	37.0	MR
13	Kedune Pong kulon	2.19	2.04	2	5	1	1	4	3	2	4	4	3	5	38.2	MR
14	Kebungubuh	1.68	2.29	3	5	1	1	4	3	1	4	4	2	5	37.0	MR
15	Sendingarsi	2.45	2.47	2	1	2	1	5	3	4	4	3	5	2	37.9	MR
16	Cacaban Lor	2.42	2.44	1	1	1	3	3	2	1	4	1	4	4	30.9	VLR
17	Duren Sari	2.71	2.40	4	5	1	3	3	5	1	3	5	2	5	40.1	MR
18	Medono	2.68	2.34	2	1	1	3	3	3	3	4	3	5	2	35.0	MR
19	Puson	2.17	2.76	3	1	1	1	1	3	3	1	5	4	2	30.9	VLR
20	Somoleter	2.45	2.30	3	1	1	3	5	3	1	1	1	5	5	35.7	MR
21	Cenedak	1.46	2.44	3	1	1	1	4	4	2	4	1	2	2	28.9	VLR
22	Suntur	2.17	2.64	2	2	1	1	3	3	1	3	1	3	4	28.8	VLR
23	Hardi mulyo	2.47	2.19	3	4	1	3	4	3	1	3	5	3	4	38.7	MR
24	Pekalongan	2.94	2.40	2	1	1	3	4	2	2	4	1	2	3	30.3	VLR
25	Ngadirjo	2.19	2.77	5	2	1	3	4	1	3	4	3	3	5	40.0	MR
26	Ngaran	2.94	2.14	3	2	1	1	3	5	3	3	2	3	3	35.1	MR
27	Ngrasnan	3.17	2.24	4	1	1	1	5	3	3	3	1	5	5	37.4	MR
28	Purbowono	1.94	1.93	5	4	1	3	3	2	1	3	1	2	4	32.9	MR
29	Watuwutur	2.94	2.75	5	1	1	3	5	3	2	4	1	5	3	38.7	MR
30	Wonosido	2.94	2.22	3	1	1	5	3	3	2	3	2	1	3	32.2	MR
31	Benowo	1.70	2.99	4	1	1	1	2	4	2	2	4	2	4	34.7	MR
32	Danorejo	1.70	2.35	5	5	1	1	3	4	1	2	4	4	4	38.1	MR
33	Gumungwangi	2.92	2.89	3	1	1	1	3	3	1	3	2	1	4	26.3	VLR
34	Tlogorejo	2.17	2.03	5	1	1	1	3	2	2	4	5	3	4	35.2	MR

Sumber : analisis dan pengolahan peneliti

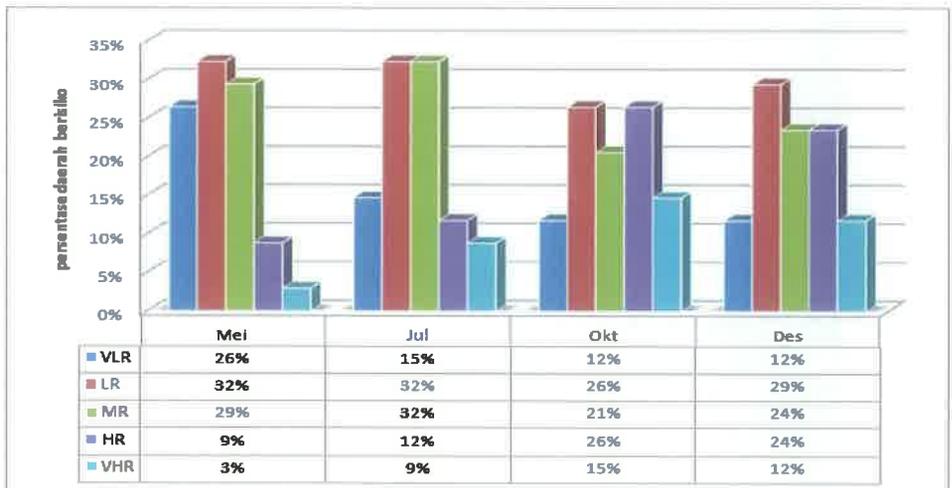


Sumber: analisis dan pengolahan peneliti

5.6 PEMAKNAAN *MALARIA VULNERABILITY INDEX (MVI)*

Setiap wilayah memiliki potensi yang merupakan faktor pendukung atau faktor pembatas terhadap perkembangbiakan vektor malaria. Vektor malaria berkait erat dengan penyebaran penyakit malaria di setiap wilayah. Sumberdaya alam di setiap wilayah dapat menjadi tempat hidup (habitat) yang sesuai bagi nyamuk *Anopheles*. Sebaliknya dapat juga terjadi sumberdaya alam tersebut bukan sebagai tempat hidup yang layak bagi setiap spesies *Anopheles*. Dapat dipahami bahwa setiap wilayah memiliki tingkat kerentanan yang berbeda terhadap penularan malaria.

Hasil perhitungan MVI Kabupaten Purworejo menunjukkan terjadinya perbedaan nilai setiap lokasi. Perubahan tersebut dapat ke arah yang lebih rentan atau ke arah yang memiliki kerentanan lebih rendah. Kelompok rentan (kategori MR, HR, HVR) mengalami dinamika yaitu 14 wilayah (41%) pada pancaroba penghujan kemarau meningkat menjadi 18 wilayah (53%) pada musim kemarau, meningkat menjadi 21 lokasi (62%) pada musim pancaroba kemarau penghujan dan hampir stabil pada musim penghujan, 20 wilayah, 59%.



Gambar 5.6 *Dinamika daerah rentan penyebaran malaria antar musim di Purworejo*

Tabel 5.5 Variabilitas tingkat risiko malaria (MVI) tiap wilayah

No	Desa	Mei	Kategori	Juli	Kategori	Okt	Kategori	Des	Kategori
1	Bageles	32.86	LR	34.23	LR	33.86	LR	34.49	LR
2	Dadirejo	37.88	MR	39.38	HR	39.59	HR	38.65	MR
3	Kaliwader	37.42	MR	38.58	MR	41.93	VHR	38.90	HR
4	Kapiteran	30.46	VLR	32.05	LR	32.20	LR	32.46	LR
5	Ngandangan	33.32	LR	36.08	MR	34.06	LR	36.45	MR
6	Kaligondang	28.93	VLR	30.04	VLR	31.69	VLR	31.00	VLR
7	Kallharjo	42.47	VHR	42.83	VHR	40.00	HR	41.27	VHR
8	Kaliurip	31.81	LR	33.02	LR	36.26	MR	32.59	LR
9	Sokoagung	37.52	MR	40.44	HR	39.03	HR	39.32	HR
10	Tepansari	32.50	LR	35.95	MR	36.50	MR	36.95	MR
11	Bleber	31.69	VLR	37.62	MR	37.68	MR	38.13	MR
12	Kaliglagah	36.99	MR	38.56	MR	39.53	HR	40.14	HR
13	Kedung Pom kulon	38.24	MR	40.68	VHR	42.50	VHR	38.49	MR
14	Kedunggubah	36.98	MR	38.37	MR	41.22	VHR	39.84	HR
15	Sendangsari	37.92	MR	38.97	HR	39.16	HR	40.78	VHR
16	Cacaban Lor	30.86	VLR	31.96	LR	34.67	LR	32.03	LR
17	Durensari	40.10	HR	43.05	VHR	42.09	VHR	39.09	HR
18	Medono	35.01	LR	36.58	MR	39.26	HR	36.17	MR
19	Puspo	30.93	VLR	31.15	VLR	33.44	LR	28.63	VLR
20	Somoleter	33.75	LR	33.87	LR	35.75	MR	34.34	LR
21	Cepedak	28.90	VLR	31.90	LR	33.66	LR	32.34	LR
22	Guntur	28.81	VLR	32.12	LR	30.86	VLR	33.11	LR
23	Hardi mulyo	38.66	MR	37.41	MR	40.88	VHR	39.30	HR
24	Pekacangan	30.34	VLR	30.37	VLR	33.09	LR	27.66	VLR
25	Ngadirejo	39.96	HR	37.88	MR	40.46	HR	40.72	VHR
26	Ngaran	35.08	LR	33.67	LR	36.84	MR	34.75	LR
27	Ngasinan	37.41	MR	37.02	MR	39.93	HR	40.68	VHR
28	Purbowono	32.87	LR	28.66	VLR	30.14	VLR	34.19	LR
29	Watuduwur	38.69	HR	38.98	HR	38.67	MR	37.73	MR
30	Wonosido	32.15	LR	32.12	LR	32.92	LR	32.80	LR
31	Benowo	34.69	LR	33.39	LR	38.42	MR	39.11	HR
32	Donorejo	38.05	MR	37.14	MR	39.80	HR	40.40	HR
33	Gunungwangi	26.31	VLR	29.37	VLR	27.08	VLR	28.56	VLR
34	Tlogoguwo	35.20	LR	35.61	LR	33.96	LR	37.46	MR

Terjadinya dinamika malaria ditentukan oleh perubahan terhadap faktor kerentanan malaria. Faktor kerentanan malaria dikelompokkan dalam 2 yaitu faktor yang bersifat dinamis tinggi dan faktor yang bersifat dinamis rendah. Faktor yang **bersifat dinamis tinggi** adalah variabel yang mengalami perubahan setiap saat bersifat harian atau bulanan. Faktor dinamis tinggi terdiri dari: curah hujan, kualitas udara, kualitas air, dan kepadatan vektor. Faktor yang **bersifat dinamis rendah** adalah variabel yang mengalami perubahan dalam skala tahunan. Faktor dinamis rendah terdiri dari: kepadatan penduduk; perilaku masyarakat (pengetahuan, sikap dan praktek), dan kepekaan penduduk. Terjadinya perubahan tingkat kerentanan dari musim ke musim ini terutama disebabkan oleh perubahan faktor yang bersifat dinamis tinggi. Suhu, kelembaban, curah hujan, kualitas

air, selalu mengalami perubahan nilai. Terjadinya perubahan parameter berpengaruh langsung terhadap dinamika kepadatan vektor.

Kepadatan vektor yang tinggi berpengaruh langsung terhadap tingkat risiko penularan malaria. Hasil penelitian sesuai dengan Onori & Grab (1980) yang menyatakan adanya pengaruh kepadatan vektor, *incidence rate*, *man biting rate*, berpengaruh terhadap penularan malaria, dikenal *Entomological Inoculation Rate* (EIR). Penelitian lain tentang faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap sebaran *Anopheles gambiae* di Gana, dilakukan oleh Douza dkk.,(2009), yang menyatakan adanya pengaruh elevasi, NDVI (*Normalized different vegetation index*), curah hujan, suhu udara dan kelembaban udara. Penelitian tersebut sama dengan hasil analisis kemelimpahan vektor yang dipengaruhi oleh faktor suhu, kelembaban, curah hujan dan kualitas air, terhadap kepadatan vektor.

Penelitian ini juga sesuai dengan penelitian Ayala dkk., (2009), tentang habitat yang sesuai dan niche ekologi terhadap vektor utama di Kamerun. Penelitian Ayala dihasilkan 17 vektor malaria di Kamerun, Ayala menggunakan *Eco-geographical Variabel* (EGV), adanya pengaruh *evapotranspirasi*, paparan sinar matahari, curah hujan yang tinggi, uap air, dan kehadiran semak belukar, berpengaruh terhadap kehadiran spesies *An.nili.*, *An.mucheti*, *An.arabiensis*. Ageep, dkk.,(2009), dalam penelitian *Spatial and Temporal distribution of malaria mosquito Anopheles arabiensis*, adanya pengaruh kualitas air: pH; suhu air; salinitas; kekeruhan; kedalaman air; luas permukaan air, terhadap kepadatan larva. Penelitian oleh Haque dkk.,(2010), menunjukkan adanya pengaruh variabilitas iklim dalam sebaran malaria di Bangladesh. Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh NDVI dengan waktu jeda (lag time) 1- 3 bulan. Terdapat beberapa sepsies yang terpengaruh oleh curah hujan, terhadap sebaran *P. falciparum*. Kelembaban berpengaruh terhadap kejadian malaria.

1. Indek Kerentanan Malaria (MVI) dan Kasus Malaria di Purworejo

MVI sebagai alat untuk mengetahui tingkat kerentanan setiap wilayah untuk penularan malaria. Untuk menguji MVI dengan kasus malaria dilakukan analisis regresi MVI setiap periode musim terhadap kasus malaria. MVI untuk setiap periode penelitian dan besarnya kasus malaria yang terjadi pada lokasi penelitian. Uji yang digunakan adalah koefisien

korelasi dan uji regresi linier ditunjukkan pada tabel 5.6. Hasil uji korelasi dan regresi menunjukkan bahwa besarnya regresi R sebesar 0,537 dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,289, dengan signifikansi sebesar 0,037 ($< 0,05$). Hal tersebut memberikan informasi bahwa MVI berhubungan dengan kasus malaria di terima. Angka Durbin-Watson 2,364 (antara 1-3), menunjukkan tidak terjadi otokorelasi antar variabel bebas, sebagai syarat uji regresi diterima. **Tingkat signifikansi tersebut memberikan gambaran bahwa MVI dapat digunakan untuk model kerentanan penularan malaria.**

Tabel 5.6 Hasil analisis korelasi dan regresi linier MVI dan kasus malaria

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.537(a)	.289	.191	9.15867	.289	2.943	4	29	.037	2.364

a Predictors: (Constant), MVI_DES, MVI_OKT, MVI_JULI, MVI_MEI

b Dependent Variable: INCIDEN_

Model		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	987.473	4	246.868	2.943	.037(a)
	Residual	2432.556	29	83.881		
	Total	3420.029	33			

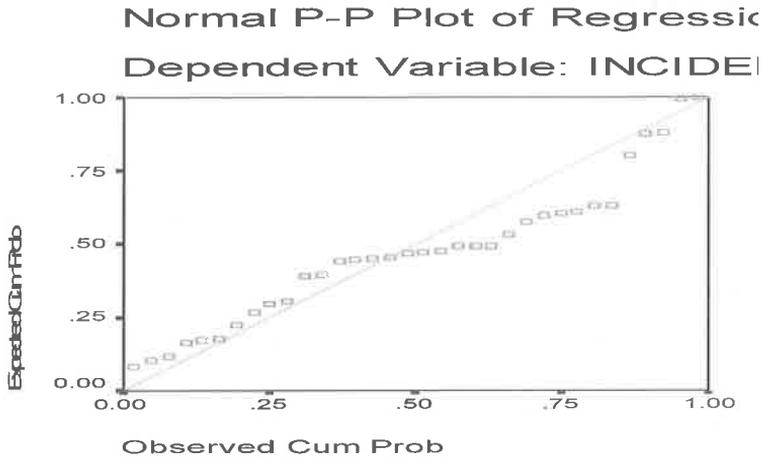
a Predictors: (Constant), MVI_DES, MVI_OKT, MVI_JULI, MVI_MEI

b Dependent Variable: INCIDEN_

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.	95% Confidence Interval for B		Zero-order	VIF
		B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound		
1	(Constant)	-40.297	15.716		-2.564	.016	-72.440	-8.154		
	MVI_MEI	1.305	1.044	.501	1.250	.221	-.830	3.440	.512	6.543
	MVI_JULI	1.014	1.018	.382	.997	.327	-1.067	3.096	.500	6.000
	MVI_OKT	-.499	.951	-.191	-.524	.604	-2.444	1.447	.429	5.439
	MVI_DES	-.470	.913	-.180	-.515	.611	-2.337	1.397	.424	5.010

Tabel 5.7 MVI dengan kasus malaria Kabupaten Purworejo

No.	Lokasi Kajian	Nilai MVI				Kasus 2012
		Mei	Juli	Oktober	Desember	
1	Bagelan	32,9	34,2	33,9	34,5	0
2	Dadirejo	37,9	39,4	39,6	38,7	22
3	Kaliwader	37,4	38,6	41,9	38,9	0
4	Kapiteran	30,5	32,1	32,3	32,5	0
5	Ngandangan	33,3	36,1	34,1	36,4	0
6	Kaligondang	28,9	30,0	31,7	31,0	0
7	Kaliharjo	425,5	42,8	40,0	41,3	27
8	Kaliurip	31,8	33,0	36,3	32,6	0
9	Sokoagung	37,5	40,4	39,0	39,3	7
10	Tepansari	32,5	36,0	36,5	36,9	2
11	Bleber	31,7	37,6	37,7	38,1	0
12	Kaliglagah	37,0	38,6	39,5	40,1	0
13	Kedung Pom Kulom	38,2	40,7	42,5	38,5	0
14	Kedunggubah	37,0	38,4	41,2	39,8	35
15	Sendangsari	37,9	39,0	39,2	40,8	1
16	Cacaban Lor	30,9	32,0	34,7	32,0	0
17	Durensari	40,1	43,1	42,1	39,1	27
18	Medono	35,0	36,6	39,3	36,2	1
19	Puspo	30,9	31,2	33,4	28,6	4
20	Somoleter	33,7	33,9	35,8	34,3	4
21	Cepedek	28,9	31,9	33,7	32,3	0
22	Guntur	28,8	32,1	30,9	33,1	2
23	Hardi mulyo	38,7	37,4	40,9	39,3	11
24	Pekacangan	30,3	30,4	33,1	27,7	0
25	Ngadirejp	40,0	37,9	40,5	40,7	0
26	Ngaran	35,1	33,7	36,8	34,7	4
27	Ngasinan	37,4	37,0	39,9	40,7	0
28	Purbowono	32,9	28,7	30,1	34,2	0
29	Watuduwur	38,7	39,0	38,7	37,7	0
30	Wonosido	32,3	32,1	32,9	32,8	0
31	Benowo	34,7	33,4	38,4	39,1	0
32	Donorejo	38,1	37,1	39,8	40,4	32
33	Gunungwangi	26,3	29,4	27,1	28,6	0
34	Tlogoguwo	35,2	35,6	34,0	37,5	7



Gambar 5.7 Koefisien Korelasi

2. Perbedaan Tingkat Kerentanan Setiap Wilayah

Perbedaan tingkat kerentanan setiap wilayah dilakukan uji dengan ANOVA, dari nilai MVI setiap wilayah. Hasil analisis anova menunjukkan bahwa nilai signifikan < 0.05 , sehingga dapat dinyatakan secara statistic ada perbedaan tingkat kerentanan setiap wiayah.

Tabel 5.8 Hasil Anova Tingkat Kerentanan Wilayah

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
MVI_Okt	Between Groups	488.145	26	18.775	8.209	.004
	Within Groups	16.010	7	2.287		
	Total	504.155	33			
MVI_Des	Between Groups	492.671	26	18.949	11.222	.001
	Within Groups	11.820	7	1.689		
	Total	504.491	33			
MVI_Juli	Between Groups	466.021	26	17.924	6.302	.009
	Within Groups	19.910	7	2.844		
	Total	485.931	33			

DAFTAR PUSTAKA

1. Rebholz EC, Michel JA, Maselli DA. Frequency of Malaria and Glucose-6-Phosphate Dehydrogenase Deficiency In Tajikistan, *Malaria Journal*. 2006;5:51 doi:10.1186/1475-2875-
2. Yusuf AA, Fransisco AH. Climate Change Vulnerability Mapping for South East Asia. Swedia: Economic Environmental Program for South Asia, IDRC-CRDI, SIDA; 2009.
3. McLaughlin BS, Sunseri JA. Hazard Vulnerability Analysis Healthcare Facilities Management Series. Chichago: Illinois; 2001.
4. IPCC. Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: Cambridge University Press; 2001.

-oo0oo-



MODEL SPASIAL EKOLOGIS MALARIA

6.1 PEMBUATAN MODEL

1. Pengertian dan Fungsi Model

Terdapat beberapa pengertian tentang model, salah satunya Brimicombe (2010) memberikan pengertian model yang diartikan sebagai penyederhanaan atau pengurangan suatu hal yang rumit (komplek). Pengertian lain oleh Samet (2010) penyederhanaan fakta dan kenyataan yang dapat disajikan ke dalam peta. Tidak ada satu peta pun dapat mencakup semua aspek dari fakta lapangan. Tipikal dari berbagai model dapat berbentuk sebagai berikut:

- a. Garis regresi prediksi sebagai hasil output variabel sesuai input variabel
- b. Tabel hasil dari hubungan inter variabel yang lebih kompleks dan proses, manipulasi peta sesuai dengan teori *predeterminan*
- c. Sebuah deret persamaan matematis menggambarkan hubungan yang kompleks pemindahan dan perubahan proses penggabungan dalam program komputer. Yang menjadi perhatian adalah bagaimana model lain dapat dilakukan interkoneksi dengan sistem GIS.

Model memiliki berbagai fungsi dalam koridor ilmu pengetahuan. Chorley dan Haggett (1967) dalam Brimicombe (2010), melakukan identifikasi model berfungsi sebagai berikut :

- a. bidang *psychological* bahwa mengungkap proses yang kompleks atau interaksi untuk diperlihatkan dan dimengerti

- b. bidang *descriptive* (penalaran) bahwa menterjemahkan secara logis fenomena
- c. bidang Organisasi untuk pengumpulan dan manipulasi data
- d. bidang *Exploratory* dan konstruksi dalam mencari teori baru dan atau kelanjutan teori.

2. Tipologi Model

Model dapat dilakukan klasifikasi, Ackoff (1964) dalam Brimicombe (2010) mengklasifikasi sebagai berikut :

- a. ikonik : penggunaan material sama, tapi dengan perubahan skala
- b. analogue : melakukan perubahan dalam materi dan skala
- c. simbolik : menggunakan Sistem simbol, seperti dalam matematik

Chorly dan Haggett (1967) dalam Brimicombe (2010) melakukan klasifikasi tipologi model sebagai berikut :

- a) *Natural analogues*: Menggunakan kejadian masa lalu untuk menjelaskan kejadian saat ini (*historical analog*) atau menggunakan kejadian di suatu tempat, untuk menjelaskan kejadian pada tempat lain (*spatial analog*). Model ini biasanya berupa deskriptip tapi dapat juga digunakan diagram dan peta.
- b) *Hardware*: merupakan miniatur dari fenomena, dengan menggunakan pelaksanaan atau mekanisme yang sama atau hampir sama, untuk mempelajari perkembangan, pertumbuhan, perilaku umum, perubahan dan berbagai proses
- c) *Mathematis*: Ini adalah fenomena dan pola kerjanya dijelaskan menggunakan persamaan, dan fungsi statistik. Dimana Model menyajikan penyelesaian khusus (unik), dan dikenal sebagai pembeda (*deterministik*). Pada lain arti, model akan mencatat perlakuan secara acak dan menyediakan berbagai kemungkinan jawaban, dan dikenal sebagai *stochastic*. Ada tambahan kategori ke 4.
- d) *Computational*: ini bila komputer digunakan untuk manipulasi simbol (penggunaan code dan data) untuk menjelaskan phenomena dan metode kerjanya. Model seperti ini mungkin mencakup deterministik dan *stochastic* elemen sepanjang *heuristik* (aturan), logika operator, dan fungsi operasi lain.

Untuk setiap kelas model tersebut dapat menambah penjelasan lebih lanjut tergantung aturan dan waktu, derajat kepekaan sebagai sistem, dan mengapa model digunakan, sehingga *computational model* sangat mungkin berbentuk berikut :

a. *statis*

Bila unsur dari model adalah tidak berubah atas dasar waktu dan tempat, model hanya berpusat pada situasi keseimbangan

b. *dinamis*

dimana variabel dan model sesuai dengan fluktuasi dalam waktu

c. *white box*

Dimana bila kerja internal model mencerminkan sistem secara penuh sesuai dengan spesifikasi

d. *grey box*

Bila dalam kerja internal sistem hanya sebagian elemen yang bekerja sesuai dengan spesifikasi

e. *black box*

Bila didalam sistem tidak memiliki spesifikasi, contoh bagaimana perubahan input menjadi output tidak diketahui dengan baik

f. *exploratory*

Bila model dirancang mencoba mencari untuk menjelaskan sistem kerja berbagai kejadian (fenomena)

g. *prescriptive*

Dimana model digunakan untuk memberikan jawab, seperti bagaimana output bila diberikan input tertentu.

3. Bangun model (Bentuk Model)

Bentuk model terbentuk tergantung untuk peruntukan apa model tersebut, pengembangan dan proses perubahan yang terjadi, waktu dan sumber dapat dikembangkan dan uji coba model. Meskipun lebih sering tidak selalu tersedia dibandingkan dengan model hasil perancangan, lebih sering suatu kasus dilakukan identifikasi dengan model yang paling baik, dengan melakukan penyesuaian faktor pembatas dan ketidakpastian. [1] Titik awal yang harus dilakukan untuk perancangan model adalah beberapa observasi, spekulasi, atau konsentrasi yang mengendalikan

utama untuk menemukan jawaban atau solusi yang tepat. [2] Jelaslah bahwa satu kebutuhan sebuah pemahaman yang baik dari teori eksisting dan pengetahuan pokok yang berhubungan langsung untuk memecahkan pertanyaan permasalahan dan bahkan hal tersebut dapat dinyatakan bahwa tanpa pengetahuan maka tidak mudah untuk memunculkan pertanyaan awal, sehingga pemahaman literatur yang relevan sangat dibutuhkan.

a) **Pemodelan Topografi**

Pendekatan tradisional, tidak memungkinkan melakukan pengukuran untuk mengukur setiap meter persegi untuk menunjukkan variasi topografi. Teknologi baru seperti LiDAR (*Light Detection and Ranging*) memungkinkan secara cepat dan akurat data topografi dengan resolusi tinggi. Pendekatan dengan "*time honored*" memungkinkan melakukan sampling topografi dengan berbagai cara untuk memperoleh data titik dari interpolasi untuk membuat kontur atau garis *Digital Elevation Model (DEM)*. Kontur, DEM dan modelnya adalah penyederhanaan dari kondisi nyata di lapangan. Pengukuran pada sejumlah titik, akan dibuat pemodelan (secara *deterministik*, *stochastik*, atau *kumputasi*) dari dasar model mereka. Terdapat beberapa model topografi yang telah diturunkan, tetapi semua merujuk pada teori yang sama. [3]

b) **Dimensi *Spasial Temporal* dan Dimensi *Occam-Eistein***

Proses alami, seperti yang sering dilakukan oleh pemodelan bidang lingkungan, dirancang untuk memahami dan melakukan simulasi kecenderungan skala karakteristik dalam ruang dan waktu. Dapat diperhitungkan dalam 2 dimensi, satu adalah waktu untuk proses terjadinya yang kedua adalah area dimana proses berlangsung. Keduanya tidak berjalan secara independen, dapat terjadi pada durasi pendek area sempit atau pada durasi yang lama dengan area yang luas, sehingga dimungkinkan terjadi dalam waktu yang pendek dengan area yang luas. Dimensi *Occam*, dibuat untuk mengakomodasi permasalahan yang lebih kompleks sehingga mampu menyederhanakan permasalahan yang melibatkan variabel lebih banyak.

4. Pemodelan Pendukung Regulasi

Environmental Protection Agency (EPA) memiliki peranan penting dan utama dalam pengembangan pengetahuan tentang model lingkungan.

Pengambilan keputusan regulasi, sedapat mungkin mengembangkan dari kontribusi EPA. Beberapa rekomendasi dalam laporan ini diturunkan dari review *modeling* hasil penelitian EPA dan program *office*. Komite memberikan rekomendasi terdapat 3 wilayah dalam pengembangan model yaitu: 1. Evaluasi model; 2. Prinsip model (pembuatan, seleksi, dan terapan); 3. manajemen model.

a. Evaluasi Model

Model dimulai dari proses *iterasi* dengan melakukan identifikasi kebutuhan dan pengembangan pendekatan konseptual. Model juga dapat di buat melalui berbagai versi yang mencerminkan penemuan pengetahuan baru, penggabungan data dan menyusun diagram alir (*Algoritme*). Evaluasi model adalah proses memutuskan apakah dan kapan model sesuai untuk tujuan tertentu. Proses ini bukan *validasi* yang kaku atau verifikasi prosedur akan tetapi kepercayaan dalam penerapan model, peningkatan pemahaman tentang keunggulan model dan keterbatasan yang dimiliki. Evaluasi model adalah berbagai tahapan kegiatan termasuk: *Peer review*; *Corroboration* hasil data dan informasi; jaminan mutu dan pengecekan kualitas. Bahkan ketika suatu model sedang dilakukan evaluasi, pengetahuan baru akan muncul melalui pertanyaan yang tidak terduga. Atau terapan baru mungkin tidak ilmiah dengan model yang direncanakan.

Evaluasi terhadap model dilakukan secara terus menerus melalui pengaktifan model. Model evaluasi tidak berhenti dengan kegiatan evaluasi akan tetapi hingga umpan balik dari masyarakat. Beberapa rencana untuk melakukan evaluasi yaitu :

- i. menjelaskan model dan spesifikasi pemanfaatan;
- ii. menjelaskan hubungan dari model ke data, termasuk data keduanya yaitu input dan pernyataan atau dukungan;
- iii. menjelaskan bagaimana data dan sumber lain informasi akan digunakan untuk menjangkau kemampuan model;
- iv. menjelaskan semua elemen dan rencana evaluasi dengan menggunakan pedoman evaluasi;
- v. menjelaskan faktor atau bahkan menjustifikasi revisi utama

b. Prinsip pengembangan Model, Seleksi dan Aplikasi

Model selalu tidak lengkap, dan membutuhkan untuk membuat model tersebut lebih lengkap dapat menjadi masalah tersendiri. Sebagai penggambaran dan kemampuan ditambahkan untuk pembuatan model, kumulatif pengaruh pada kinerja model dibutuhkan evaluasi model secara hati-hati. Peningkatan kompleksitas model tanpa pertimbangan yang cukup dapat menghasilkan model yang kurang akurat. Pengembangan model lebih sering keluar dari kemampuan dan bahkan tidak menghasilkan kinerja model yang memiliki kemampuan baik. Bahkan permasalahan lain akan terjadi akibat ketidak pastian karena mereka mengandung parameter yang lebih dibandingkan dengan yang dapat diperkirakan.

c. Manajemen Model

Kadang-kadang isi model dirancang sesuai dengan model peraturan yang diterapkan. Bahkan model dengan kualitas tinggi diisi dengan komponen yang tidak lengkap dan harus dilakukan peningkatan sesuai dengan perkembangan pengetahuan. Ketika model disesuaikan dengan peraturan pengambilan keputusan harus dilakukan evaluasi secara berkala setiap tahun untuk disesuaikan dengan tempat dan waktu. Kecenderungan yang terjadi tidak selalu sempurna, kadang banyak kepentingan yang menghambat penyempurnaan model. Manajemen model dibutuhkan agar dalam penerapan mampu membantu dalam pengambilan keputusan.

5. Pembuatan Model

Model adalah penyederhanaan fakta dan kenyataan yang dapat dibandingkan ke dalam peta. Peta jalan (rancangan induk) memberikan indikasi aspek tertentu dari fakta lapangan sebagai contoh jalan ukuran tertentu, jaringan air limbah atau bangunan. Tidak ada satu peta pun dapat mencakup semua aspek dari fakta lapangan. Pembuatan model mencakup penjabaran materi, konseptual permasalahan, perubahan ke dalam model kumputasi dan uji model, revisi dan aplikasi. Meskipun hampir semua pembuatan model mengikuti langkah secara umum ini akan tetapi perancangan model untuk tujuan pengaturan adalah materi lain sebagai tambahan untuk tujuan penelitian. Berbagai informasi pembanding untuk

pembuatan model telah dilakukan oleh starfield dan Bleloch 1991; Clemen 1995; Mesterton-Gibbons 1995; Beck 2002; Bassetti dan Woodward 2005.

Menurut Samet (2010) langkah pembuatan model mencakup 6 langkah sesuai dengan tata urutan sebagai berikut :

a. Penjelasan Tujuan Model

Langkah pertama termasuk menjabarkan tujuan utama atau tujuan mengapa model dibuat. Ilustrasi *Alice in Wonderland* " Jika kamu tidak memahami kemana kamu akan pergi, akan muncul sesuatu yang lain yang mengarahkan kamu sesuatu yang bersifat parsial tidak penting". Kunci keberhasilan pada tahap ini adalah mengenali apakah pemodelan menjadi alat efektif untuk menyelesaikan masalah yang ada. Penggunaan potensial sebagai model mencakup sebagai berikut :

- i. prediksi jangka panjang (melakukan penggalian fakta masa lalu dan jawaban atas pertanyaan jika/apa;
- ii. prediksi jangka pendek;
- iii. interpolasi (perkiraan variabel bahwa yang tidak dapat dilakukan pengukuran secara langsung);
- iv. memberikan informasi jelas kesimpulan dari data;
- v. pencarian data (Cakupan, batasan, konsistensi dan kesenjangan);
- vi. kontrol sistem perancangan (monitoring, diagnose, pengambilan keputusan, pelaksanaan).

b. Spesifikasi Lingkup Pemodelan

Setelah menemukan tujuan model, pembuat model harus membuat spesifikasi lingkup model. Kewajiban ini termasuk beberapa dalam menjawab pertanyaan sebagai berikut :

- i. dalam skala temporal dan spasial apa model diterapkan;
- ii. siapa pengguna utama yang akan memanfaatkan, dan peta tingkatan apa model tersebut akan digunakan.
- iii. apa input data yang tersedia, bagaimana data tersebut dapat diperoleh;
- iv. apa tersedia sumber data untuk mendukung evaluasi model;
- v. apa dasar output yang yang diperlukan dan haruskah mereka memasukan pendekatan deterministik, meskipun tidak dibutuhkan sesuatu yang kaku;

- vi. apa tingkat kepercayaan (reliabilitas) dibutuhkan;
- vii. apakah kriteria evaluasi harus diterapkan untuk menemukan kemudahan pemanfaatan model;

Tabel 6.1 Proses Pembuatan Model dan Substansi Pendukung

Langkah Pembuatan Model	Substansi/Permasalahan yang dikaji
1. Penjabaran Tujuan Model	<ul style="list-style-type: none"> • tujuan • keputusan yang akan didukung • prediksi yang akan dibuat
2. Spesifikasi dari Pokok kajian Model	<ul style="list-style-type: none"> • skala (temporal dan spasial) • ranah terapan • masyarakat pengguna • kebutuhan input • keluaran yang diharapkan • kriteria evaluasi
3. Perumusan Konseptual model	<ul style="list-style-type: none"> • asumsi (dinamik, statik, stokastik, deterministik) • variabel yang diandalkan • tingkat proses detail yang dibutuhkan • dasar pengetahuan
4. Komputasi Model yang dibuat	<ul style="list-style-type: none"> • algoritma • metode matematik/komputasi • masukan (<i>input</i>) • infrastruktur <i>software</i> dan <i>hardware</i> • user interface • kalibrasi/ determinasi parameter • dokumentasi
5. Uji Coba model dan revisi	<ul style="list-style-type: none"> • konfirmasi dengan teori • verifikasi komponen model • konfirmasi (data independent) • analisis sensitifitas • analisis ketidakpastian • kekuatan determinasi • pembanding untuk kriteria evaluasi selama penyusunan formulasi
6. Penggunaan Model	<ul style="list-style-type: none"> • analisis skenario • evaluasi prediksi • penelitian regulasi • analisis kebijakan dan evaluasi

c. Perumusan Konsep Model

Konsep perumusan model merupakan dasar pengaturan model, kadang-kadang dinyatakan dalam diagram grafis secara umum tidak menyajikan detail komponen atau asumsi yang digunakan. Konseptual model dapat disajikan dalam bentuk peta ringkasan struktur model, masukan (*input*), pernyataan variabel dan keluaran (*output*), dan pemanfaatan utama. Sesungguhnya, salah satu aturan kritis konseptual model adalah untuk menyediakan penjabaran yang mudah terlihat untuk pengambilan keputusan, pemangku kepentingan, dan pihak yang tertarik untuk mendalami model, termasuk hubungan fundamental antara model dan bagaimana input memberikan pengaruh pada keluaran (*output*). Penetapan model yang dapat digunakan tergantung perumusan permasalahan, dengan memperhitungkan sebagai berikut:

- i. apakah pengetahuan dasar termasuk dalam model;
- ii. apakah perumusan model tersedia masih ada;
- iii. apa tingkat agregasi tersedia dalam lingkup model;
- iv. apa variabel yang digunakan;
- v. apa variabel yang akan digunakan untuk menyampaikan hasilnya;
- vi. apa tingkat detail mekanistik yang dibutuhkan

d. Komputasi Pembuatan Model

Tahap ini dibutuhkan untuk merumuskan model dengan melakukan translasi (merubah) asumsi yang dibangun menjadi perumusan matematik, dengan menemukan detail susunan model dan melakukan pengkodean model yang dihasilkan. Langkah yang dibutuhkan sebagai berikut :

- i. persamaan model yang menghasilkan hubungan antara variabel (aturan, pernyataan, persamaan, statistik) dan sejumlah susunan matematis dari model (statik, dinamik, diskrit, contonous);
- ii. perkiraan parameter (dari data atau asumsi pengetahuan yang dirujuk) untuk menentukan parameter sebagai input atau distribusi dari parameter perumusan stokastik;
- iii. desain perangkat lunak yang cukup dan peralatan teknis untuk mendukung penyelesaian model, perhitungan algoritma yang cukup dan model antara yang cukup untuk mendukung penerapan model

- iv. metode untuk analisis dari model yang dihasilkan, termasuk output grafik yang dihasilkan dan kemampuan untuk mendukung kepekaan dan analisis ketidakpastian;
- v. fleksibilitas untuk melakukan modifikasi susunan model dan input perkembangan data, alternatif materi dan aturan yang lain;
- vi. dokumentasi untuk menyajikan transparansi dasar model.

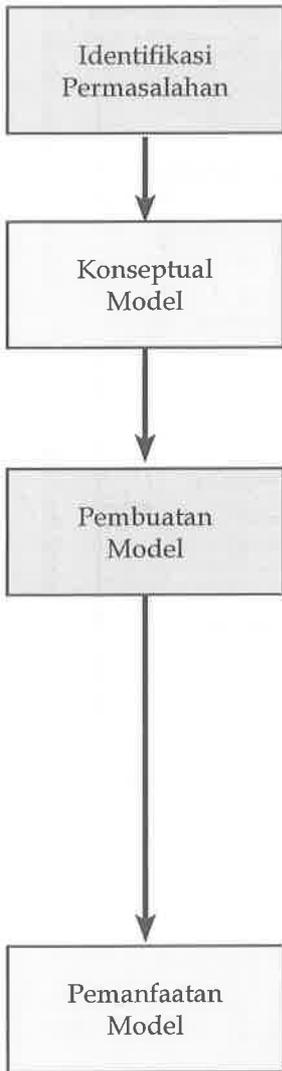
e. Uji Coba dan Evaluasi Model

Bagaimana menyusun fakta bahwa sebuah model dan hasilnya memiliki hasil yang sesuai untuk pengambilan keputusan. Bagaimana dapat disesuaikan antara model dengan kenyataan. Evaluasi model dilakukan melalui siklus model sebagai berikut.

6.2 SIKLUS PEMBUATAN MODEL

Siklus pembuatan model seperti yang disampaikan Samet (2010) dan Brimicombe (2010) berfungsi untuk proses penyempurnaan model yang dihasilkan. Siklus tersebut mencakup beberapa langkah, dimana setiap langkah dilakukan iterasi ulang untuk verifikasi kebenaran dari model. Kedua ahli menyampaikan siklus yang hampir sama, dimulai dari input berupa tujuan model hingga bagian akhir dari model berupa evaluasi dan ujicoba model. Pada siklus yang disampaikan oleh Samet meliputi 10 langkah dengan 3 iterasi. Langkah awal berupa penjelasan tentang tujuan model; penjelasan spesifikasi model; penyusunan konseptual; pemilihan fitur model; merumuskan struktur model; kriteria kinerja; mengenali struktur model dan nilai; verifikasi uji; kuantifikasi model; evaluasi model dan ujicoba, selengkapnya disajikan pada Bagan Gambar 6.1 dan Gambar 6.2.

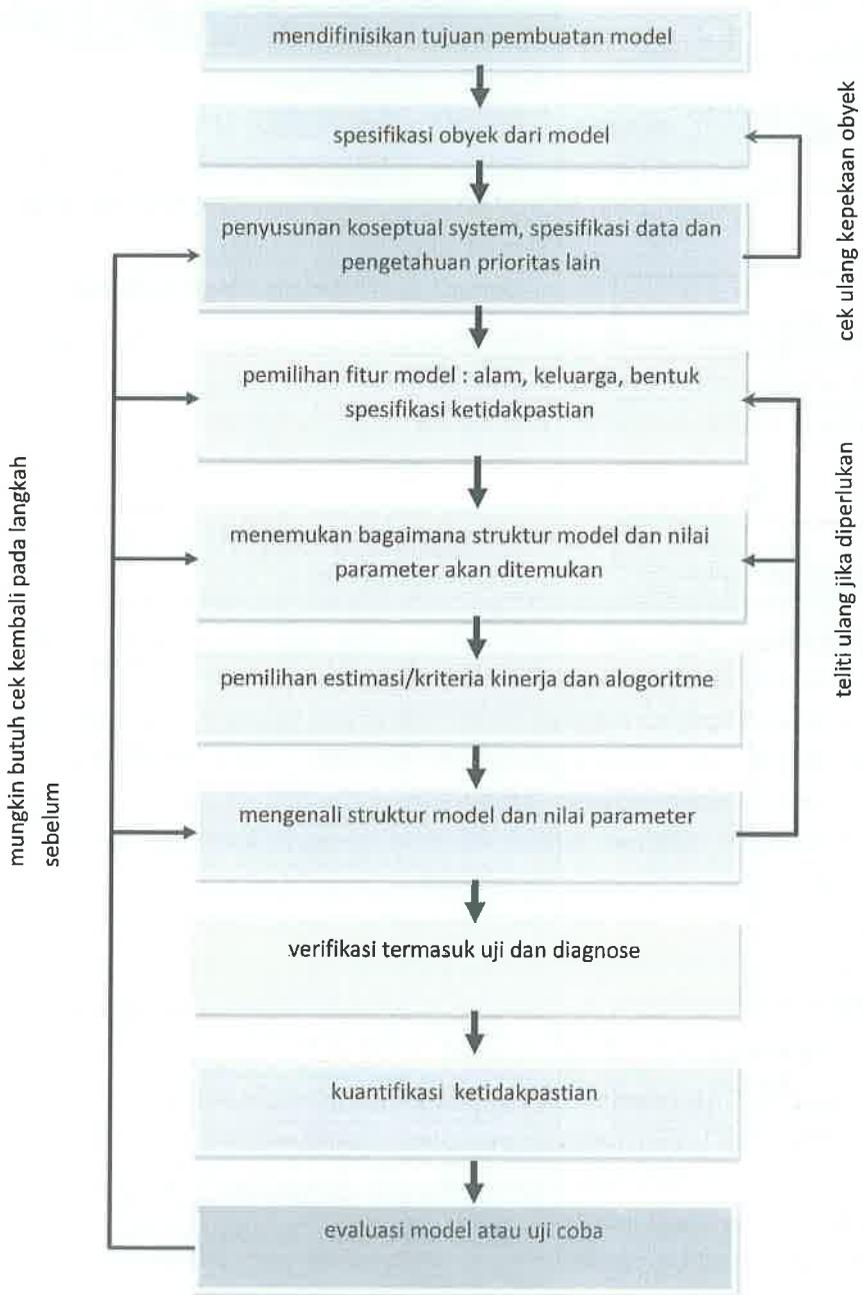
Siklus yang disajikan Brimicombe (2010) mencakup langkah-lahan sebanyak 11 langkah dengan 3 iterasi untuk penyempurnaan. Langkah tersebut terdiri dari: 1. penggabungan fakta lapangan dan pengetahuan teoritis; 2. pemilihan fenomena; 3. pernyataan perseptual model; 4. periode waktu; 5. pembatasan kondisi dan konseptual; 6. pernyataan matematis & statistik; 7. perhitungan model; 8. validasi model dan observasi; 8. mencari karakter model; 9. kalibrasi model; 10. uji kualitas model; 11. pemanfaatan model. Iterasi dilakukan pada tahap penentuan periode waktu, validasi model dan uji kualitas model, selengkapnya disajikan pada Bagan Gambar 6.3.



Lingkup Evaluasi Model	
Identifikasi Permasalahan	apa tujuan/sasaran model
Konseptual Model	kapan model akan digunakan
Pembuatan Model	apa tipe keputusan yang akan didukung
Pemanfaatan Model	apakah data tersedia untuk mendukung model
	alternatif dan kemungkinan variabel
	Asumsi
	Ketidakpastian
	<i>peer review</i>
	resolusi spasial dan temporal
	pemilihan algoritma
	Asumsi
	kemungkinan data maupun software pendukung
	jaminan mutu dan kontrol kualitas
	uji skenario
	<i>corroboration</i> (menguatkan) dengan penelitian
	ketidakpastian/kepekaan
	<i>peer review</i>
	kesesuaian model dan permasalahan
	Asumsi
	ekstrapolasi model
	kualitas data input
	perbandingan dengan hasil penelitian
	analisis kepekaan/ketidakpastian
	<i>peer review</i>

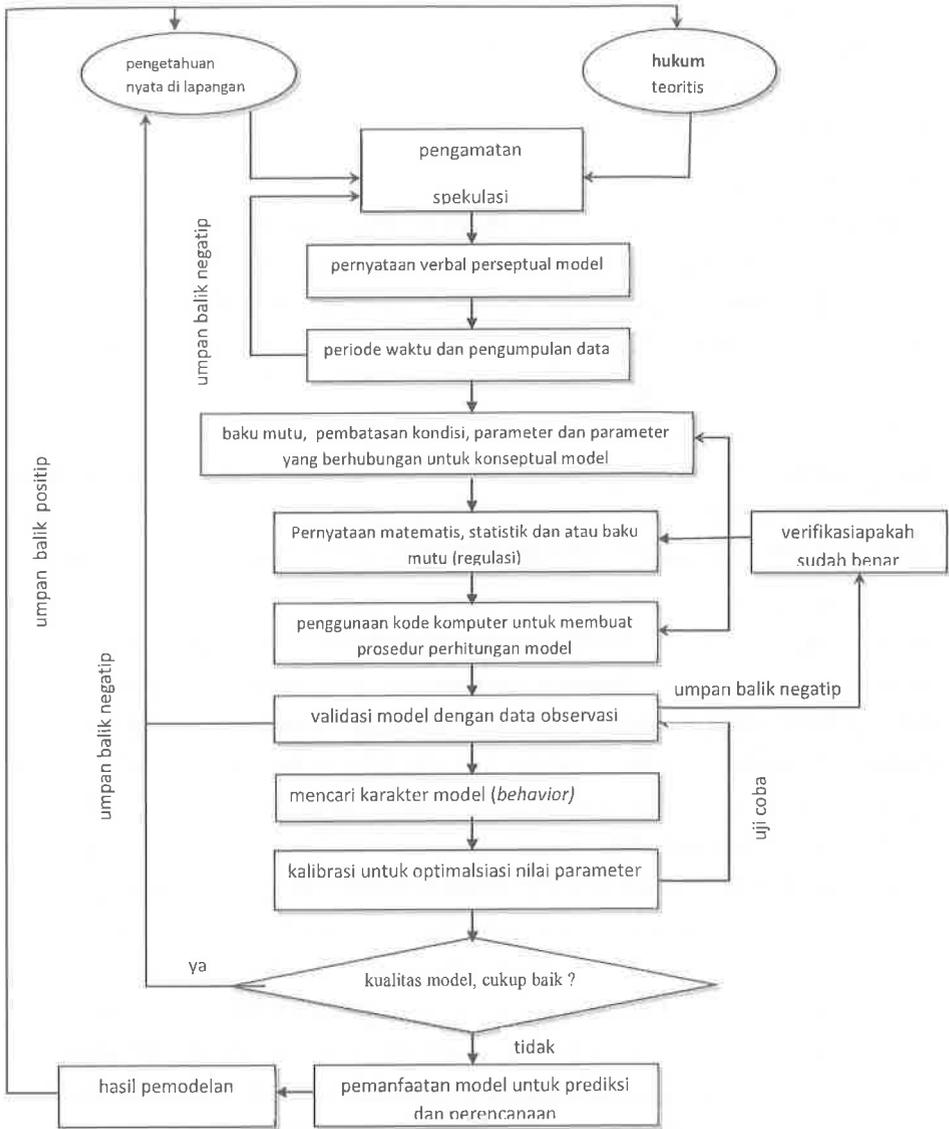
Sumber: Brimicombe, 2010

Gambar 6.1 Bagan Alir Penyusunan Model



Sumber: Jakeman dkk 2006 dalam Samet, 2010

Gambar 6.2 Diagram Alir Siklus Model



Sumber: Brimicombe, 2010

Gambar 6.3 Bagan Siklus Model

6.3 MODEL EKOLOGI

Odum (1983) model teoritis untuk menjelaskan kelaziman (*commonness*) dan kejarangan (*rarity*). Sebagian besar grafik yang digunakan untuk menggambarkan keumuman dan kejarangan dapat ditransformasikan dari

satu ke yang lain. Data yang sama digunakan untuk memetakan perspektif yang berbeda dengan penggunaan susunan koordinat yang berbeda. Sejumlah model telah diberikan untuk menjelaskan grafik-grafik observasi dalam pengertian fungsi-fungsi kausal.

a. Model Pembagian Sumber

Suatu cara mencapai distribusi eksponensial adalah menggambarkan spesies umum yang paling dominan, mengambil beberapa fraksi dari sumber total, spesies kedua yang mengambil fraksi dari sumber selanjutnya, spesies ketiga merupakan fraksi sumber yang tertinggal.

b. Model Pembagian Acak

Kadang disebut sebagai model *broken stick*. [4] Sumber dibagi secara adil oleh potongan garis yang patah secara acak. Pielou (1975), mengikuti Mac Arthur, memperlihatkan bahwa dasar ini menghasilkan penurunan hubungan ekponensial antara jumlah individu dan urutan tingkatan.

c. Teori Ketergantungan Hirarkis dari Jenis pada Individu

Berry dan Garrison (1958) memperlihatkan kehadiran persediaan khusus dihubungkan dengan dukungan terhadap populasi. Odum dkk (1960) menyarankan bahwa apabila masing-masing spesies tergantung pada sejumlah spesies lainya dalam jumlah yang lebih besar seperti dalam rantai makanan dan bentuk lain dari ketergantungan, perubahan fraksional dalam individu akan sebanding dengan spesies yang ditambahkan. Spesies yang ditambahkan sebagai fungsi logaritmis individu yang diakumulasikan. Sebaliknya individu yang ditambahkan spesies merupakan suatu fungsi eksponensial dari jumlah spesies. Model ini dibandingkan terhadap tabel organisasi manusia dan rasio pendudukan khususnya pada populasi total. Setiap spesies tergantung pada jumlah masukan (*input*) satu atau lebih spesies yang kepadanya spesies tersebut bergantung seperti dalam model dalam jaring-jaring dan rantai makanan. Terdapat banyak model yang dapat dikembangkan seperti Model Organisasi Kuadratik, Model Hirakhi Taksonomi, Model Deret Logaritmik.

6.4 PERKEMBANGAN MODEL MALARIA

Model penularan malaria telah banyak dikembangkan. Hasil review Mandal S, 2011, beberapa model yang telah dikembangkan adalah sebagai

berikut. Tahun 1911 Ronal Ross, telah mengembangkan model yang menggabungkan dinamika vektor dan manusia. Kemudian dikembangkan Macdonald (1957) yang juga mengembangkan model dinamika penularan malaria dengan variabel manusia dan nyamuk. Torres-Sorando dan Rondrigues (1997) menyusun model dengan pendekatan migrasi/visitasi manusia dan nyamuk sebagai bentuk penularan. Parham dan Michael (2010) mengembangkan model lingkungan sebagai variabel dinamika penularan malaria. Yang (2000) mengembangkan model dinamika penyebaran malaria dengan melihat faktor sosial ekonomi dan lingkungan. Filipe (2007) mengembangkan penularan malaria dengan memperhatikan faktor imunitas.

Pada tahun 1907 Ronald Ross merumuskan model penularan malaria dalam *Report on Prevention of Malaria Mauritius*, yang menyampaikan pemikiran tentang pencegahan malaria. Pemikiran Ross disempurnakan oleh Waite dan Lotka (1923), menjadi model sederhana dalam model persamaan sebagai berikut.

$$X_{(t+1)} = \dot{V}_{xl}(H - X_t) - rX_t$$

Perumusan Ross secara kuantitatif, dan disebut v yang sangat mirip dengan kapasitas vektorial. Dinamika vektor yang digagas oleh Lotka dengan persamaan diferensial sebagai berikut

$$\frac{dX}{dt} = maz (H - X) - rX$$

$$\frac{dZ}{dt} = acx (H - X) - rX$$

Dalam formula tersebut X adalah jumlah manusia yang terinfeksi *plasmodium*; m adalah rasio jumlah nyamuk dibandingkan manusia (M/H); ma adalah *human biting rate* (rata-rata nyamuk menggigit manusia); H adalah jumlah nyamuk terinfeksi; r adalah lama waktu sejak tergigit nyamuk hingga menimbulkan gejala malaria.

Catatan: dalam model Ross yang disempurnakan Lotka dan Waite terutama untuk pemodelan malaria dengan melihat faktor entomologis. Secara temporal hanya menyatakan terjadi infeksi oleh vektor malaria dalam skala waktu sesaat.

Ronal Ross (1911), memperkenalkan model penularan malaria dan dikembangkan oleh MacDonald, transmisi malaria dengan mempertimbangkan populasi manusia dan nyamuk pada suatu daerah tanpa memperhitungkan pola mobilitas manusia dan nyamuk. Pada model tersebut diasumsikan total manusia dan nyamuk adalah konstan pada periode dan waktu yang sama.

$$\begin{aligned} dX(t) / dt &= \beta Y(t) [N - X(t)] - \gamma X(t) \\ dY(t)/dt &= \beta X(t) [M - Y(t)] - \mu Y(t) \end{aligned}$$

- N : banyak populasi manusia
 M : banyak populasi nyamuk
 γ : laju kesembuhan manusia
 μ : laju kematian nyamuk
 β : rata rata menggigit per nyamuk/orang
 X(t) : banyaknya manusia terinfeksi pada waktu t
 Y(t) : banyaknya nyamuk terinfeksi pada waktu t

Untuk memudahkan diasumsikan proporsi gigitan yang mengakibatkan infeksi pada manusia dan nyamuk adalah konstan. Pada perkembangan selanjutnya Sharpe-Lotka mengembangkan model Ross dengan mempertimbangkan periode laten baik manusia maupun nyamuk, karena adanya daur hidup *plasmodium* di tubuh manusia maupun di tubuh nyamuk.

Pada periode tahun 1930 studi lapangan dilakukan lebih intensif oleh Davey dan Gordon, mengembangkan teori Ross dan mengembangkan pemikiran dengan menggabungkan pendekatan *entomologi* dan *epidemiologi*, mempertimbangkan spesies nyamuk mana yang berperan dalam penularan malaria dan kepadatan nyamuk yang infeksi. Dikenal di kemudian hari dengan *Entomological Inoculation Rate (EIR)*.

Perkembangan selanjutnya adalah model Ross-Macdonald yang menyampaikan tentang teori *Matures* (dewasa), tahun 1950-1969. Teori ini berkembang setelah ditemukannya insektisida terutama DDT setelah perang dunia II, secara luas insektisida tersebut digunakan dalam skala luas untuk pengendalian tiphus dan malaria. Ross berasumsi bahwa infeksi sesuatu yang sederhana, infeksi harus jelas sebelum infeksi baru terjadi, pada masa awal penelitian model malaria superinfeksi adalah hal yang

lazim. Macdonald mengembangkan konsep Ross tentang kepadatan dan menggigit nyamuk, dan mengembangkan teori entomologi penularan malaria atas dasar siklus nyamuk dan demografi. Macdonald meminjam konsep demografi Lotka dalam rasio reproduksi malaria. Dikenal dengan R_0 konsep.

$$R_0 = \frac{m \cdot a^2 \cdot bc \cdot e^{-gv}}{gr} = \frac{ma^2 \cdot bc \cdot p^v}{(-\ln p) r}$$

R_0 adalah rasio reproduksi nyamuk malaria; ma merupakan *human biting rate* (jumlah nyamuk menggigit setiap satuan waktu); bc adalah proporsi nyamuk menggigit dan mampu menginfeksi manusia; p adalah peluang nyamuk hidup (usia hidup nyamu); v adalah *extrinsik incubation period*; r adalah lama waktu sejak tergigit nyamuk hingga menimbulkan gejala malaria; $g = -\ln p$, merupakan *intrinsic incubation periode*, waktu (hari) untuk proses terinfeksi dari digigit nyamuk terinfeksi.

Garrett-Jones entomologis WHO mengembangkan metode untuk pengukuran transmisi entomologis. Metode ini disebut dengan **Kapasitas Vektorial**, atau "*daily reproduction rate*" atau kecepatan pertumbuhan harian, sebagai pengembangan konsep R_0 , dinyatakan sebagai jumlah nyamuk terinfeksi menggigit dari semua nyamuk menggigit dari satu orang terinfeksi pada satu hari. Dirumuskan sebagai berikut :

$$V = \frac{ma^2 \cdot e^{-gv}}{g} = \frac{ma^2 \cdot p^v}{(-\ln p)}$$

Formula tersebut menunjukkan V adalah kapasitas vektorial; v adalah waktu yang dibutuhkan seseorang untuk kembali sehat setelah terinfeksi; sedangkan simbol yang lain sama dengan formula sebelumnya.

Pada tahun 1980 an, perkiraan jumlah nyamuk terinfeksi menggigit per orang per hari dinamakan kembali sebagai EIR, memiliki makna keduanya yaitu Kapasitas Vektorial dan kejadian infeksi malaria. Metode ini masih dikembangkan sesuai dengan kondisi lapangan saat ini.

Sementara untuk peramalan kejadian luar biasa suatu penyakit malaria, diperhitungkan dari faktor langsung dan faktor tidak langsung, yang dinyatakan dalam *Entomological Inoculation Rate* (EIR), yang dirumuskan sebagai berikut. (Onori and Grab, 1980 dalam Mardihusodo, 1999).

$$h' = [m a^2 . g . x . p^n] / [a . g . x - \ln p]$$

keterangan :

h' = Entomological Inoculation Rate (EIR)

g = Proporsi penduduk yang positif untuk gamatosit.

($m, a, x, p,$ dan n dalam formula

Teori Ross Macdonald, tahun 1970 sampai sekarang. Teori tersebut dapat digunakan hingga saat ini akan tetapi tidak dengan perumusan matematik secara murni. Bailey 1982, melakukan perumusan secara komprehensif dengan Biomathematic of Malaria, dengan mengembangkan teori Ross-Macdonald yang menyusun formula *Mosquito borne diseases transmission*, dengan SEIR-SEI untuk demam berdarah. Pengembangan dari teori Ross-Macdonald telah dikembangkan oleh Aron dan May, 1982, dengan pendekatan sebagai berikut :

$$\frac{dX}{dt} = mabz (1 - X) - rX$$

$$\frac{dZ}{dt} = ax (1 - z) - gz$$

Model ini mempertimbangkan proses infeksi tapi tidak mempertimbangkan nyamuk yang terinfeksi, sehingga mengabaikan periode laten *plasmodium* dalam tubuh nyamuk. Aron dan may juga membuat model kedua, *delay differential equation* (persamaan deferensial jeda), merupakan model cocok untuk penerapan model Ross-Macdonald.

$$\frac{dx}{dt} = mabz (1 - x) - rx$$

$$\frac{dy}{dt} = ax (1 - y - z) - ax_{t-v} (1 - y_{t-v} - z_{t-v}) e^{-gv} - gy$$

$$\frac{dz}{dt} = ax_{t-v} (1 - y_{t-v} - z_{t-v}) e^{-gv} - gz$$

Hasil review secara keseluruhan dari perkembangan model malaria, Ross sebagai perintis tentang teori penularan penyakit berbasis nyamuk dan kajian matematis untuk penyakit infeksi. Ross sudah mampu prediksi secara kuantitatif tentang perilaku epidemi malaria, terutama dalam kepadatan populasi nyamuk yang dibutuhkan untuk penularan. Pada

dekade berikutnya telah dikembangkan oleh Lotka, Macdonald, Drapper, Davidson, Garret Jones, dimana sebagai dasar adalah teori Ross-Macdonald.

Dalam teori tersebut utamanya adalah model transmisi pada periode waktu sesaat, dan belum dikembangkan untuk periode waktu yang bulanan atau tahunan. Model tersebut yang akan di usulkan dalam model spasial ekologis.

6.5 KONSEP MODEL SPASIAL EKOLOGIS

Model yang akan dirancang dalam spasial ekologi ini adalah model dinamika transmisi malaria. Model ini pengkayaan dari dinamika vektor secara bulanan yang menghasilkan kepadatan vektor oleh pengaruh variabilitas lingkungan. Ditemukanya kepadatan vektor secara periodik musiman akan dimanfaatkan untuk prediksi transmisi malaria. Penggabungan dari model dinamika vektor secara periodik musiman dengan model transmisi malaria, akan ditemukan model baru yaitu dinamikan periodik musiman model transmisi malaria.

Odum T, 1988, dalam sistem ekologi dikembangkan *energitika* dan sistem secara bersama-sama. Sistem lingkungan digunakan untuk menjelaskan jaringan kompleks dari bagian-bagian dan proses proses. Lingkungan memiliki organisme, siklus kimia, air, udara, manusia, mesin, tanah, danau, sungai dan aliran energi lah yang menghubungkan semuanya, termasuk hal-hal yang berkaitan dengan materi dan informasi.

Konsep perumusan model merupakan dasar pengaturan model, kadang-kadang dinyatakan dalam diagram grafis secara umum tidak menyajikan detail komponen atau asumsi yang digunakan. Konseptual model dapat disajikan dalam bentuk peta ringkasan struktur model, input, pernyataan variabel dan output, dan pemanfaatan utama. Sesungguhnya, salah satu aturan kritis konseptual model adalah untuk menyediakan penjabaran yang mudah terlihat untuk pengambilan keputusan, pemangku kepentingan, dan pihak yang tertarik untuk mendalami model, termasuk hubungan fundamental antara model dan bagaimana input memberikan pengaruh pada output. Penetapan model yang dapat digunakan tergantung perumusan permasalahan, dengan memperhitungkan sebagai berikut:

- a. apakah pengetahuan dasar termasuk dalam model
- b. perumusan model tersedia masih ada

- c. apa tingkat *agregasi* tersedia dalam lingkup model
- d. apa variabel yang digunakan
- e. apa variabel yang akan digunakan untuk menyampaikan hasilnya
- f. apa tingkat detail mekanistik yang dibutuhkan

Gambar 6.4 merupakan bagan rancangan model system ekologi dinamika vektor.

6.6 PENYUSUNAN MODEL MATEMATIS

Menggunakan konsep pendekatan Odum dan formula sebelumnya baik Ronald Ross-Macdonald, dan kapasitas vektorial (Garet-Jones) bahwa dalam penularan malaria salah satu faktor pendukung adalah adanya kepadatan vektor malaria untuk menggigit (MBR). Formula sebelumnya tidak dikaji berbagai faktor yang berpengaruh dalam kepadatan vektor ($m.a^2$).

$$h' = [m a^2 . g . x . p^n] / [a . g . x . \ln p]$$

Vektor malaria mengalami dinamika sepanjang tahun sesuai dengan perubahan faktor lingkungan. Hasil penangkapan vektor malaria pun mengalami perubahan dari waktu musim ke musim. Penelitian yang dilakukan secara 4 musim, penghujan (Desember), pancaroba penghujan kemarau (Mei), kemarau (Juli) dan pancaroba kemarau penghujan (Oktober)), menunjukkan dinamika kepadatan vektor malaria. Sesuai dengan model malaria maka E.I.R dipisahkan menurut siklus dalam musiman, EIR musim pancaroba, penghujan dan kemarau. Perbedaan tersebut adalah variabel $m.a$ yaitu kepadatan vektor.

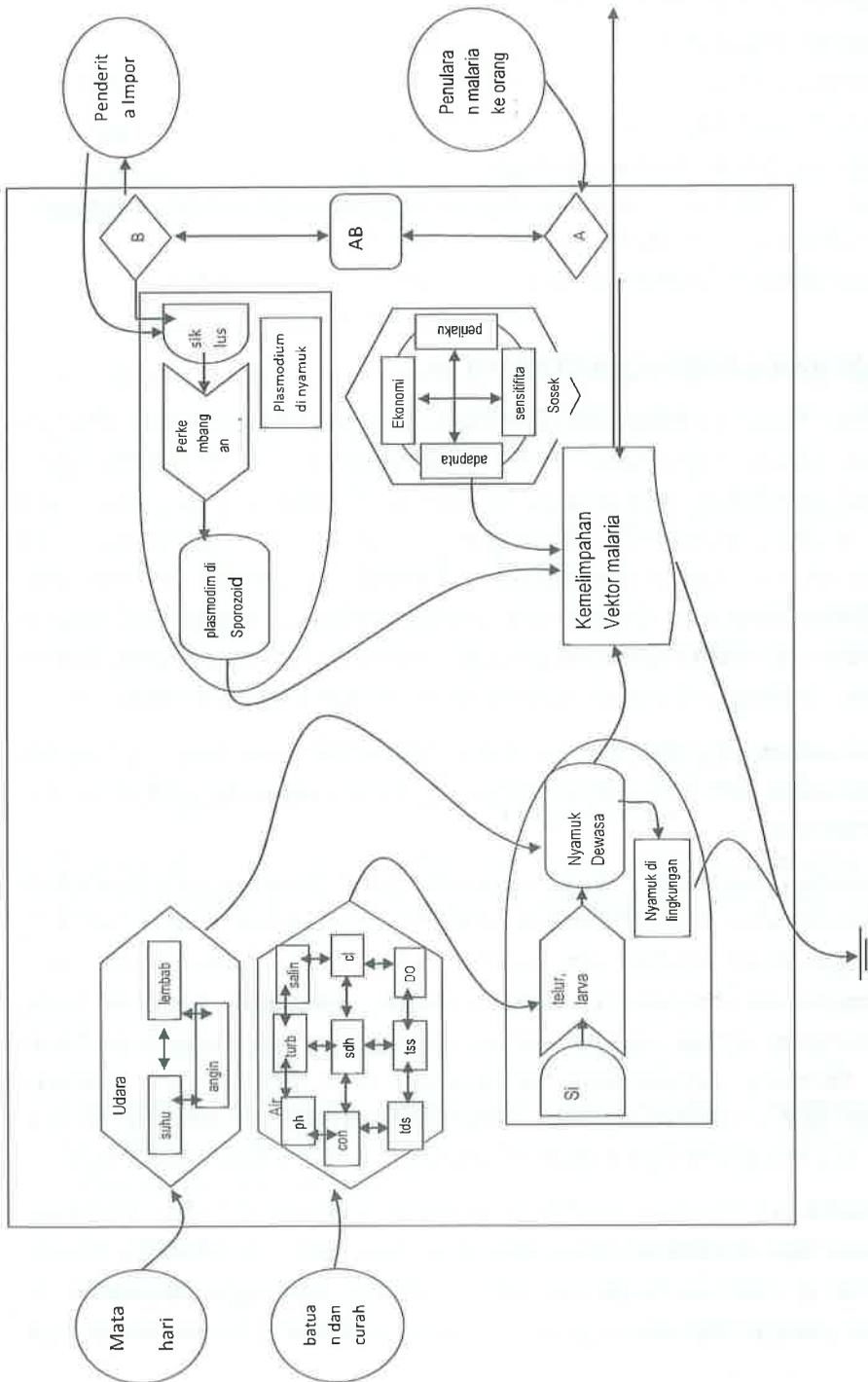
Hasil kajian ini akan menyempurnakan perumusan EIR tersebut dengan menyusun formula matematis untuk kepadatan vektor malaria ($m.a$) yang tergantung dari perubahan musim. Kepadatan vektor dipengaruhi oleh faktor dinamis berupa perubahan cuaca dan perubahan kualitas air. Sehingga dapat dituliskan secara fungsi sebagai berikut.

$$m.a = f(\text{cuaca}) + f(\text{kualitas air breeding})$$

$$\text{cuaca} = f(\text{suhu, kelembaban, angin})$$

$$\text{kual.air} = f(\text{pH, conductivity, TDS, sadah, Chlorida, salinity, DO, keruh})$$

Dengan dinamika variasi musiman maka akan ditemukan ($m.a$) untuk keempat musim. Selengkapnya disajikan di Gambar 6.4.



Gambar 6.4 Rancangan skema model sistem ekologi dinamika vektor malaria

Keterangan :

- A. Ekosistem Wilayah
- B. Determinan Matrik
- C. Konsep Spasial Ekologis
- D. Merancang Model Spasial Ekologis
- E. Prediksi Kepadatan Vektor Malaria oleh Perubahan Kualitas Lingkungan
- F. Sistem Peringatan Dini Pengendalian Malaria
- G. Aplikasi Sistem Peringatan Dini

6.7 TIPOLOGI MODEL MATEMATIS

Vektor malaria mengalami dinamika sepanjang tahun sesuai dengan perubahan faktor lingkungan. Hasil penangkapan vektor malaria pun mengalami perubahan dari musim ke musim. Penelitian yang dilakukan secara 4 musim, pancaroba penghujan kemarau (Mei), kemarau (Juli) dan pancaroba kemarau penghujan (Oktober), penghujan (Desember), menunjukkan dinamika kepadatan vektor malaria. Kepadatan vektor dipengaruhi oleh faktor dinamis berupa perubahan cuaca dan perubahan kualitas air. Sehingga dapat dituliskan secara fungsi sebagai berikut.

$m.a = f(\text{kualitas air breeding}) + f(\text{suhu, kelembaban, angin}) + f(\text{kualitas air terdiri dari (pH, conductivity, TDS, sadah, chlorida, salinitas, DO, kekeruhan)})$.

Penentuan besarnya $f(\text{kualitas udara})$ dan $f(\text{kualitas air})$ dilakukan dengan pendekatan DETERMINAN MATRIK pengolahan hasil penelitian yang menghasilkan kualitas air, kualitas udara dan kepadatan nyamuk. Hasil pengolahan dengan determinan matrik dihasilkan formula yang menghubungkan antara variabel kualitas air, kualitas udara dan kepadatan nyamuk. Simulasi pengolahan berdasarkan data pengukuran kualitas lingkungan dan kepadatan nyamuk menghasilkan koefisien tipologi medel. Tabel 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 menghasilkan nilai koefien yang untuk selanjutnya

Dihasilkan 12 tipologi prediksi kepadatan vektor, terdiri dari 3 tipologi berdasarkan tipe ekosistem dan 4 musim selama kurun waktu satu tahun. Setiap tipologi memiliki 1 persamaan matematis, sehingga dihasilkan 12 persamaan yang terdiri dari 4 periode musim sepanjang tahun, untuk tiga

kelompok ketinggian yaitu wilayah 0-200 mdpl, 200-400 mdpl dan 400 - lebih dari 700 mdpl. Persamaan yang dihasilkan untuk menentukan besarnya m (kepadatan vektor) adalah sebagai berikut.

1. **Tipologi -1**, kepadatan vektor (m) pada musim **pancaroba penghujan-kemarau**, untuk wilayah dengan **ekosistem dataran** (ketinggian 0-200 mdpl), diperoleh kepadatan vektor (m).

$$m = -2,116X_1 + 0,066X_2 - 0,022X_3 + 477,9X_4 + 0,547X_5 - 0,118X_6 - 0,003X_7 + 0,054X_8 + 0,058X_9 + 0,059X_{10} + 1,83X_{11} \quad (4.1)$$

2. **Tipologi-2**, kepadatan vektor (m) pada musim **pancaroba penghujan-kemarau** untuk **ekosistem perbukitan** (wilayah dengan ketinggian 200-400 mdpl), diperoleh kepadatan vektor (m).

$$m = 0,002X_1 - 0,005X_2 + 0,019X_3 + 69,26X_4 - 0,13X_5 - 0,036X_6 - 0,007X_7 - 0,005X_8 - 0,047X_9 + 0,026X_{10} - 0,020X_{11} \quad (4.2)$$

3. **Tipologi-3**, kepadatan vektor (m) pada musim **pancaroba penghujan-kemarau** untuk **ekosistem pegunungan** (wilayah dengan ketinggian 400- lebih dari 700 m dpl.)

$$m = 0,726X_1 + 0,020X_2 - 0,068X_3 - 152,38X_4 + 0,123X_5 + 0,068X_6 + 0,026X_7 + 0,012X_8 - 0,106X_9 - 0,044X_{10} + 3,206X_{11} \quad (4.3)$$

4. **Tipologi-4**, kepadatan vektor (m) pada **musim kemarau**, untuk **ekosistem dataran** wilayah dengan ketinggian 0-200 mdpl, diperoleh kepadatan vektor (m).

$$m = 2,857X_1 - 0,507X_2 - 0,21X_3 + 1290,77X_4 - 0,355X_5 - 0,008X_6 + 0,02X_7 + 0,182X_8 + 0,381X_9 - 0,342X_{10} + 1,121X_{11} \quad (4.4)$$

5. **Tipologi-5**, kepadatan vektor (m) pada **musim kemarau** untuk **ekosistem perbukitan** wilayah dengan ketinggian 200-400 mdpl, diperoleh kepadatan vektor (m).

$$m = -29,675X_1 + 6,892X_2 - 0,065X_3 + 1513,35X_4 + 13,074X_5 - 5,866X_6 - 0,523X_7 + 1,225X_8 + 5,062X_9 + 0,422X_{10} - 13,394X_{11} \quad (4.5)$$

6. **Tipologi-6**, kepadatan vektor (m) pada **musim kemarau** untuk **ekosistem pegunungan** wilayah dengan ketinggian 400- lebih dari 700 mdpl.

$$m = 0,434X_1 - 0,065X_2 + 0,015X_3 + 218,026X_4 - 0,670X_5 - 0,101X_6 - 0,16X_7 + 0,007X_8 + 0,263X_9 - 0,049X_{10} - 0,824X_{11} \quad (4.6)$$

7. **Tipologi-7**, kepadatan vektor (m) pada musim **pancaroba kemarau-penghujan**, untuk **ekosistem dataran** wilayah dengan ketinggian 0-200 mdpl, diperoleh kepadatan vektor (m).

$$m = 0,167X_1 - 0,063X_2 + 0,008X_3 + 83,06X_4 - 0,05X_6 - 0,043X_7 + 0,006X_8 - 0,018X_9 - 0,03X_{10} + 0,002 X_{11} + 0,026X_{12} \quad (4.7)$$

8. **Tipologi-8**, kepadatan vektor (m) pada musim **pancaroba kemarau-penghujan** untuk **ekosistem perbukitan** wilayah dengan ketinggian 200-400 m dpl, diperoleh kepadatan vektor (m).

$$m = -1,18X_1 + 0,107X_2 + 0,002X_3 - 245,53X_4 + 0,013X_5 + 0,058X_6 + 0,004X_7 - 0,004X_8 - 0,001 X_9 + 0,084 X_{10} + 0,529X_{11} \quad (4.8)$$

9. **Tipologi-9**, kepadatan vektor (m) pada musim **pancaroba kemarau-penghujan** untuk **ekosistem pegunungan** wilayah dengan ketinggian 400- lebih dari 700 m dpl.

$$m = 0,027X_1 + 0,059X_2 - 0,072X_3 + 1981,63X_4 - 1,573X_5 - 0,591X_6 - 0,047X_7 + 0,123X_8 + 0,587X_9 - 0,012 X_{10} - 0,734X_{11} \quad (4.9)$$

10. **Tipologi-10**, kepadatan vektor (m) pada musim **penghujan**, untuk **ekosistem dataran** wilayah dengan ketinggian 0-200 m dpl, diperoleh kepadatan vektor (m).

$$m = 0,042X_1 - 0,034X_2 + 0,023CX_3 + 51,936X_4 - 0,125X_5 - 0,061X_6 + 0,005X_7 - 0,03X_8 + 0,087X_9 - 0,025 X_{10} - 0,180X_{11} \quad (4.10)$$

11. **Tipologi 11**, kepadatan vektor (m) pada **musim penghujan** untuk **ekosistem perbukitan** wilayah dengan ketinggian 200-400 m dpl, diperoleh kepadatan vektor (m).

$$m = 1,219X_1 - 0,051X_2 - 0,119X_3 + 2.604,04X_4 - 0,277X_5 - 1,2840X_6 + 0,003X_7 + 0,138X_8 - 0,381X_9 + 0,061 X_{10} + 0,347X_{11} \quad (4.11)$$

12. **Tipologi 12**, kepadatan vektor (m) pada musim penghujan untuk ekosistem pegunungan, wilayah dengan ketinggian 400- lebih dari 700 m dpl.

$$m = +0,346 X_1 - 0,003X_2 + 0,03X_3 - 1,646,48X_4 - 0,719X_5 + 0,718X_6 - 0,026X_7 + 0,014X_8 + 0,112X_9 + 0,010X_{10} - 0,269X_{11} \quad (4.12)$$

Keterangan :

m = kepadatan vektor (nyamuk/orang/jam)

X_1 = pH

X_2 = kekeruhan (NTU)

X_3 = TDS (mg/lit)

X_4 = salinitas (‰)

X_5 = DO (mg/lit)

X_6 = Chlorida (mg/lit)

X_7 = conductivity (µmhos/cm)

X_8 = kesadahan (mg/litCaCO₃)

X_9 = suhu udara (°C)

X_{10} = kelembaban udara(%)

X_{11} = kecepatan angin (km/jam)

Tabel 6.2 Perhitungan Matriks dengan Eliminasi Gaussian Periode Mei (Pancaroba) Pengujian - Kemarau

Koefisien determinan: anabol

No	Lokasi/Desa	Kelembaban: angka	Kualitas Air Existing Place						Kualitas Udara			variabel	koefisien		
			pH	Keuh NTL	TDS mg/lit	Salin hm	DO mg/lit	Chlorida mg/lit	Cerduct pphost/cm	sadakh mg/lit	suhu °C			lembab %RH	angin km/jam
1	Baeleer	<100	8,2	14	164	0,0073	1	12	324	132,83	30	73	2,85	0,02	-2,116
2	Dudarep	<100	7,8	2	186	0,0076	5,1	8	305	149,23	26,5	92	1,08	0,00	0,066
3	Kaliranda	<100	7,8	41	59	0,0084	4,5	13	108	31,54	30	73	1,5	0,35	-0,032
4	Kapitaban	<100	6,1	3	103	0,0048	1,7	17	224	97,51	29,5	73	2,5	0,00	4,77944
5	Nandungan	<100	6,8	29	95	0,002	4	4	168	45,77	31	73	2,16	0,00	0,347
6	Bleber	<100	3,9	4	57	0,002	3,5	4	15,5	62,68	25	59	1,05	0,04	-0,118
7	Kalharjo	<100	6,3	2	189	0,0033	2	10	325	143,15	31	80	1,5	0,25	-0,003
8	Keluhirp	<100	6,6	4	69	0,0076	3,3	13	130	35,8	30	76	1,8	0,04	0,034
9	Kelondang	100-200	6,5	21	103	0,0076	4,3	3	211	97,51	27,5	52	1,44	0,71	0,056
10	Sonaler	100-200	6,9	31	301	0,0033	2,9	10	311	56,72	25,5	58	2,16	0,27	0,056
11	Kedunggebah	100-200	6,7	22	64	0,0021	4	6	133	50,74	30	53	1,44	0,02	1,530
12	Solongang	100-200	7,4	2	195	0,0021	4,5	6	401	154,05	26,5	53	1,05	0,00	0,002
13	Papasari	100-200	7,2	1	137	0,0054	3,3	14	373	300,3	31	52	1,44	0,00	-0,003
14	Medeno	200-300	7,2	2	296	0,0021	2,4	3	392	175,11	38	52	1,5	0,40	0,291
15	Kelidaguh	200-300	3,9	48	53	0,0054	2,7	14	165	44,78	30	73	1,44	0,17	-0,150
16	Kedung Panjukul	200-300	6,1	9	137	0,0034	4,4	6	351	81,64	26	71	2,52	0,02	-0,036
17	Pekalongan	200-300	7,3	7	92	0,0021	4,4	6	160	66,66	28	73	2,16	0,13	-0,007
18	Pesidhargati	200-300	6,6	4	95	0,0021	4,5	6	124	44,75	25	73	2,16	0,05	-0,003
19	Cacaban Lor	300-400	7,6	3	91	0,0073	4,2	12	156	66,66	30	76	1,5	0,35	-0,003
20	Duriansari	300-400	7,6	2	95	0,002	3,6	4	190	51,59	25	78	2,16	0,00	-0,047
21	Cepudak	300-400	7	29	172	0,0163	1,9	30,5	351	114,42	25	72	1,5	0,04	0,026
22	Puppo	300-400	6,9	6	86	0,0055	6,2	10	150	56,72	26,3	54	1,44	0,00	-0,020
23	Ngaran	400-500	6,4	1	160	0,0021	2,6	6	310	100,3	28	52	1,08	0,21	0,726
24	Gurba	400-500	7,7	13	143	0,0173	5,2	20	354	103,45	29	53	1,05	0,02	0,020
25	Hardi anitro	400-500	6,6	1	168	0,0021	3,1	3	278	141,29	26	52	1,44	0,17	-0,065
26	Wengado	400-500	6,3	3	67	0,0009	3,1	3	141	65,65	26	71	1,5	3,53	-152,380
27	Ngarire	500-600	6,8	11	144	0,0034	3,7	9	236	111,44	29	53	1,44	0,50	-0,113
28	Nasaban	500-600	3,6	2	43	0,002	3	4	91	28,56	26,5	92	1,08	0,04	0,065
29	Pambone	500-600	6,2	10	130	0,0073	1,9	21,22	252	105,46	29	53	1,5	0,10	0,026
30	Wahandaru	500-600	6,9	2	93	0,0154	6,2	39,9	157	59,7	29	79	1,05	0,15	0,012
31	Bencro	600-700	7,4	3	59	0,0021	6,1	6	146	47,76	23,5	96	1,08	0,06	-0,106
32	Dorone	600-700	6,8	1	193	0,0026	1,3	7	604	154,05	28	78	1,05	0,02	-0,044
33	Gumugwang	600-700	6,1	3	36	0,0021	4,6	3	113	31,54	27	59	1,08	0,04	3,206
34	Plogowu	>700	6,6	1	143	0,0023	2,4	10	257	116,09	27	52	1,08	0,02	

Tabel 6.3 Perhitungan Matriks dengan Eliminasi Gaussian Periode Juli (Kemarau)

Koef. Determinan: Matriks

No	Lokasi/Desa	Kebingunan m ² /pal	Kualitas Air Breeding Place										Kualitas Udara				variabel	koefisien	
			pH	Keruh	TDS	Solan	DO	Coliform	amoniak	swaduk	subu	jembab	angin	kepadatan	angin	kepadatan			reaktor
			NS	NTU	mg/lr	%	mg/ltr	mg/ltr	mg/ltr	mg/ltr	mg/ltr	mg/ltr	mg/ltr	mg/ltr	% RH	km/jam	kg/m ³		
1	Pongolen	<100	7.5	12	175	0.006	4	25.4	361	107.91	28	72	2.16	0.00				pH	2.55
2	Dudalejo	<100	7.2	2	204	0.004	2.4	6	306	151.47	26	55	2.55	0.00				Keruh	-0.307
3	Kabwadan	<100	8.4	3	117	0.002	6.1	4	175	73.26	28	53	2.32	0.68				TDS	-0.210
4	Kapiteran	<100	8.2	21	62	0.001	6	2	195	77.22	25	72	1.08	0.13				Solan	1.501774
5	Nyandangyan	<100	7.4	2	115	0.001	5.2	2	172	94.03	27	55	1.44	0.10				DO	-0.353
6	Pipit	<100	6.3	2	128	0.001	4.6	8	192	97.49	30	66	1.08	3.55				Chlorida	-0.008
7	Kalahari	<100	6.8	3	135	0.001	4.7	2	251	125.73	47	57	2.33	1.81				Kanduct	0.027
8	Kalimip	<100	7.3	6	87	0.002	4.7	4	131	59.4	25	53	2.32	0.02				Saduk	0.152
9	Kakandang	100-200	7.4	5	146	0.002	3.5	5	219	114.54	26	58	5.96	0.44				Suhu	0.381
10	Semalar	100-200	6.5	5	205	0.003	3.9	7	434	116.82	31	61	1.05	0.13				Lembab	-0.342
11	Keduranghah	100-200	6.1	6	106	0.004	4.8	9	213	91.08	22	54	1.5	0.00				Angin	2.121
12	Sekagang	100-200	8.3	2	310	0.003	5.7	7	464	240.37	25	53	1.05	0.23				pH	29.673
13	Teparasan	100-200	6	2	166	0.007	6.8	15	249	118.59	26	77	1.08	0.68				Keruh	6.891
14	Nadeno	200-300	7	1	222	0.002	2.7	2	333	172.73	27	55	1.44	0.33				TDS	-0.085
15	Kalidagah	200-300	7.3	2	147	0.002	3.9	2	222	93.48	27	71	1.05	1.45				Solan	1513.338
16	Kedang Pem. hulu:	200-300	7.4	10	109	0.003	4.1	7	164	72.27	27	55	3.24	0.02				DO	13.074
17	Pekantangan	200-300	5	3	129	0.003	3.6	6	192	92.07	25	57	2.52	0.06				Chlorida	-3.868
18	Sendangtan	200-300	7.8	4	94	0.001	5.6	3	141	67	27	71	2.32	0.04				Kanduct	-0.323
19	Cacaban Lor	300-400	8.3	3	135	0.003	6	6	207	112.2	27	55	1.08	0.31				Saduk	1.225
20	Durewati	300-400	5.1	2	234	0.002	3.7	5	159	109.89	25	54	1.44	0.10				Suhu	5.065
21	Cepedal:	300-400	7.2	15.3	157	0.002	2	6	364	116.82	32	62	1.5	0.44				Lembab	0.422
22	Pispe	300-400	7.2	3	93	0.002	3	3	186	77.22	31.5	65	1.5	0.02				Angin	-13.364
23	Nganat	400-500	6.2	1	108	0.001	2.7	3	233	96.02	27	53	1.44	0.02				pH	0.434
24	Guntur	400-500	5	4	169	0.002	5.9	4	253	140.58	26	54	1.44	0.19				Keruh	-0.063
25	Hardi mudo	400-500	6.4	1	246	0.001	2	1.7	406	224.72	27	53	3.6	0.00				TDS	0.015
26	Wenasido	400-500	6.7	1	121	0.001	3.4	3	182	91.08	26	59	1.08	1.32				Solan	2.15026
27	Nendrijo	500-600	7.2	14	151	0.01	4.6	2	343	135.45	25	53	1.5	0.02				DO	-0.670
28	Ngrayan	500-600	6	9	37	0.003	4.5	5	37	25.74	26	71	2.32	0.02				Chlorida	-0.101
29	Purwokerto	500-600	6.3	3	257	0.018	2.3	56.6	454	154.14	25	53	1.5	0.02				Kanduct	-0.016
30	Wahaduwur**	600-700	7.1	6	125	0.002	4.7	3	235	105.9	31	67	1.6	1.66				Saduk	0.007
31	Beawo	600-700	7	1	44	0.001	4.5	2	66	34.65	23	54	1.5	0.02				Suhu	0.265
32	Dronowo	600-700	6.6	1	357	0.001	2.3	1.7	567	73.25	27	55	1.08	0.02				Lembab	-0.049
33	Gunungwangi	600-700	6.4	3	48	0.001	6	1.7	53	34.65	27	55	1.05	0.27				Angin	-0.522
34	Tlogorejo	>700	6.1	2	132	0.002	2.4	6	274	118.5	25	53	1.5	0.05					

Tabel 6.4 Perhitungan Matriks dengan Eliminasi Gaussian Periode Oktober (Pancaroba Kemarau penghujan)

No	Lokasi/Desa	Ketinggian mdpl	Kualitas Air Bending Place										Kualitas Udara			varianbel	kebiasaan
			pH	keruh NTU	TDS mg/lit	Sulfit %	DO mg/lit	Chlorida mg/lit	Conduct µmhos/cm	sedah mg/lit	suhu °C	lembab % RH	angin kri/jam	kepadatan vakter			
1	Begelben	<100	6.1	3.0	163.0	0.0	3.1	19.0	274.0	135.7	25.0	72.0	2.1	0.06			
2	Dudarejo	<100	7.0	1.0	154.0	0.0	6.4	13.1	308.0	187.7	29.0	79.0	5.6	0.00			
3	Kalivader	<100	6.9	10.0	120.0	0.0	6.1	10.0	249.0	73.6	19.0	72.0	2.3	0.15			
4	Kapleran	<100	7.6	2.0	116.0	0.0	6.0	4.0	226.0	102.3	28.0	78.0	1.3	0.21			
5	Nendangrang	<100	7.3	5.0	268.0	0.0	2.1	6.0	455.0	254.3	32.0	72.0	3.5	0.00			
6	Bleker	<100	5.6	1.0	89.0	0.0	5.1	4.9	186.0	76.2	27.0	74.0	3.3	0.19			
7	Kadharo	<100	7.0	19.0	137.0	0.0	2.3	3.0	315.0	112.2	25.0	65.0	7.4	0.00			
8	Kahup	<100	6.0	8.0	74.0	0.0	3.7	4.0	134.0	40.5	30.5	70.0	1.5	0.02			
9	Kaligondang	100-200	7.2	10.0	160.0	0.0	4.1	6.0	300.0	113.1	31.0	67.0	1.9	0.13			
10	Sobarangang	100-200	6.3	2.0	133.0	0.0	2.3	15.4	235.0	122.2	25.0	72.0	2.5	0.21			
11	Tepanani	100-200	5.9	1.0	229.0	0.0	4.1	20.0	471.0	119.2	32.5	60.0	2.1	1.90			
12	Sonoreja	100-200	7.5	2	130	0.001	3.0	7	451	132.21	31	61	4.36	0.45			
13	Kedunggrubuh	100-200	6.7	2	121	0.001	3.4	9	234	97.02	29	99	3.5	0.06			
14	Kaligajah	200-300	7.1	7	225	0.001	3.6	1.7	463	64.27	30	73	2.84	2.02			
15	Kedung Ponjalon	200-300	7.2	13	121	0.006	2.4	14	236	103.32	29	72	1.87	0.23			
16	Pekacangan	200-300	7.2	4	126	0.004	4.2	10	259	110.4	29	72	2.29	0.02			
17	Sendangmasi	200-300	7.2	5	90	0.002	6.4	4	137	33.33	33	52	2.84	0.00			
18	Cakotan Loi	200-300	7.6	2	129	0.001	6.9	9	268	114.2	29	72	4.09	0.29			
19	Durenan	300-400	7.2	2	131	0.004	4.3	8	223	112.11	28	72	3.74	0.05			
20	Lepadak	300-400	7.2	1	147	0.002	3.9	3	259	136.68	32	62	4.48	0.06			
21	Medawe	300-400	6.2	1	157	0.001	4.4	4	283	171.14	29	72	2.34	0.53			
22	Purpe	300-400	7.1	2	123	0.001	6.5	2	259	109.54	30	73	2.43	0.04			
23	Nearu	400-500	6.2	1	114	0.001	5.2	4	239	95.04	29	60	4.73	0.04			
24	Guntan	400-500	7.2	2	160	0.002	5.3	4	241	145.44	29	60	6.66	0.00			
25	Hardi mure	400-500	7.2	4	137	0.001	2.7	3	297	132.66	27	65	4.32	0.04			
26	Wendado	400-500	6.4	3	109	0.002	3.7	4	209	87.87	25	78	4.48	1.40			
27	Nyadario	500-600	7.1	19	192	0.001	5.9	3	342	172.26	30	60	2.1	0.50		1952.631	
28	Nyastara	500-600	4.5	3	62	0.002	4.3	3	131	24.88	26.5	77	2.16	0.06			
29	Furbovone	500-600	7.2	3	236	0.017	4.6	40.9	477	212.55	25	63	5.06	0.00			
30	Widhadur	500-600	7.4	19	133	0.001	6.2	4	282	117.16	31	35	2.28	1.40			
31	Perawo	600-700	6.5	85.5	62	0.001	6.1	3	130	85.5	26.5	73	2.26	0.33			
32	Doroepi	600-700	6.6	5	213	0.001	3.3	6	397	206.91	27	71	2.88	0.05			
33	Sungayawangi	600-700	5.3	2	37	0.001	6	4	126	31.68	27	63	2.02	0.00			
34	Topogawo	>700	5.9	1	134	0.001	3.1	9	233	122.76	27	71	3.5	0.00			

Koeff.determinasi: 0,4486

Tabel 6.5 Perhitungan Matriks dengan Eliminasi Gaussian Periode Desember (Pengujian)

Keef determinan matriks

No	Lokasi/Desa	Kebinghitan mtp/d	Kualitas Air Breeding Place						Kualitas Udara				Repadatan vektor	variabel	koefisien	
			pH	Kesuh NTU	TDS mg/lr	Seluh %	DO mg/lr	Chlorida mg/lr	Conduct Lemonis/cm	seduh mg/lr	subu °C	lembab %				angin km/jam
1	Bagehen	<100	5,9	6,0	120,0	0,003	6,1	7,0	233,0	105,3	30,0	55,0	1,4	0,27	pH	0,042
2	Dadhup	<100	6,1	9,0	126,0	0,004	4,8	5,0	265,0	110,6	27,0	89,0	1,4	0,02	Turbiditi	-0,054
3	Kaliradad	<100	6,5	13,0	109,0	0,002	6,9	4,0	109,0	46,8	25,5	93,0	1,6	0,19	IDS	0,023
4	Kalipitum	<100	5,0	5,0	88,0	0,001	6,5	1,7	134,0	69,7	28,0	85,0	1,2	0,21	Seluh	31,936
5	Ngarayangar	<100	6,3	6,0	31,0	0,003	3,9	5,0	106,0	42,2	30,0	73,0	3,8	0,04	DO	-0,1125
6	Bleber	<100	7,1	2,0	92,0	0,001	5,2	3,0	136,0	37,7	27,0	55,0	2,5	0,33	Chloride	-0,061
7	Kalibarye	<100	6,3	12,0	142,0	0,001	4,1	2,0	297,0	119,8	25,5	93,0	1,9	0,19	Conductiviti	0,005
8	Kalunip	<100	5,9	4,0	72,0	0,002	2,3	5,0	107,0	45,5	25,0	91,0	2,3	0,02	Seduh	-0,0380
9	Kalibondang	100-200	7,5	14,0	90,0	0,002	3,1	4,0	151,0	80,4	29,0	72,0	3,6	0,02	Lembab	-0,0025
10	Sombelur	100-200	6,7	4	111	0,003	3,9	7	254	106,53	29,5	75	2,01	0,73	Subu	0,087
11	Kedunggeubak	100-200	7	36	129	0,002	5,9	4	247	65,35	24,5	92	1,7	0,04	Angin	-0,180
12	Selombang	100-200	6,0	4,0	126,0	0,005	4,7	11,0	268,0	102,5	26,0	84,0	1,5	0,31	pH	1,219
13	Teparant	100-200	6,3	2,0	110,0	0,003	2,7	16,0	110,0	91,5	29,0	79,0	2,4	1,54	Turbiditi	-0,031
14	Medene	200-300	6,9	1	225	0,001	3,1	2	336	163,17	27	89	4,14	0,67	IDS	-0,1119
15	Kaligalah	200-300	7,1	6	54	0,001	6,3	2	109	45,23	26	71	1,05	1,54	Seluh	2,604041
16	Keting Pant Kuden	200-300	6,3	28	97	0,002	5,3	4	163	79,8	26,5	73	3,65	0,00	DO	-0,2277
17	Pekacangan	200-300	7,2	5	78	0,001	6,9	3	116	52,74	35	91	1,3	0,00	Chlorida	-1,2584
18	Bentengeni	200-300	7,4	58	61	0,001	5,3	3	91	42,79	34,5	91	4,34	0,02	Conductiviti	0,005
19	Cacaban Ler	300-400	7	10	89	0,002	7	3	133	59,6	24,5	87	3,59	0,15	Seluh	0,138
20	Durenani	300-400	5,9	10	80	0,003	7	7	165	64,32	26	100	1,22	0,00	Subu	-0,3391
21	Cepedak	300-400	7,2	12	141	0,005	2,5	10	298	100,2	30,5	70	3,56	0,10	Lembab	0,061
22	Furpo	300-400	6,5	6	35	0,001	6,3	5	116	45,24	29,5	75	3,59	0,00	Angin	0,3427
23	Nyatan	400-500	6,2	1	116	0,002	4,4	3	246	84,42	23,5	96	2,84	0,15		
24	Gaur	400-500	6,1	27	77	0,001	6,7	2	142	63,31	25	100	1,26	0,02	pH	0,346
25	Hardi anubo	400-500	6,6	1	209	0,001	5	2	407	197,99	25,5	96	1,77	0,21	Turbiditi	-0,002
26	Wenendo	400-500	7,7	3	74	0,001	6,6	17	133	63,32	26	84	1,42	0,44	IDS	0,030
27	Naktreje	500-600	7	1	63	0,001	6	2	132	55,27	25,5	82	1,3	0,45	Seluh	-1,6464855
28	Nyatan	500-600	4,3	4	39	0,002	5,5	4	51	35,18	28	62	2,03	0,08	DO	-0,719
29	Parbocone	500-600	6,4	13	120	0,006	6,1	15	251	91,48	23	96	2,21	0,10	Chlorida	0,715
30	Waduhur	600-700	7,3	4	136	0,002	5,9	3	246	105,53	29,5	75	3,75	0,60	Conductiviti	-0,026
31	Bearee	600-700	7,3	2	42	0,001	6,9	17	64	28,56	22,5	97	2,41	0,04	Seduh	0,014
32	Dondroje	600-700	6,7	1	213	0,004	2,5	8	456	197,47	22,5	97	1,56	0,17	Subu	0,112
33	Gurungangi	600-700	6,5	3	48	0,001	7,4	3	98	32,26	24	84	1,3	0,02	Lembab	0,010
34	Tesepature	>700	6,2	1	135	0,002	5,4	5	253	109,53	23,5	96	1,5	0,10	Angin	-0,269

6.6 HASIL KOMPUTASI MODEL VARIABILITAS VEKTOR MALARIA

Perumuskan model dengan melakukan translasi (merubah) asumsi yang dibangun menjadi perumusan matematik, dengan menemukan detail susunan model dan melakukan pengkodean model yang dihasilkan. Komputasi model dilakukan dengan 2 perangkat pendukung yaitu dengan memanfaatkan *spreadsheet microsoft EXCEL* dan model dengan menggunakan ARC-GIS. Hasil pemodelan tersebut adalah sebagai berikut.

1. Model Variabilitas Kepadatan Vektor Musiman

Model variabilitas kepadatan vektor dipengaruhi oleh variabilitas kualitas air dan kualitas udara. Model ini dibuat dengan tahapan sebagai berikut.

- a. Memasukan formula matematis yang dihasilkan dari analisis diterminan (rumus 1 sampai dengan 12, sub bab 4.10.4) kedalam spreadsheet EXCEL.
- b. Memasukan data kualitas air dan kualitas udara, untuk setiap musim dan setiap kelas ketinggian. Data-data tersebut digunakan untuk melakukan ujicoba dari formulasi yang dihasilkan.
- c. Melakukan ujicoba model yang dihasilkan dan membandingkan dengan data lapangan.
- d. Menyusun hasil simulasi dengan menggunakan grafik
- e. Melakukan intepretasi hasil simulasi dan menterjemahkan ke dalam peta, untuk mengetahui wilayah sebaran kepadatan vektor, dengan menggunakan ARC-GIS.
- f. Simulasi dengan menggunakan excel ini akan menghasilkan 2 tampilan yaitu dalam bentuk grafik dan bentuk peta secara spasial. Terdapat 12 persamaan matrik yang menggambarkan pengaruh kualitas lingkungan terhadap kepadatan vektor malaria. Kualitas lingkungan terdiri dari kualitas air (parameter pH, kekeruhan, TSS, salinitas, DO, daya hantar listrik, chlorida, dan kesadahan). Kualitas Udara terdiri dari (suhu, kelembaban, kecepatan angin).

Model yang dihasilkan sebagaimana dalam Gambar 6.5. Gambar model tersebut terdiri dari 4 bagian yaitu bagian yang saling berhubungan.

Pada sheet tersebut juga berhubungan dengan sheet lain untuk mengolah data. Ketiga bagian tersebut adalah sebagai berikut.

i) **Bagian Data**

Bagian ini berisi 12 kelompok kualitas air dan udara, untuk 3 kelas ketinggian dan 4 musim. Bagian ini yang akan digunakan untuk melakukan simulasi, dan mengetahui kepadatan vektor yang dihasilkan. Data kualitas air dan udara, dapat dilakukan simulasi dan akan diketahui perkembangan kepadatan vektor setiap musim.

ii) **Bagian Hasil Simulasi Kepadatan Vektor**

Bagian ini merupakan hasil perhitungan kepadatan vektor untuk setiap kelas, selama 4 periode musim, yaitu pancaroba penghujan kemarau, kemarau, pancaroba kemarau penghujan dan musim penghujan.

iii) **Bagian Penampilan Grafis**

Bagian ini merupakan visualisasi hasil perhitungan dalam bentuk grafis. Grafis akan memudahkan dalam melakukan analisis hasil simulasi, terutama dalam dinamika kepadatan vektor setiap musim.

iv) **Bagian Spasial Hasil Simulasi**

Bagian ini merupakan bentuk penggambaran secara spasial hasil perhitungan kepadatan vektor. Penggambaran dilakukan untuk 4 periode musim, akan dihasilkan tingkat kepadatan vektor malaria pada setiap wilayah.

2. Intepretasi Model

Hasil dari simulasi dengan memasukan data kualitas air dan kualitas udara menghasilkan kepadatan vektor sebagai berikut.

i) **Pada wilayah ekosistem dataran dengan kelas ketinggian 0-200 mdpl**

Pada wilayah dengan ketinggian 0-200 mdpl, memiliki kualitas air dan kualitas udara yang mengalami perubahan setiap musim. Sebagai contoh pH mengalami perubahan dari 7,6 (pancaroba penghujan kemarau), menjadi 8,5 (kemarau), 6,9 (pancaroba kemarau penghujan), dan meningkat menjadi 8,0 (musim penghujan). Begitu pula dengan parameter kualitas air dan kualitas udara yang lain juga terdapat variasi antar musim.

Variabilitas kualitas air dan kualitas udara menghasilkan kepadatan vektor yang juga mengalami variasi setiap musim. Kepadatan vektor yang

dihasilkan 0,58 vektor/orang/jam pada pancaroba penghujan kemarau. Kepadatan vektor tersebut mengalami penurunan hingga menjadi 0,13 vektor/orang/jam, pada musim kemarau. Pada musim pancaroba antara musim kemarau ke musim penghujan, kepadatan vektor meningkat menjadi 0,15 vektor/orang/jam. Kepadatan ini mengalami peningkatan menjadi sekitar 0,21 pada musim penghujan.

Hasil tersebut memberikan gambaran bahwa pada musim pancaroba penghujan kemarau merupakan puncak kepadatan vektor. Kepadatan vektor yang tinggi memiliki peningkatan risiko penularan malaria.

ii) Pada wilayah ekosistem perbukitan dengan kelas ketinggian 200-400 mdpl

Dinamika kualitas air dan kualitas udara juga terjadi pada wilayah dengan ketinggian 200-400 mdpl. Meskipun tidak setinggi pada wilayah dengan ketinggian 0-200 mdpl, akan tetapi juga terjadi variabilitas kualitas. Sebagai contoh derajat keasaman (pH), selama 4 periode pergantian musim terjadi variabilitas dari 7,6 (pancaroba), 7,1 (kemarau), 7,1 (pancaroba) dan turun menjadi 6,6 (penghujan).

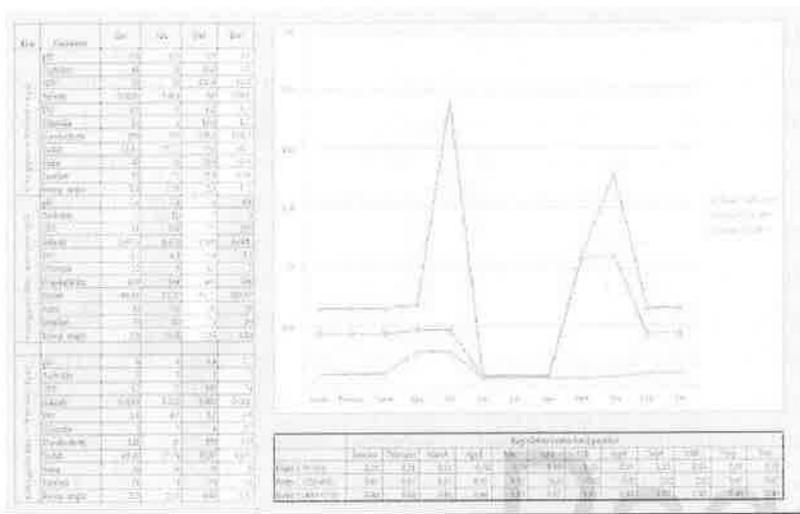
Kepadatan vektor juga mengalami perubahan variabilitas. Pada musim pancaroba penghujan kemarau kepadatan vektor sebesar 0,35 vektor/orang/jam. Kepadatan tersebut mengalami penurunan menjadi 0,02 vektor/orang/jam pada musim kemarau. Kepadatan meningkat secara tajam menjadi 2,02 vektor/orang/jam pada musim pancaroba kemarau penghujan. Pada musim penghujan kepadatan mengalami penurunan menjadi 0,67 vektor/orang/jam.

iii) Pada wilayah ekosistem pegunungan dengan kelas ketinggian 400- lebih dari 700 mdpl

Pada kelas ketinggian 400-lebih dari 700 mdpl, terjadi variabilitas kualitas air dan kualitas udara. Derajat keasaman mengalami peningkatan terutama pada pancaroba musim kemarau penghujan dan musim penghujan. Pada musim pancaroba penghujan kemarau pH air sebesar 6 dan nilai tersebut tetap pada musim kemarau. Pada musim penghujan pH meningkat menjadi 7,7.

Kepadatan vektor juga mengalami variabilitas antar musim. Pada musim pancaroba penghujan kemarau kepadatan vektor sebesar 3,85 vektor/orang/jam. Pada musim kemarau kepadatan vektor mengalami penurunan menjadi 0,02 vektor/orang/jam. Kepadatan vektor kembali mengalami peningkatan menjadi 1,4 vektor/orang/jam pada musim pancaroba kemarau penghujan. Pada musim penghujan kepadatan vektor menurun menjadi 0,44 vektor/orang/jam.

Gambar 6.5 disajikan model dinamika vektor malaria oleh pengaruh variabilitas lingkungan.



Gambar 6.5 Hasil simulasi perubahan parameter kualitas air dan udara terhadap kepadatan vektor

3. Spasial Ekologis Sebaran Kepadatan Vektor

Hasil simulasi kepadatan vektor pada setiap kelas ketinggian telah memiliki wilayah tertentu. Setiap wilayah memiliki karakteristik kualitas air, kualitas udara, dan kepadatan vektor. Kepadatan vektor mengalami dinamika setiap periode musim yang disebabkan perubahan kualitas lingkungan. Sebaran secara spasial hasil simulasi kepadatan vektor adalah sebagai berikut.

- a. Ekosistem dataran, ketinggian 0-200 m dpl
Wilayah dengan ketinggian tersebut mencakup 139 desa (59,7%), memiliki kualitas air yang mengalami dinamika mengikuti perubahan

musim. Kepadatan vektor juga mengalami dinamika. Karakteristik kualitas air mengalami variasi sepanjang musim. Sebagai contoh untuk parameter salinitas, pada musim pancaroba tercatat sebesar 0,0076 %, mengalami penurunan menjadi 0,001% pada musim kemarau, menurun lagi pada pancaroba kemarau penghujan di bawah 0,0001%, dan meningkat lagi menjadi 0,001 pada musim penghujan. Kualitas air ini ternyata juga dikuiti perubahan kepadatan vektor dari 0,58 vektor/orang/jam (pancaroba), 0,13 vektor/orang/jam (kemarau), 0,15 vektor/orang/jam (pancaroba) dan 0,21 vektor/orang/jam (penghujan). Sebaran tersebut mencakup 59,7% wilayah.

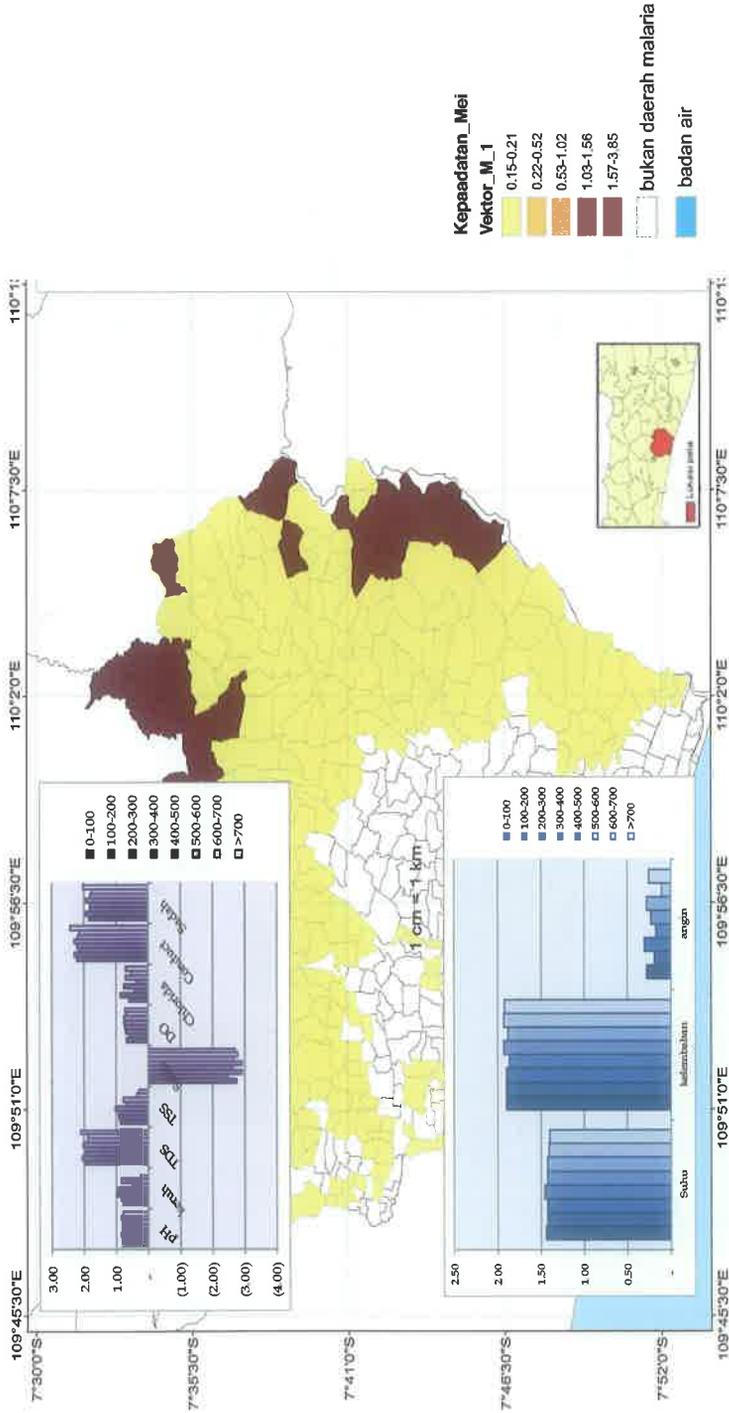
b. Ekosistem perbukitan, ketinggian 200-400 m dpl

Wilayah dengan ketinggian 200-400 m dpl mencakup 65 desa (27,9%), memiliki karakteristik lingkungan yang mengalami variasi sepanjang tahun. Begitupula dengan kepadatan vektor juga mengalami dinamika. Parameter yang menunjukkan terjadi variabilitas yaitu adalah kekeruhan dari 5 NTU, menjadi 10 NTU, 7 NTU dan 1 NTU, selama periode musiman. Salinitas, kesadahan dan beberapa parameter lain juga mengalami dinamika. Kepadatan vektor juga mengalami perubahan variabilitas dari vektor sebesar 0,35 vektor/orang/jam (pancaroba), 0,02 vektor/orang/jam (musim kemarau), 2,02 vektor/orang/jam (pancaroba) 0,67 vektor/orang/jam (penghujan). Sebaran wilayah pada kelas mencakup 27,9%, mencakup 65 desa.

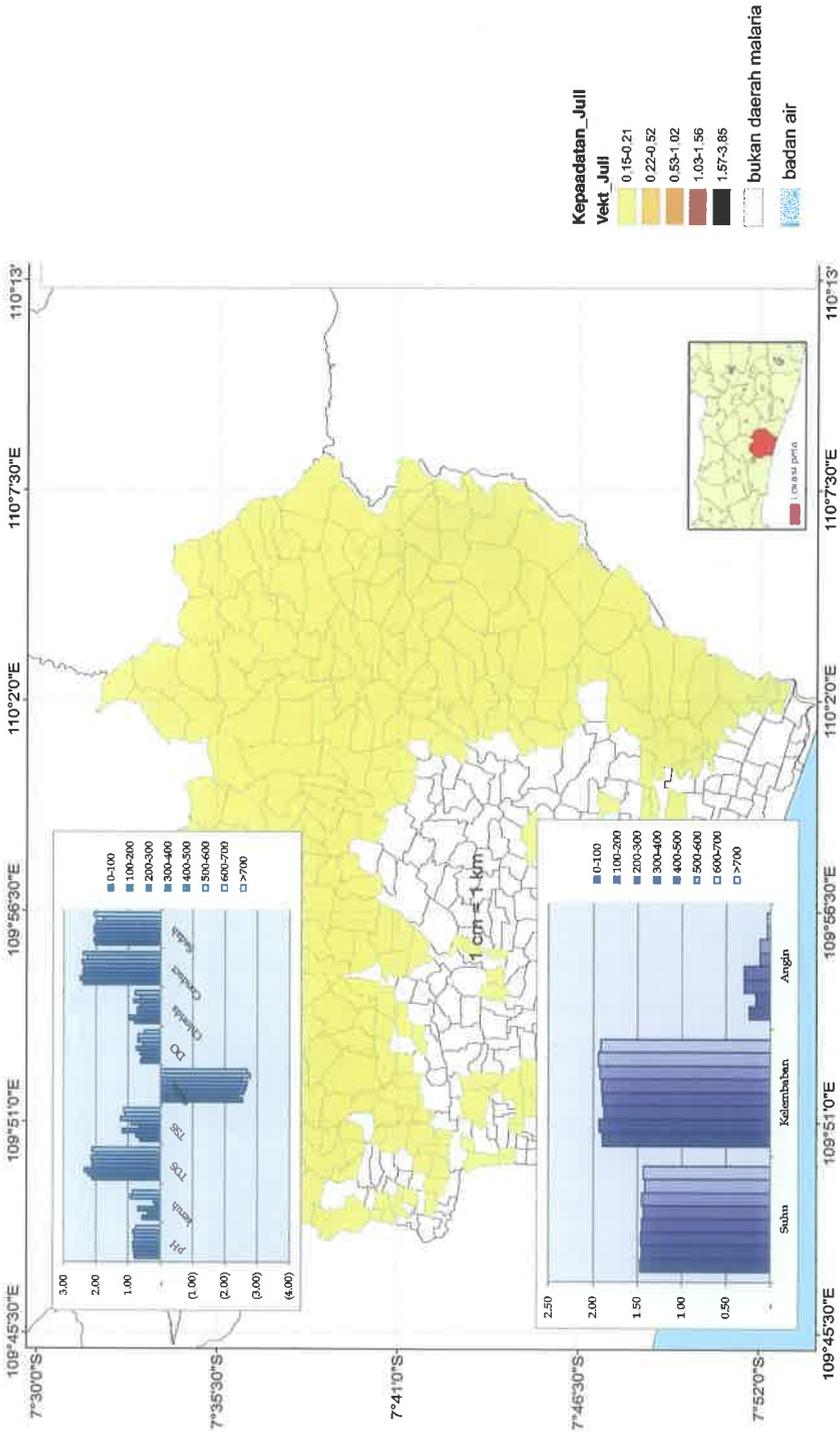
c. Ekosistem pegunungan, ketinggian 400 –leboh dari 700 m dpl

Wilayah ini mencakup 29 desa (12,4%), juga memiliki karakteristik lingkungan yang memiliki variabilitas dan berpengaruh terhadap kepadatan vektor. Parameter kualitas lingkungan yang dominan mengalami perubahan yaitu salinitas dari 0,0009% (pancaroba), menjadi 0,003% (kemarau), 0,002% (pancaroba) dan 0,001% (penghujan). Suhu dan kelembaban juga mengalami variasi sekitar 2°C (suhu) dan 5% (kelembaban). Dinamika kepadatan vektor pada wilayah tersebut adalah 3,85 vektor/orang/jam (pancaroba), 0,02 vektor/orang/jam (kemarau), 1,4 vektor/orang/jam (pancaroba), 0,44 vektor/orang/jam (penghujan). Wilayah dengan klasifikasi tersebut mencakup 12,4%, atau 29 desa,

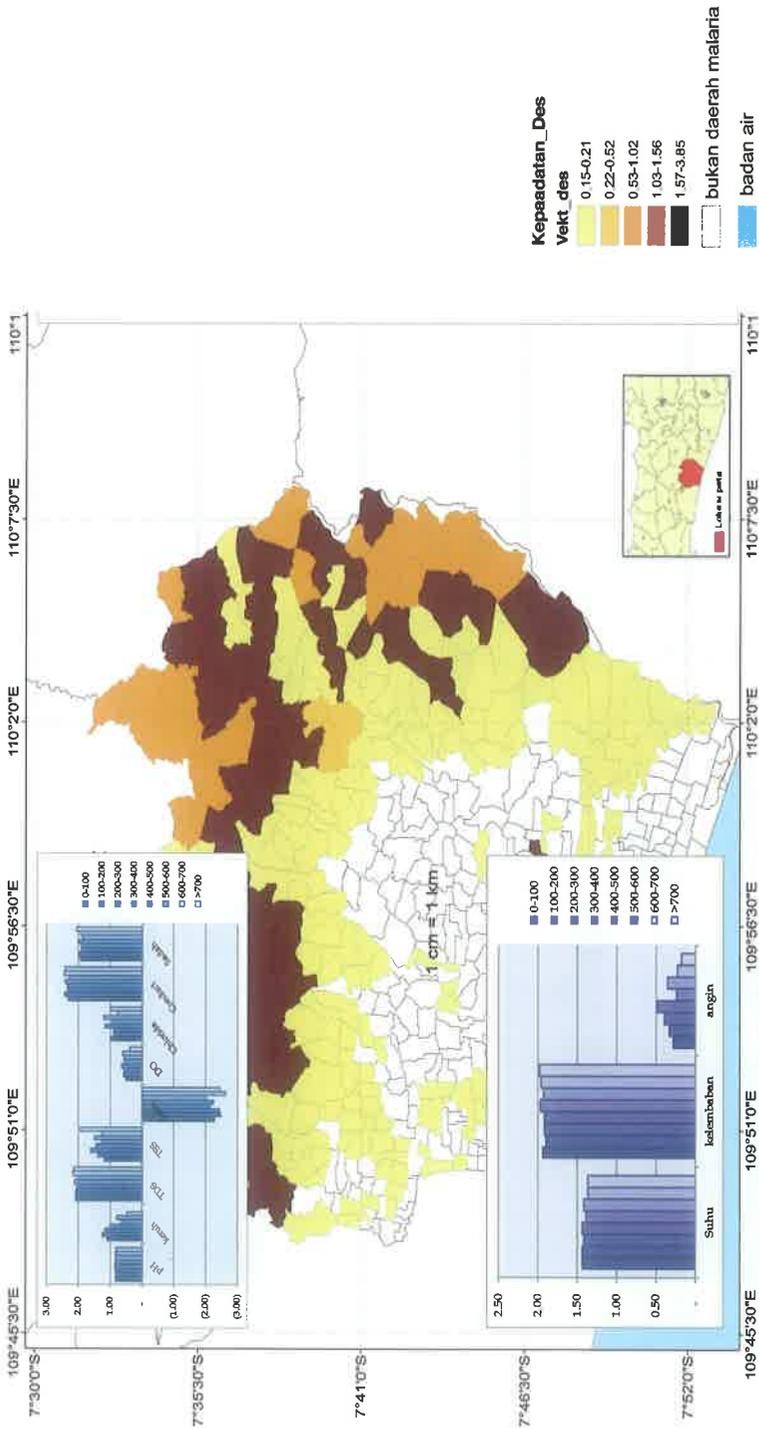
Gambar 6.6, 6.7, 6.8, 6.9 berikut disajikan sebaran dinamika karakteristik lingkungan dan kepadatan vektor.



Gambar 6.6 Spasial ekologis kepadatan vektor malaria musim pancaroba penghujan kemarau (Mei)



Gambar 6.7 Spasial ekologis kepadatan vektor malaria musim kemarau (Juli)



Gambar 6.9 Spasial ekologi kepadatan vektor musim pancaroba pengujian (Desember)

6.2 SIMULASI MODEL

Simulasi model dilakukan dengan menggunakan peubah variabel kualitas air dan kualitas udara ke dalam model. Uji coba merupakan bentuk prediksi perubahan variabel terikat (kualitas air dan udara) oleh perubahan variabel bebas (kepadatan vektor). Prediksi dilakukan terutama untuk memperkirakan kepadatan vektor akibat perubahan kualitas air dan kualitas udara. Langkah untuk prediksi perubahan kualitas air dan kualitas udara untuk kepadatan vektor sebagai berikut.

1. Persamaan yang digunakan adalah determinan matrik, yang ditemukan setiap kelas dan periode pengamatan.
2. Parameter kualitas air (pH, kekeruhan, TSS, salinitas, DO, daya hantar listrik, chlorida, dan kesadahan) dan kualitas udara (suhu, kelembaban, kecepatan angin), dapat dilakukan simulasi dengan memasukan nilai pada determinan matrik.
3. Setiap nilai yang diberikan untuk parameter kualitas air dan kualitas udara akan dihasilkan kepadatan vektor tertentu.
4. Sebagai ilustrasi untuk bulan Mei, pada ketinggian 0-200 mdpl, untuk kualitas air bila setiap parameter diberikan nilai pH (7,6), turbidity (41 NTU), TDS (59 mg/lit), salinitas (0,0076 ‰), DO (4,5 mg/lit), clorida (13 mg/lit), conductivity (108 μ mhos/cm), kesadahan (31,84 mg/lit) dan untuk kualitas udara, suhu (30 °C), kelembaban (78 %), kecepatan angin (1,8 km/jam). Hasil prediksi dengan determinan matrik diperoleh kepadatan vektor sebesar 0,58 vektor/orang/jam.
5. Prediksi bulan Mei ini diasumsikan untuk mewakili musim pancaroba penghujan ke musim kemarau (April dan Mei).
6. Pada tabel 4.82 dilakukan simulasi dan prediksi untuk kelas 200-400 mdpl bulan Mei mewakili musim pancaroba penghujan ke musim kemarau (April dan Mei), dan 400->700 mdpl mewakili musim pancaroba penghujan ke musim kemarau (April dan Mei).
7. Secara berturut-turut kepadatan vektor yang terjadi dengan melakukan simulasi perubahan kualitas air dan kualitas udara sebagai berikut. Kelas 0-200 mdpl untuk musim kemarau sebesar 0,13 vektor/org/jam, musim pancaroba kemarau penghujan 0,15 vektor/orang/jam, musim penghujan sebesar 0,21 vektor/orang/jam, musim pancaroba penghujan kemarau sebesar 0,58 vektor/orang/jam. Kelas 200-400 mdpl untuk

musim kemarau sebesar 0,02 vektor/orang/jam, musim pancaroba kemarau penghujan 2,02 vektor/orang/jam, musim penghujan sebesar 0,67 vektor/or/jam musim pancaroba penghujan kemarau sebesar 0,35 vektor/orang/jam. Kelas 400 - > 700 mdpl untuk musim kemarau sebesar 0,02 vektor/orang/jam, musim pancaroba kemarau penghujan 1,40 vektor/orang/jam, musim penghujan sebesar 0,44 vektor/orang/jam musim pancaroba penghujan kemarau sebesar 3,85 vektor/orang/jam. Selengkapnya disajikan pada Tabel 6.6.

1. Simulasi Model dengan Peningkatan Parameter sebesar 5%

Simulasi perubahan parameter terhadap kepadatan vektor juga dilakukan dengan merubah setiap parameter, dimana parameter lain diasumsikan tetap tidak mengalami perubahan. Simulasi dilakukan dengan menaikkan seluruh parameter sebesar 5%, secara bergantian dan dilakukan analisi besarnya kepadatan vektor. Pada musim penghujan

Peningkatan pH sebesar 5% ternyata meningkatkan kepadatan vektor antara 8,1% hingga 60,3%. Pada musim pancaroba dan musim kemarau peningkatan pH pada wilayah dengan ketinggian 200-400 mdpl cenderung menyebabkan kepadatan vektor mengalami penurunan hingga 20,7%. Wilayah lain baik yang < 200 mdpl, peningkatan pH sebesar 5% menyebabkan peningkatan kepadatan vektor 2% - 971,3%.

Peningkatan kekeruhan 5%, menyebabkan hampir seluruh wilayah sepanjang musim menyebabkan terjadinya penurunan kepadatan vektor 4-12,5%. Hal serupa terjadi untuk **Total Dissolved Solid (TDS)** peningkatan sebesar 5%, menyebabkan penurunan hingga 100%. **Parameter Salinitas** air juga memiliki pengaruh, hasil simulasi dengan menaikkan salinitas 5%, menyebabkan terjadinya peningkatan kepadatan nyamuk hingga 52% sepanjang tahun, terutama pada wilayah hingga ketinggian 400 m dpl. Pada wilayah dengan ketinggian > 400 mdpl, peningkatan salinitas hingga 5% menyebabkan penurunan hingga 29%.

Parameter Dissolved Oxygen (DO), dengan peningkatan sebesar 5% memberikan pengaruh pada penurunan kepadatan vektor hingga 85%. Begitu juga dengan **Klorida** yang cenderung memberikan dampak pada penurunan hingga 19%, untuk peningkatan konsentrasi 5%.

Tabel 6.7 Simulasi kepadatan vektor dengan peningkatan 5 % kualitas air

NORMAL SESUAI LAPANGAN												
Kepadatan vektor hasil prediksi												
	Januari	Pebruari	Maret	April	Mei	Junii	Juli	Agst	Sept	Okt	Nop	Des
Kelas 1 (0-200)	0.21	0.21	0.21	0.21	0.58	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.21
Kelas 2 (200-400)	0.67	0.67	0.67	0.67	0.35	0.02	0.02	0.02	0.02	2.02	2.02	0.67
Kelas 3 (400->700)	0.50	0.50	0.50	0.50	3.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.52	0.50
PH NAIK 5%												
Kepadatan vektor hasil prediksi												
	Januari	Pebruari	Maret	April	Mei	Junii	Juli	Agst	Sept	Okt	Nop	Des
Kelas 1 (0-200)	0.23	0.23	0.23	0.23	0.00	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	0.20	0.23
Kelas 2 (200-400)	1.07	1.07	1.07	0.35	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60	1.60	1.07
Kelas 3 (400->700)	0.57	0.57	0.57	0.57	4.07	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	2.59	0.57
	8.1%	8.1%	8.1%	-100.0%	-100.0%	971.3%	971.3%	971.3%	971.3%	971.3%	39.5%	8.1%
	60.3%	60.3%	60.3%	0.2%	0.2%	-100.0%	-100.0%	-100.0%	-100.0%	-20.7%	60.3%	60.3%
	14.5%	14.5%	14.5%	14.5%	5.4%	ada	ada	ada	ada	2.7%	14.5%	14.5%
	28%	28%	28%	-28%	-31%	290%	290%	290%	290%	317%	7%	28%
TURBIDITY NAIK 5%												
Kepadatan vektor hasil prediksi												
	Januari	Pebruari	Maret	April	Mei	Junii	Juli	Agst	Sept	Okt	Nop	Des
Kelas 1 (0-200)	0.20	0.20	0.20	0.66	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.20
Kelas 2 (200-400)	0.66	0.66	0.66	0.44	0.44	3.86	3.47	3.47	3.47	0.00	2.06	0.66
Kelas 3 (400->700)	0.44	0.44	0.44	23.1%	23.1%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	0.00	2.58	0.44
	-4.0%	-4.0%	-4.0%	-0.3%	-0.3%	16541.9%	16541.9%	16541.9%	16541.9%	1.8%	-4.0%	-4.0%
	-12.3%	-12.3%	-12.3%	-12.3%	-0.2%	no!	no!	no!	no!	2.5%	-12.3%	-12.3%
	-6%	-6%	-6%	3%	8%	5481%	5481%	5481%	5481%	-33%	-6%	-6%
TDS NAIK 5%												
Kepadatan vektor hasil prediksi												
	Januari	Pebruari	Maret	April	Mei	Junii	Juli	Agst	Sept	Okt	Nop	Des
Kelas 1 (0-200)	0.31	0.31	0.31	0.00	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.31
Kelas 2 (200-400)	0.00	0.00	0.00	0.44	0.44	0.44	0.00	0.00	0.00	2.05	2.05	0.00
Kelas 3 (400->700)	0.55	0.55	0.55	0.55	3.63	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	2.18	0.55
	49%	49%	49%	-1.1%	-1.1%	-100%	-100%	-100%	-100%	34%	49%	49%
	-100%	-100%	-100%	25%	25%	1090%	1090%	1090%	1090%	1%	-100%	-100%
	10%	10%	10%	10%	10%	ada	ada	ada	ada	-1.3%	10%	10%
	-14%	-14%	-14%	8%	8%	-67%	-67%	-67%	-67%	-33%	7%	-14%
SALINITAS NAIK 5%												
Kepadatan vektor hasil prediksi												
	Januari	Pebruari	Maret	April	Mei	Junii	Juli	Agst	Sept	Okt	Nop	Des
Kelas 1 (0-200)	0.21	0.21	0.21	0.76	0.76	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.16	0.21
Kelas 2 (200-400)	0.80	0.80	0.80	0.36	0.36	3.85	3.85	3.85	3.85	0.05	2.78	0.80
Kelas 3 (400->700)	0.36	0.36	0.36	3.1%	3.1%	7%	7%	7%	7%	11%	11%	3%
	1%	1%	1%	-29%	-29%	1090%	1090%	1090%	1090%	-1%	20%	20%
	-29%	-29%	-29%	-29%	-29%	ada	ada	ada	ada	10%	-29%	-29%
	-3%	-3%	-3%	3%	3%	380%	380%	380%	380%	17%	7%	-3%

Parameter Conductivity, memberikan pengaruh pada peningkatan hingga 20% pada peningkatan conductivity sebesar 5%. **Parameter kesadahan** memberikan pengaruh pada penurunan kepadatan nyamuk hingga 50%, terutama pada wilayah > 400 mdpl. Pada wilayah > 400 mdpl, peningkatan conductivity memberikan pengaruh peningkatan hingga 21%.

Pengaruh suhu udara hingga 5%, memberikan pengaruh pada peningkatan kepadatan vektor hingga 58%, terutama wilayah kurang dari 200 m dpl dan lebih tinggi dari 400 mdpl. Pada wilayah dengan ketinggian 200-400 mdpl, justru terjadi penurunan hingga 77%, pada peningkatan suhu sebesar 5%.

Parameter Kelembaban, memberikan pengaruh kebalikan dari suhu udara. Peningkatan kelembaban hingga 5%, cenderung memberikan dampak pada penurunan kepadatan vektor hingga 50% pada wilayah < 200 m dpl dan wilayah > 400 mdpl. Pada wilayah dengan ketinggian 200-400 mdpl, peningkatan kelembaban menyebabkan terjadinya peningkatan kepadatan vektor hingga 41%.

Selengkapnya hasil simulasi disajikan pada Tabel 6.6 dan 6.7 berikut.

2. Simulasi Model Secara Sistemik

Simulasi sistemik dilakukan dengan menyusun dinamika kualitas lingkungan secara gradual untuk kualitas air dan udara. Secara berturut-turut simulasi dilakukan setiap variabel. Derajat keasaman (pH) dilakukan penambahan sebesar nilai maksimum -minimum dibagi dengan 20, untuk seluruh variabel kualitas air dan udara. Iterasi dilakukan sebanyak 50 kali untuk melakukan analisis kecenderungan.

Hasil iterasi menunjukkan adanya dinamika kualitas lingkungan dan kepadatan vektor disajikan pada tabel 6.8.

Gambar 6.10 menunjukkan bahwa untuk wilayah dengan ketinggian 0-200 mdpa, merupakan ekosistem dataran, mencakup 59,7%. **Pada musim pancaroba (bulan Mei)** peningkatan parameter kualitas air dan kualitas udara akan semakin meningkatkan kepadatan vektor hingga mencapai 7,25 nyamuk/or/jam. Pada musim berikutnya yaitu musim kemarau, peningkatan parameter tersebut cenderung akan menurunkan kepadatan vektor malaria, hingga mendekati 0,5 nyamuk/or/jam. Pada musim

pancaroba kemarau penghujan, peningkatan kualitas air dan kualitas udara menyebabkan terjadinya penurunan kepadatan vektor dari 0,5 nyamuk/or/jam, hingga mendekati nol. Pada Musim penghujan (Desember) dari 0,45 nyamuk/or/jam, menjadi mendekati nol.

Hasil simulasi tersebut memberikan gambaran bahwa pada Ekosistem dataran yang harus diwaspadai adalah pada masa pancaroba dari penghujan menuju kemarau, dimana terjadi peningkatan kepadatan vektor, hingga 7,25 nyamuk/or/jam, dengan peningkatan kualitas air dan udara hingga 5%. Musim yang lain relatif tidak membahayakan karena cenderung mengalami penurunan dengan peningkatan kualitas air dan udara.

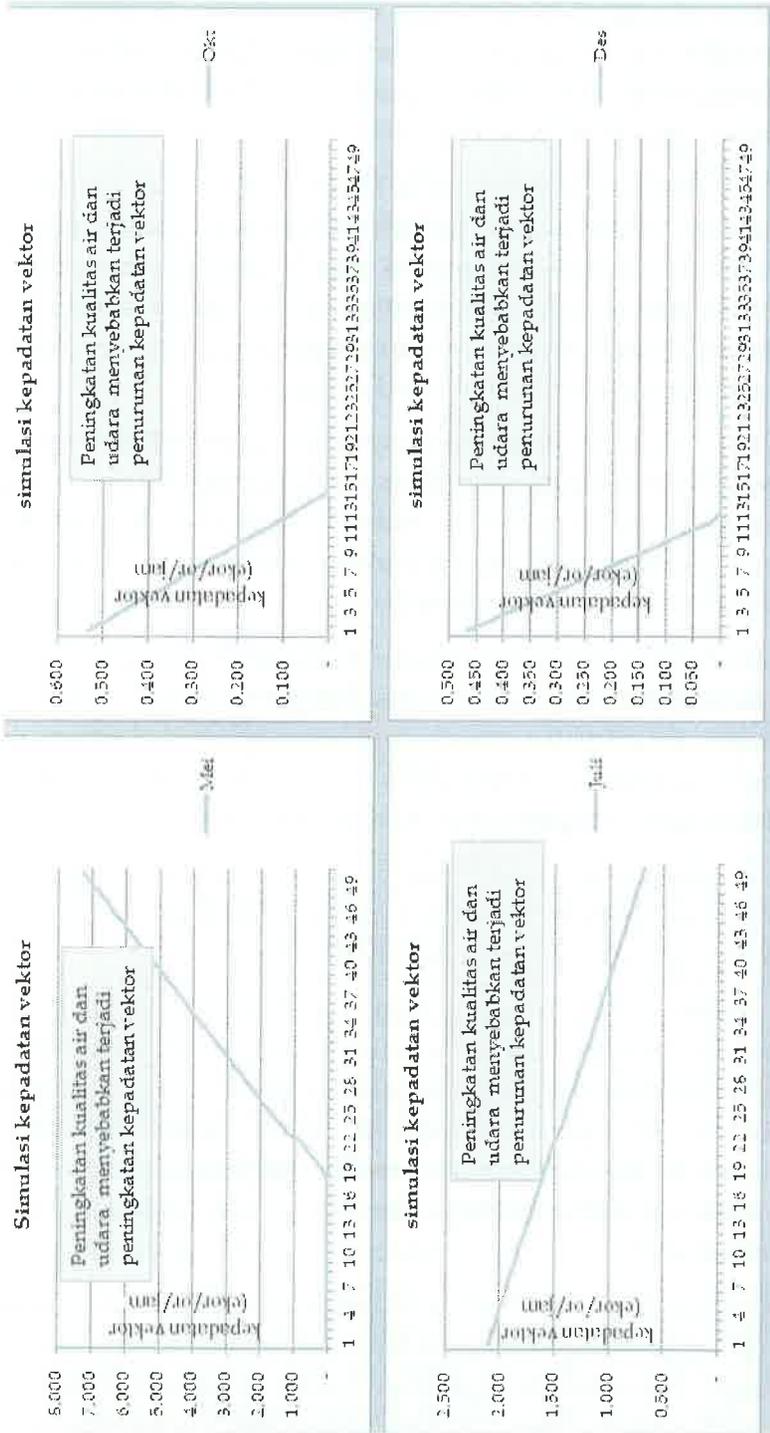
Gambar 6.11 Pada wilayah dengan ketinggian 200-400 mdpl, merupakan ekosistem perbukitan mencakup 27,9% daerah endemis. Hasil simulasi menunjukkan, pada musim pancaroba penghujan, peningkatan kualitas air akan menyebabkan terjadinya penurunan kepadatan vektor dari 0,5 nyamuk/or/jam hingga mendekati nol.

Pada musim kemarau (Juli) peningkatan kualitas air akan menyebabkan terjadinya peningkatan kepadatan vektor hingga mencapai 43,47 nyamuk/or/jam. Begitu juga dengan musim berikutnya di musim pancaroba (Oktober) peningkatan kualitas air dan udara menyebabkan terjadinya peningkatan kepadatan vektor hingga 5 nyamuk/or/jam.

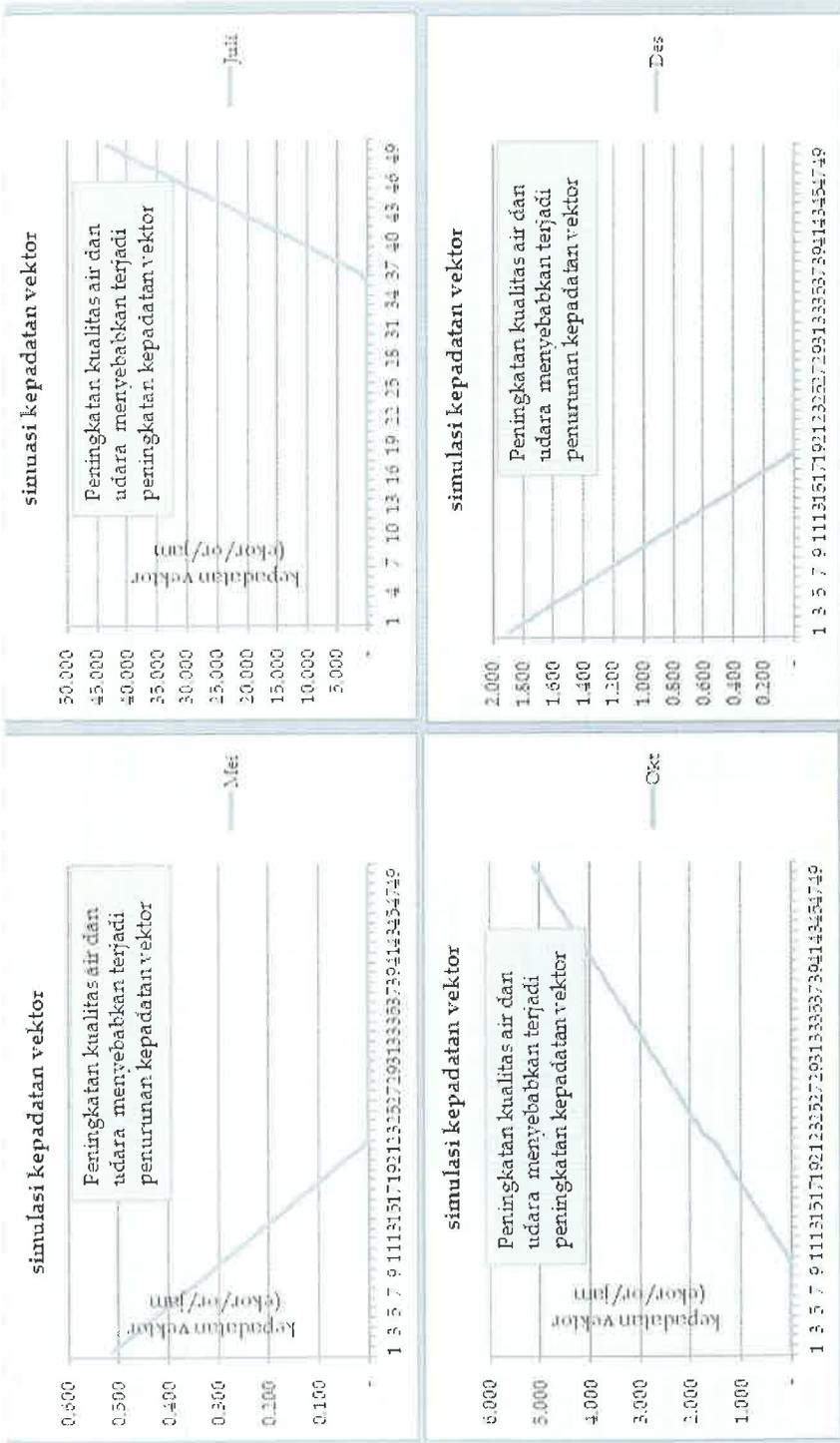
Pada musim penghujan (Desember) peningkatan kualitas air dan udara cenderung menyebabkan kepadatan vektor mengalami penurunan dari 1,8 nyamuk/orang/jam ke kepadatan mendekati nol.

Hasil ini memberikan gambaran bahwa dari hasil simulai untuk wilayah ekosistem perbukitan, terjadi 2 fenomena yang antara musim pancaroba penghujan dan musim kemarau kepadatan vektor akan mengalami peningkatan hingga 43,7 nyamuk/orang/jam. Pada musim berikutnya yaitu pancaroba kemarau penghujan dan musim penghujan, peningkatan kualitas air dan udara menyebabkan terjadinya penurunan kepadatan vektor hingga mendekati nol.

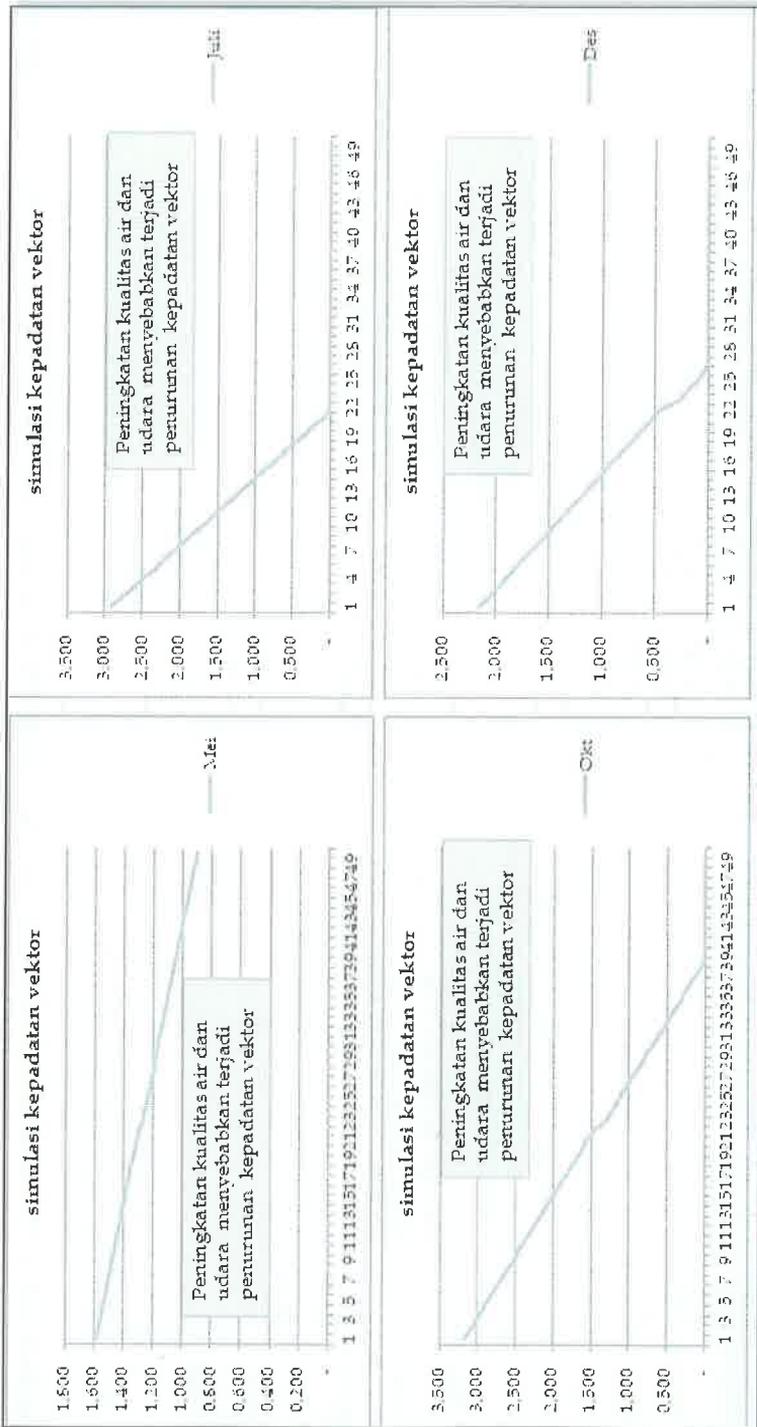
Peningkatan kepadatan vektor pada eksosistem ini disebabkan terjadinya pembentukan tempat biakan berupa sungai yang membentuk genangan pada badan sungai. Peningkatan kepadatan vektor tersebut menjadi ancaman yang sangat berbahaya bagi kehidupan penduduk Purworejo.



Gambar 6.10 Hasil simulasi perubahan kualitas lingkungan dan kepadatan vektor pada ekosistem dataran wilayah ketinggian 0-200 mdpl



Gambar 6.11 Hasil simulasi perubahan kualitas lingkungan dan kepadatan vektor pada ekosistem perbukitan ketinggian 200-400 mdpl



Gambar 6.12 Hasil simulasi perubahan kualitas lingkungan dan kepadatan vektor pada ekosistem pegunungan ketinggian 400-700 mdpl

Tabel 6.9 Simulasi kepadatan vektor atas dinamika kualitas lingkungan Untuk kelas ketinggian 0-200 m, 200-400 dan 400 - > 700 m

Iterasi ke	Isolas. C - 200 mdpaal				Isolas. D00 - 400 mdpaal				Isolas. 400 - > 700 mdpaal			
	Masi	Full	Chit	Dsp	Masi	Full	Chit	Dsp	Masi	Full	Chit	Dsp
1	3,90	2,10	0,53	0,47	0,51	0,16	0,32	1,90	1,58	2,91	3,17	2,18
2	(3,65)	2,07	0,50	0,43	0,49	0,13	0,99	1,79	1,37	3,09	3,09	2,08
3	(5,46)	2,05	0,46	0,35	0,46	0,09	0,56	1,69	1,56	2,62	3,01	1,99
4	(3,24)	2,02	0,42	0,34	0,34	0,06	0,74	1,58	1,54	2,48	2,93	1,91
5	(3,01)	1,99	0,39	0,30	0,32	0,03	0,61	1,45	1,53	2,34	2,83	1,83
6	(2,79)	1,96	0,34	0,26	0,39	0,00	0,49	1,37	1,52	2,20	2,77	1,75
7	(2,37)	1,93	0,31	0,22	0,37	0,00	0,36	1,27	1,50	2,06	2,69	1,69
8	(2,34)	1,90	0,27	0,18	0,34	0,00	0,24	1,17	1,49	1,92	2,61	1,59
9	(2,12)	1,87	0,23	0,14	0,32	0,00	0,11	1,06	1,47	1,75	2,53	1,50
10	(1,90)	1,85	0,19	0,10	0,30	0,00	0,01	0,96	1,46	1,64	2,45	1,42
11	(1,67)	1,82	0,15	0,06	0,27	0,00	0,00	0,83	1,43	1,50	2,38	1,34
12	(1,43)	1,79	0,12	0,01	0,25	0,00	0,00	0,72	1,43	1,36	2,28	1,26
13	(1,23)	1,76	0,05	0,00	0,22	0,00	0,00	0,64	1,42	1,22	2,20	1,18
14	(1,00)	1,73	0,04	0,00	0,20	0,00	0,00	0,54	1,41	1,07	2,12	1,09
15	(0,78)	1,70	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00	0,45	1,39	0,93	2,04	1,01
16	(0,56)	1,65	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,35	1,35	0,79	1,96	0,93
17	(0,33)	1,62	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,25	1,32	0,65	1,88	0,85
18	(0,11)	1,59	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,15	1,28	0,51	1,80	0,77
19	0,11	1,59	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,09	1,24	0,37	1,72	0,68
20	0,34	1,36	0,19	0,31	0,05	0,50	0,00	0,00	1,23	0,23	1,64	0,60
21	0,26	1,33	0,23	0,23	0,02	0,20	0,19	0,19	1,21	0,09	1,55	0,52
22	0,75	1,31	0,26	0,40	0,01	0,90	0,50	0,30	1,20	0,00	1,47	0,44
23	1,23	1,45	0,34	0,45	0,04	0,81	1,76	0,50	1,27	0,34	1,51	0,27
24	1,45	1,42	0,42	0,35	0,06	0,92	1,55	0,63	1,26	0,45	1,25	0,19
25	1,67	1,36	0,49	0,64	0,09	0,62	2,00	0,71	1,24	0,62	1,15	0,11
26	2,12	1,33	0,49	0,65	0,11	0,23	2,13	0,52	1,23	0,76	1,07	0,05
27	2,34	1,31	0,55	0,72	0,14	0,03	2,35	0,92	1,22	0,90	0,99	0,00
28	2,97	1,28	0,61	0,72	0,15	0,16	2,50	1,03	1,20	1,04	0,91	0,13
29	3,29	1,25	0,61	0,76	0,15	0,16	2,63	1,15	1,19	1,15	0,85	0,21
30	3,79	1,25	0,61	0,76	0,21	0,44	2,63	1,24	1,16	1,15	0,73	0,30
31	3,01	1,22	0,64	0,52	0,25	0,25	2,75	1,44	1,16	1,46	0,66	0,35
32	3,04	1,19	0,65	0,53	0,25	0,51	3,00	1,55	1,15	1,60	0,56	0,46
33	3,46	1,16	0,72	0,93	0,25	0,52	3,00	1,75	1,13	1,74	0,50	0,54
34	3,65	1,14	0,74	0,93	0,30	0,66	3,13	1,65	1,12	1,59	0,42	0,63
35	3,91	1,11	0,50	0,97	0,33	0,46	3,25	1,11	1,11	2,03	0,34	0,71
36	4,13	1,05	0,53	1,01	0,35	1,27	3,35	1,56	1,09	2,17	0,26	0,79
37	4,35	1,05	0,57	1,05	0,35	1,92	3,50	1,97	1,06	2,31	0,15	0,57
38	4,58	1,02	0,57	1,05	0,40	3,13	3,63	2,07	1,07	2,45	0,10	0,55
39	4,80	0,99	0,51	1,13	0,43	4,32	3,75	2,17	1,05	2,59	0,05	0,54
40	5,02	0,97	0,51	1,13	0,45	4,52	3,85	2,25	1,04	2,73	0,06	0,51
41	5,25	0,94	0,52	1,12	0,47	4,72	4,00	2,35	1,03	2,57	0,10	0,50
42	5,47	0,91	0,66	1,26	0,50	4,91	4,12	2,49	1,01	2,61	0,23	0,28
43	5,69	0,88	1,10	1,20	0,51	5,10	4,25	2,39	1,01	2,13	0,23	0,26
44	5,92	0,85	1,14	1,25	0,54	5,30	4,37	2,70	0,98	2,29	0,23	0,26
45	6,14	0,82	1,18	1,25	0,57	5,50	4,50	2,80	0,97	2,44	0,42	0,23
46	6,36	0,79	1,21	1,42	0,59	5,69	4,62	2,80	0,96	2,58	0,25	0,23
47	6,58	0,77	1,25	1,46	0,62	5,89	4,72	2,91	0,94	2,72	0,62	0,21
48	6,81	0,74	1,29	1,50	0,64	6,08	4,87	3,11	0,93	2,86	0,21	0,21
49	7,03	0,71	1,34	1,53	0,66	6,28	5,00	3,21	0,92	3,00	0,21	0,21
50	7,25	0,68	1,37	1,59	0,69	6,45	5,12	3,32	0,90	3,14	0,27	0,21

Gambar 6.13 pada wilayah dengan ketinggian 400-lebih dari 700 mdpl, merupakan ekosistem pegunungan. Wilayah ini mencakup luasan 12,4%. Terdapat kecenderungan, peningkatan parameter kualitas air dan udara akan berpengaruh terhadap penurunan kepadatan nyamuk. Hal ini terjadi untuk seluruh musim sepanjang tahun. Penurunan terjadi dari kepadatan 1,6-3 nyamuk/or/jam menjadi mendekati kepadatan nol.

Puncak kepadatan terjadi pada musim kemarau dan pancaroba musim kemarau penghujan hingga mencapai angka 3,5 nyamuk/or/jam. Kecenderungan tersebut disebabkan tersedianya tempat biakan pada badan air (sungai) yang mengalami kekeringan, sehingga membentuk genangan pada badan sungai.

Keseluruhan simulasi tersebut dapat dilakukan generalisasi bahwa kecenderungan terjadi penurunan kepadatan vektor terhadap peningkatan kualitas air dan kualitas udara. Pada wilayah dengan ketinggian 200-400 mdpl, terutama pada musim pancaroba dan musim kemarau, peningkatan parameter kualitas air dan udara berpengaruh terhadap peningkatan kepadatan vektor malaria

6.3 EVALUASI MODEL

Tingkat kehandalan model diuji dengan menggunakan uji validitas. Uji validitas dilakukan untuk mengetahui tingkat kevalidan dari model telah dihasilkan. Simulasi dinamika kualitas lingkungan dilakukan dengan menambah secara gradual kualitas air (pH, turbidity, NTU, TDS, salinitas, DO, clorida, *conductivity*, kesadahan, dan untuk kualitas udara, suhu, kelembaban, kecepatan angin. Determinan matrik yang dihasilkan dari persamaan 1-1 sampai 4-3, akan dihasilkan kepadatan vektor. Variabel ketinggian dengan kepadatan vektor yang dihasilkan, dibandingkan dengan nilai kritis pada taraf signifikan 0,05 dan 0,01. Tinggi rendahnya validitas model akan menunjukkan sejauh mana keakuratan model untuk melakukan perkiraan kepadatan vektor oleh dinamika lingkungan. Perhitungan korelasi product moment, dengan rumus seperti yang dikemukakan oleh Arikunto (1998):

Hasil perhitungan koefisien korelasi sebagaimana tabel berikut. Tabel analisis korelasi menunjukkan bahwa nilai koefisien korelasi prediksi

kepadatan bulan mei dan bulan juli, untuk kelas ketinggian 0-200 m, sebesar 0,984 dan signifikan pada tingkat eror 0,01. Nilai tersebut memberikan informasi bahwa model yang digunakan memiliki validitas tinggi. Begitu pula dengan model untuk kepadatan vektor juli oktober nilai koefisien korelasi sebesar 0,837, dengan tingkat kesalahan 0,01. Selengkapnya disajikan pada tabel uji korelasi berikut.

Tabel 6.10 Uji korelasi untuk model prediksi kepadatan vektor Kelas ketinggian 0-200 m dpl

Correlations

		mei_0_200	juli_0_200	Okt_0_200	des_0_200
mei_0_200	Pearson Correlation	1	,984**	,895**	-,897**
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000
	N	21	21	21	21
juli_0_200	Pearson Correlation	,984**	1	,837**	-,842**
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,000
	N	21	21	21	21
Okt_0_200	Pearson Correlation	,895**	,837**	1	-,999**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000
	N	21	21	21	21
des_0_200	Pearson Correlation	-,897**	-,842**	-,999**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	
	N	21	21	21	21

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Tabel 6.11 Uji korelasi untuk model prediksi kepadatan vektor Kelas ketinggian 200-400 m dpl

Correlations

		mei_200_400	juli_200_400	Okt_200_400	des_200_400
mei_200_400	Pearson Correlation	1	-,998**	-,996**	,998**
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000
	N	21	21	21	21
juli_200_400	Pearson Correlation	-,998**	1	,999**	-1,000**
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,000
	N	21	21	21	21
Okt_200_400	Pearson Correlation	-,996**	,999**	1	-,999**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000
	N	21	21	21	21
des_200_400	Pearson Correlation	,998**	-1,000**	-,999**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	
	N	21	21	21	21

Tabel 6.12 Uji korelasi untuk model prediksi kepadatan vektor Kelas ketinggian 400 - > 700 m dpl

Correlations		mei_400_700	juli_400_700	okt_400_700	des_400_700
mei_400_700	Pearson Correlation	1	-,990**	-,730**	-,569**
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,007
	N	21	21	21	21
juli_400_700	Pearson Correlation	-,990**	1	,766**	,600**
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,004
	N	21	21	21	21
okt_400_700	Pearson Correlation	-,730**	,766**	1	,907**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000
	N	21	21	21	21
des_400_700	Pearson Correlation	-,569**	,600**	,907**	1
	Sig. (2-tailed)	,007	,004	,000	
	N	21	21	21	21

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Kelas 200-400 hasil analisis korelasi antar parameter menunjukkan besarnya koefisien 0,996-0,998, signifikan pada tingkat kesalahan 0,01. Nilai tersebut memberikan pengertian bahwa model yang digunakan untuk signifikan melakukan prediksi kepadatan vektor pada kelas 200-400, memiliki validitas tinggi.

Kelas 400 - > 700, hasil analisis menunjukkan bahwa koefisien korelasi berkisar antara 0,559-0,990, signifikan pada tingkat kesalahan 0,01. Nilai ini memberikan pemahaman bahwa model yang digunakan untuk melakukan prediksi kepadatan vektor atas perubahan kualitas lingkungan memiliki validitas yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Beven, K.J. *The Limits of Splitting: Hydrology. Science of the Total Environment*. 1996;183: 89-97.
2. Lave, C.A., and March, J.G. *An Introduction to Models In The Social Sciences*. New York: University Press of America; 1993.
3. Brimicombe A. *GIS Environmental Modeling and Engineering*. Sec.Ed. London: CRC Press; 2010.
4. Huggett JR. *Geocology An evolutionary approach*. New York: Routledge; 1995.

5. Samet JM. Committe on Model in The Regulatory Decision Process, Board on Environmental Studies and Toxicology, "Model in Environmental Regulatory Decision Making". Washington D.C: The National Academic Press; 2010.

-oo0oo-



NANOPARTIKEL SEBAGAI TEROBOSAN PENGENDALIAN VEKTOR MALARIA

7.1 MATERIAL NANO

1. Material Nano

Nanometer merupakan ukuran partikel dalam satu per miliar meter (10^{-9} m). Secara keseluruhan material nano mengacu skala ukuran antara 1 nanometer (nm) dan 100 nm. Sebagai perbandingan, panjang gelombang cahaya tampak adalah antara 400 nm dan 700 nm. Sebuah leukosit memiliki ukuran 10.000 nm, sebuah bakteri memiliki ukuran 1000- 10000 nm, virus 75-100 nm, protein 5-50 nm, asam deoksiribonukleat (DNA) \sim 2 nm (lebar), dan atom \sim 0,1 nm. Dalam skala ini, karakteristik fisik, biologi dan kimia bahan memiliki fundamental berbeda satu sama lain dan reaksi material sering tak terduga. Nanopartikel adalah dispersi partikel atau koloid padat struktur mulai dari diameter 1 - 1000 nm. Material tersebut terdiri dari polimer sintetik, semi-sintetis dan alami, molekul terapeutik aktif memiliki kemampuan terperangkap (*innert*), dienkapsulasi, dilarutkan, diserap, atau dilekatkan secara kimiawi. Karena untuk biodegradabilitas, biokompatibilitas, dan fleksibilitas dibutuhkan dalam pemanfaatan. Teknologi nano telah berkembang menjadi teknologi alternatif dalam berbagai bidang. Teknologi dengan partikel berskala nano (10^{-9}) m, memiliki sifat yang spesifik, dan dapat digunakan untuk merubah sifat material. Teknologi dengan memanfaatkan nano silver, nano silica, nano TiO_2 hidrotermal, telah dimanfaatkan untuk bidang pertanian dan perikanan.

2. Nanosilver

Nanosilver (nanoperak) merupakan salah satu produk nano teknologi. Salah satu nanomaterial yang memiliki dampak awal dalam produk perawatan kesehatan adalah nano-perak. Perak telah digunakan untuk pengobatan penyakit medis selama lebih dari 100 tahun karena sifat antibakteri dan anti jamur yang alami. Partikel nano perak biasanya berukuran 25 nm. Mereka memiliki luas permukaan yang relatif sangat besar, meningkatkan kontak dengan bakteri atau jamur, dan sangat meningkatkan efektivitas bakterisida dan fungisida. Perak nano ketika bersentuhan dengan bakteri dan jamur akan berdampak buruk pada metabolisme sel dan menghambat pertumbuhan sel. Nanosilver menekan respirasi, metabolisme basal sistem transfer elektron, dan transportasi substrat dalam membran sel mikroba. Nanosilver menghambat multiplikasi dan pertumbuhan bakteri dan jamur yang menyebabkan infeksi, bau, gatal, dan luka. Nanosilver dapat diterapkan untuk berbagai produk perawatan kesehatan. Yang menarik adalah potensi penggunaan nanopartikel perak (AgNP) dalam pengendalian nyamuk. Banyak kelompok telah melaporkan mensintesis AgNP yang dapat membatasi pertumbuhan larva dan atau pupa bentuk dari *Anopheles*.

3. Kemamanan nanosilver

Nanopartikel buatan telah ketahuai memberikan pengaruh pada organisme akuatik non-target. Sudah ada informasi tentang terjadinya toksisitas akut terhadap spesies non-target perairan. Silver yang disintesis dengan *Plumeria rubra* dan *Pergularia daemia* nanopartikel tidak menunjukkan efek toksisitas terhadap Ikan *P.reticulata* setelah 48 jam paparan LC50. Nanopartikel perak disintesis menggunakan ekstrak *Solanum nigrum* berry tidak beracun terhadap dua predator nyamuk, *Toxorhynchites* larva dan *Diplonychus annulatum*. Nanopartikel memiliki ukuran 1-100 nm, memiliki sifat absorpsi tinggi terhadap seluruh media yang ada disekitarnya. Larva *Anopheles* bernafas melalui corong pada ekornya. Sumber makanan masuk melalui saluran gastrointestinal dan melalui pori pori abdomen. Nanosilver dengan ukuran sebesar 72-86 nanomater memiliki ukuran lebih kecil dibandingkan dengan material lain. Partikel Nano Ag₂NO₃ dengan ukuran 72-861-100 nm memiliki daya absorpsi pada

larva tinggi. Nanopartikel Ag_2NO_3 adalah dispersi partikel atau koloid padat struktur mulai dari diameter 1 - 1000 nm.

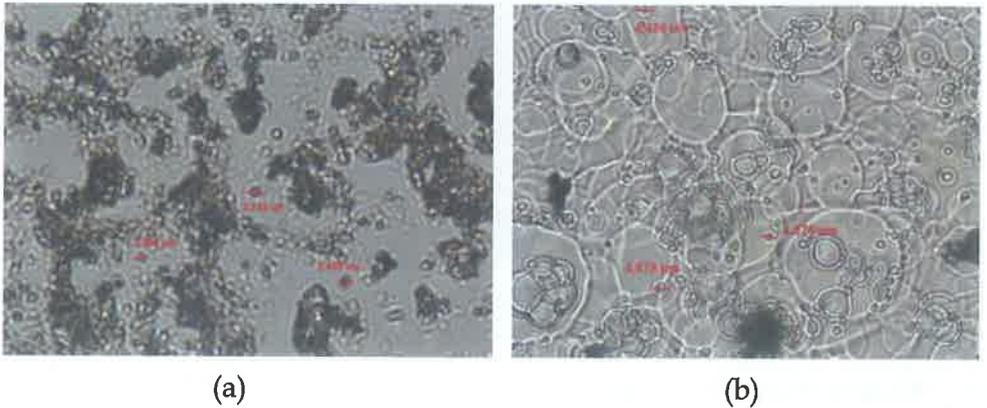


Gambar 7.1 *Nanosilver*

4. Sintesis Nanosilver dan Karbamat

Setiap bahan yang dilakukan pencampuran akan mengalami reaksi membentuk senyawa baru. Senyawa Ag_2NO_3 merupakan senyawa garam, berwarna jernih, masih sangat beracun dan korosif. Paparan singkat tidak akan menghasilkan efek samping langsung selain noda ungu, coklat atau hitam pada kulit, tetapi pada paparan konstan untuk konsentrasi tinggi, efek samping akan terlihat, termasuk luka bakar. Paparan jangka panjang dapat menyebabkan kerusakan mata. Perak nitrat dikenal sebagai zat yang mengiritasi kulit dan mata. Karbamat (CO_2NH_3) merupakan senyawa yang sedikit meninggalkan residu. Karbamat merupakan senyawa karbon mengandung asam karbamat. Sintesis dari kedua material akan terjadi reaksi kimia. Berdasarkan model persamaan Hubungan Kuantitatif Struktur dan Aktifitas (HKSA) terbaik tersebut diperoleh senyawa baru turunan karbamat yang mempunyai aktivitas insektisida prediksi lebih baik dari senyawa insektisida karbamat yang sudah ada, yaitu 3-etil-2-isopropoksifenil metilkarbamat.

Hasil penelitian menunjukkan sintesis antara karbamat dan silver nitrat mampu meningkatkan efektifitas penggunaan karbamat dari konsentrasi 0,01 mg/lit menjadi 0,005 mg/lit dengan penambahan nanosilver nitrat sebesar 0,05 mg/lit. Efisiensi tersebut meningkat 2 kali (200%), bila hanya menggunakan senyawa tunggal karbamat. Penelitian ini menunjukkan hasil sintesis membentuk senyawa baru. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan Agus dengan menggunakan ion silica, menghasilkan 3-etil-2-isopropoksifenil metilkarbamat. Dengan mensubstitusikan silica dengan silver nitrat diduga kuat juga menghasilkan senyawa dengan sifat yang sama.



Gambar 7.2 (a) Organofosfat, (b) Karbamat

7.2 PEMANFAATAN NANOSILVER UNTUK PENGENDALIAN LARVA AEDES AEGYPTY

Pemanfaatan material nanosilver dalam pengendalian larva, dilakukan dengan uji toksisitas dengan membandingkan dengan senyawa Karbamat dan Organophosfat. Hasil uji sebagai komparasi tingkat toksisitas material nanosilver, karbamat, organophosfat dan sintesisnya untuk pengendalian *Aedes* dalam bentuk larva.

1. Metode Uji Nanosilver

Penelitian dilakukan dengan metode standard untuk larva. Jumlah larva sebagai hewan uji sebanyak 25 ekor, dilakukan dengan pengamatan untuk 2 jam pertama dan 24 jam. Penelitian dimulai dengan pembuatan nano-silver yang berasal dari pemrosesan Ag_2NO_3 . Bahan Ag_2NO_3 diperoleh

dari penyedia bahan kimia. Organofosfat diperoleh dari produk pasaran dan dilakukan standarisasi untuk menentukan konsentrasi. Vektor *Anopheles* yang digunakan untuk uji toksisitas digunakan larva instar 3-4. Uji toksisitas untuk larva dilakukan dengan metode *liquid* (perendaman). Jumlah sampel dalam penelitian, dihitung dengan pendekatan experiment rancangan acak lengkap. Secara sederhana dapat dirumuskan sebagai berikut $(t-1)(r-1) > 15$. Jumlah sampel penelitian 20 buah. Larutan yang digunakan sebagai uji antara lain Organofosfat (Malathion 3 gr) dan larutan nano $AgNO_3$ (0,2 %). Tahapan pembuatan larutan induk Organofosfat (Malathion 2%) untuk memperoleh 2 konsentrasi yaitu 0,1 ppm dan 1 ppm, tahapan pembuatan larutan induk 0,1 ppm. Pembuatan larutan uji nanosilver dirancang dengan konsentrasi larutan induk 2 ppm.

Uji toksisitas menggunakan material nano yang telah dibuat diujikan pada larva nyamuk jenis *Anopheles* instar 3. Tahapan uji toksisitas yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Wadah berbentuk gelas transparan disiapkan sebanyak 21 buah untuk uji 3 jenis larutan dengan 6 konsentrasi dan 1 kontrol pada masing-masing larutan.
2. Pengamatan dilakukan pada 2 jam pertama kemudian dicatat hasil pengamatan.
3. Pengamatan dilakukan lagi pada 24 jam berikutnya kemudian dicatat hasil pengamatan tersebut.

2. Pemanfaatan Nanosilver

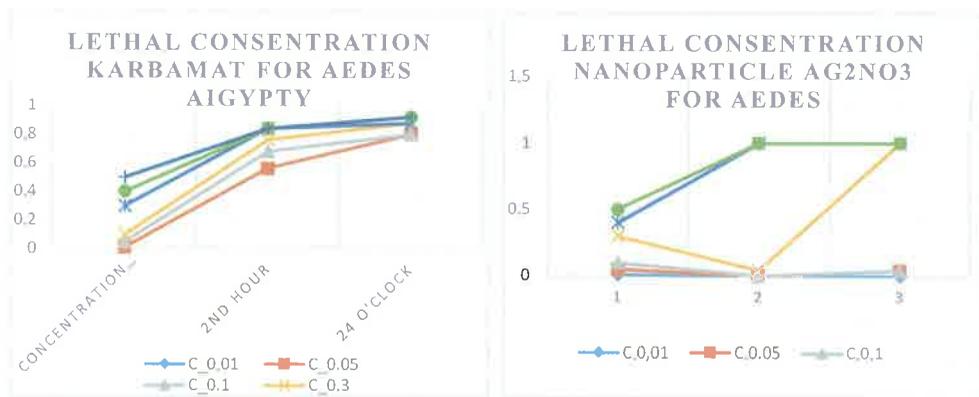
Uji toksisitas Nanosilver (Ag_2NO_3) dilakukan terhadap larva *Aedes aegypti* pada instar 3-4. Sebanyak 25 ekor hewan uji dilakukan uji dengan berbagai konsentrasi Nano Partikel Perak Nitrat. Pada pengamatan 2 jam pertama, pada konsentrasi 0,01 mg/lit, tidak ada hewan uji yang mati. Begitu pula dengan dengan konsentrasi 0,05 mg/lit dan 0,1 mg/lit. Pada konsentrasi 0,3 mg/lit mengalami kematian 4%, sedangkan pada konsentrasi 0,4 mg/lit dan 0,5 mg/lit seluruh hewan uji (100%) mengalami kematian. Pada konsentrasi 0,01mg/lit, 0,05 mg/lit dan 0,1 mg/lit, memperlihatkan hewan uji bergerak lebih aktif.

Pada pengamatan jam ke 24, diperoleh pada konsentrasi 0,01 mg/lit tidak ada (0%) hewan uji yang mati. Kematian hewan uji baru terlihat pada

konsentrasi 0,05 mg/l (4%) dan 0,1 mg/l (4%). Pada konsentrasi 0,3 mg/l hingga 0,5 mg/l seluruh hewan uji (100%) mengalami kematian. Hasil pengamatan juga masih menunjukkan terjadinya keaktifan instar pada konsentrasi Ag_2NO_3 rendah yaitu 0,01 mg/l-0,1 mg/l. Hasil uji toksisitas nanopartikel Ag_2NO_3 terhadap instar 3-4 *Aedes aegypti* disajikan pada Tabel 7.1 dan Gambar 7.3.

Table 7.1 Hasil Uji Toksisitas Nanopartikel Ag_2NO_3 dan Karbamat pada Instar 3-4 *Aedes aegypti*

Konentrasi Karbamat (mg/l)	2 jam	24 jam	Konentrasi Ag_2NO_3 (mg/l)	2 jam	24 jam
0,01	56%	80%	0,01	0%	0%
0,05	68%	80%	0,05	0%	4%
0,1	76%	88%	0,1	0%	4%
0,3	84%	88%	0,3	4%	100%
0,4	84%	92%	0,4	100%	100%
0,5	84%	92%	0,5	100%	100%



Gambar 7.3 Perkembangan Persentasi Kematian Instar 3-4 *Aedes aegypti* dengan Material Karbamat (CO_2NH_3 derivatives)

3. Komparasi Nanosilver dengan Karbamat

Senyawa karbamat, merupakan salah satu material yang banyak digunakan dalam pengendalian vektor. Sebagai pembanding hasil uji

coba dilakukan dengan menggunakan material Karbamat. Proses ujicoba dilakukan dengan prosedur uji, sesuai dengan metode yang sesuai. Uji toksisitas Karbamat dilakukan terhadap instar *Aedes aegypti* masing masing sebanyak 25 ekor, dengan menggunakan kontrol. Pengamatan dilakukan pada 2 jam pertama dan setelah 24 jam.

Pada 2 jam pertama pada konsentrasi 0,01 mg/lit sebanyak 56% instar *Aedes aegypti* mengalami kematian. Pada konsentrasi tertinggi saat uji sebesar 0,5 mg/lit, maka sebanyak 84% hewan uji mengalami kematian. Persentase mengalami peningkatan dari 56% (0,01 mg/lit) menjadi 84% (0,5 mg/lit).

Pada pengamatan setelah 24 jam terhadap hewan uji, diperoleh bahwa pada konsentrasi 0,01 mg/lit hewan uji yang mengalami kematian sebanyak 80%. Kematian tersebut mengalami peningkatan hingga 92% pada konsentrasi 0,5 mg/lit. Hasil uji toksisitas Karbamat terhadap instar 3-4 *Aedes aegypti* disajikan pada Tabel 7.2 dan gambar 7.4.

Tabel 7.2 Hasil uji toksisitas nanopartikel Ag_2NO_3 dan Karbamat pada Instar 3-4 *Aedes aegypti*

Konsentrasi karbamat (mg/l)	2 jam	24 jam	Konsentrasi Ag_2NO_3 (mg/l)	2 jam	24 jam
0,01	56%	80%	0,01	0%	0%
0,05	68%	80%	0,05	0%	4%
0,1	76%	88%	0,1	0%	4%
0,3	84%	88%	0,3	4%	100%
0,4	84%	92%	0,4	100%	100%
0,5	84%	92%	0,5	100%	100%

Uji Nanopartikel Ag_2NO_3 (Perak Nitrat) pada pengamatan 2 jam pada konsentrasi 0,4 mg/lit dan 0,5 mg/lit 100% hewan uji mengalami kematian. Pada pengamatan 24 jam pertama pada konsentrasi 0,3 mg/lit hingga 0,5 mg/lit seluruh hewan uji (100%) mengalami kematian. Pada konsentrasi 0,3 mg/lit seluruh hewan uji (100%) mengalami kematian. Konsentrasi ini lebih kecil dibandingkan dengan karbamat. Hal ini dikarenakan partikel nano, memiliki ukuran 1-100 nm, memiliki daya tembus yang tinggi terhadap seluruh media yang ada disekitarnya.

4. Biokimia Proses Nanosilver pada Larva

Pengendalian secara kimia dengan memanfaatkan berbagai bahan sintesis, olahan dan turunan senyawa organofosfat dan karbamat masih banyak dimanfaatkan. Pengendalian dilakukan terhadap vektor pada fase larva-pupa, hingga dewasa. Fase Instar 3-4 *Aedes aegypti* di air memanfaatkan oksigen dan mineral dalam air untuk hidupnya. Absorpsi oksigen melalui permukaan kulit dan mineral melalui mulut merupakan mekanisme biokimia dalam siklus hidup larva. Mekanisme biokimia dalam tubuh larva dimanfaatkan untuk memilih bentuk intervensi agar larva tersebut mudah dimusnahkan dan tidak diberikan kesempatan menjadi nyamuk dewasa.

Hasil penelitian uji toksisitas partikel nano silver (Ag_2NO_3), menunjukkan pada konsentrasi rendah (0,01-0,1 mg/Lt) terjadi keaktifan larva *Aedes aegypti*. Keaktifan ini menunjukkan terjadinya kesesuaian mineral nitrat sebagai materi esensial untuk tumbuh kembang, sehingga mendorong keaktifan dari larva. Enzim *Acetylcholinesterase* (AChE) dapat tumbuh secara optimum. Hal ini sesuai dengan teori Leibig, bahwa pertumbuhan organisme dikendalikan oleh faktor pembatas.

Larva bernafas melalui corong pada ekornya, dan memasukan bahan makanan melalui saluran (gastrointestinal) dan melalui pori pori abdomen. Pori pori tubuh larva diperkirakan memiliki ukuran lebih besar dari partikel nano Ag_2NO_3 . Partikel tersebut memiliki daya tembus pada larva *Aedes*. Adanya potensi masuknya partikel nano melalui pori dan saluran makanan, menyebabkan kecepatan partikel untuk berinteraksi dengan system enzim dalam tubuh larva meningkat. Sehingga dalam konsentrasi rendah sudah terakumulasi dalam tubuh larva yang mampu menghambat system kerja Enzim *Acetylcholinesterase* (AChE). Hal ini dapat dipahami mengapa konsentrasi Nano Silver (Ag_2NO_3) lebih rendah dibandingkan dengan Karbamat.

5. Karbamat (CO_2NH_2 derivatives)

Karbamat merupakan senyawa yang paling banyak digunakan untuk insektisida. Pestisida yang termasuk kedalam golongan karbamat antara lain: propoksur, furadan dan bendiocarb. [16] Insektisida berbahan aktif

karbamat (metonil) pada nyamuk *Ae. aegypti*, konsentrasi yang dibutuhkan untuk LC50 0,802 mg/l dan LC95 sebesar 18,832 mg/l. Konsentrasi efektif terhadap nyamuk *Ae. aegypti* dibutuhkan nilai yang lebih kecil dibandingkan karbamat untuk LC50 yaitu sebesar 0,64 mg/ l.

Hasil penelitian untuk toksisitas karbamat menunjukkan bahwa sampai konsentrasi 0,5 mg/l tingkat kematian sebesar 92%. Pada konsentrasi lebih rendah 0,01 mg/l kematian hewan uji sebesar 80%. Dibutuhkan konsentrasi lebih besar dari 0,5 mg/l untuk membunuh seluruh hewan uji. Angka konsentrasi tersebut menunjukkan terjadinya resistensi pada larva *Aedes aegypti*.

Penelitian ini juga terjadi pada negara lain. Variasi kematian (*mortalitas*) dan sifat resistensi *Aedes* terhadap insektisida di berbagai negara dipengaruhi perbedaan sifat bio-ekologi pada setiap nyamuk. Sifat tersebut dikendalikan oleh intensitas metabolisme enzim *Monooxygenases*, *Esterases*, *Acetylcholinesterase* (AChE) dan *Glutathione-S-transferase* (GST)) dalam proses detoksifikasi insektisida.

Kinerja enzim tersebut sebagai determinan penyerapan insektisida terhadap nyamuk target. *Target site* spesifik biasanya berupa enzim atau protein yang berperan sebagai efektor dari insektisida. Penelitian lain menunjukkan tingginya aktivitas metabolisme enzim *Esterases* pada *Aedes aegypti*, di Sri Lanka menyebabkan *Potential Resistance* terhadap malathion Rendahnya aktivitas enzim *Glutathione-S-transferase* (GSTs) pada *Aedes aegypti* di Sri Lanka menyebabkan status kerentanan (*mortalitas*) nyamuk yang tinggi terhadap λ -*Cyhalothrin*.

Karbamat bekerja menghambat enzim asetilkolinesterase (AChE) yang mengakibatkan akumulasi asetilkolin (ACh) Asetilkolin yang ditimbun dalam Sistem Syaraf Pusat (SSP) akan menginduksi tremor, inkoordinasi, kejang-kejang dan lain-lain. *Acetylcholinesterase* (AChE) adalah target yang telah terbukti untuk mengendalikan nyamuk Demam Berdarah (*Aedes aegypti*). Mutasi asam amino tunggal (G119S) di *Aedes aegypti* membentuk AChE-1 (AgAChE), yang memberikan resistensi terhadap *inhibitor* AChE. Resistensi G119S, mutan AgAChE, dan toksisitas tinggi terhadap *An. gambiae* membawa pengaruh terjadinya perubahan sifat. Inhibitor dapat

dimunculkan dari karbamat berbentuk "inti-kecil" seperti *aldicarb* dan *pirazol-4-yl metilkarbamat 4a-e*. Meskipun tidak satupun dari ini senyawa menunjukkan selektivitas yang berguna untuk penghambatan AgAChE menjadi AChE. [16]

Konsentrasi karbamat yang tinggi untuk membunuh larva *Aedes aegypti*, disebabkan proses masuknya materi tersebut hanya melalui saluran pencernaan (gastrointestinal). Dibutuhkan konsentrasi tinggi untuk mencapai terjadinya gangguan sistem enzim pada larva *Aedes*. Enzim *Acetylcholinesterase* (AChE), sebagai pengendali metabolisme larva *Aedes*, belum tuntas dengan konsentrasi karbamat sebesar 0,5 mg/lit.

Sistesis untuk partikel nano silver (Ag_2NO_3) dengan karbamat merupakan langkah lanjutan untuk menemukan konsentrasi efektif dalam penggunaan karbamat, atau nano silver secara mandiri. Sintesis dimungkinkan adanya kombinasi sistem masuknya bahan kimia ke dalam tubuh larva. Nanosilver mampu menembus melalui pori antar ruas pada abdomen, sedangkan karbamat dapat masuk ke dalam tubuh nyamuk melalui sistem gastrointestinal. Sintesis juga akan menghasilkan senyawa baru dengan sifat spesifik yaitu Ag_2NO_3 dan CO_2NH_3 . Sangat dimungkinkan akan terjadi reaksi substitusi menghasilkan senyawa baru Ag_2NH_3 dengan terjadinya pemotongan rantai NH_3 dari CO_2NH_3 .

- i) Pada konsentrasi 0,5 mg/lit senyawa karbamat (CO_2NH_3) mampu membunuh 92% hewan uji.
- ii) Pada Konsentrasi 0,3 mg/lit Nanosilver (Ag_2NO_3) mampu membunuh 100% hewan uji.
- iii) Nanosilver (Ag_2NO_3) lebih efektif dalam membunuh hewan uji (Larva *Aedes aegypti*).

7.3 PEMANFAATAN NANOSILVER UNTUK LARVA ANOPHELES

1. Pemanfaatan Nanosilver untuk Pengendalian larva *Anopheles*

Perubahan perilaku *Anopheles*, disamping disebabkan perubahan iklim juga dipicu oleh penggunaan insektisida dalam upaya pengendalian. Terjadinya resistensi bagi vektor *Anopheles* sebagai penular penyakit malaria, membahayakan terhadap kehidupan. Resistensi menuntut

peningkatan dosis penggunaan insektisida. Peningkatan dosis mengancam organisme non target dan membahayakan lingkungan. Insektisida Jenis Organohosfat $C_{10}H_{19}O_6PS_2$ Merupakan Salah Satu Materi Yang Digunakan Untuk Pengendalian Vektor. Hasil penelitian konsentrasi organofosfat menunjukkan pada tingkat konsentrasi 0,03 mg/l, 100% menunjukkan resistensi. Hasil Penelitian WHO menunjukkan Konsentrasi Rekomendasi Penggunaan Karbamat Sebesar (0,2 mg/l). Teknologi nano dengan perkembangannya, telah merambah ke berbagai pemanfaatan. Dalam bidang kesehatan terdapat beberapa material yang pernah dicoba di negara lain, dengan Nano-TiO₂, Silica dan bahan herbal. Nano-Silver yang berasal dari bahan Ag₂NO₃, mudah diperoleh dan bisa digunakan untuk bidang kesehatan.

2. Karbamat pada Uji Pada Larva, Instar 3-4 *Anopheles*

Pemanfaatan Karbamat dalam pengendalian Larva *Anopheles* sudah banyak diterapkan. Hasil uji coba Karbamat untuk kontrol larva *Anopheles* telah dilakukan uji coba di laboratorium. Penelitian dilakukan untuk pengamatan 2 jam dan 24 jam. Hasil penelitian menunjukkan sebagaimana tabel berikut.

Tabel 7.3 Uji Toksisitas Karbamat pada Hewan Uji *Anopheles* (2 jam)

Konsentrasi (mg/l)	Karbamat (Furadan)				
	Kontrol	Hidup	%	Mati	%
0,001	25	16	64%	9	36%
0,003	25	17	68%	8	32%
0,005	25	15	60%	10	40%
0,007	25	18	72%	7	28%
0,01	25	17	68%	8	32%

Uji Karbamat (CO_2NH_3 derivatives) pada 2 jam pertama pada konsentrasi tertinggi saat uji sebesar 0,01 mg/l, sebanyak 32% hewan uji mengalami kematian. Hasil uji coba konsentrasi Karbamat pada pengamatan 24 jam disajikan pada Tabel 7.4.

Tabel 7.4 Uji Toksisitas Karbamat pada Hewan Uji *Anopheles* (24 jam)

Konsentrasi (mg/l)	Karbamat (Furadan)				
	Kontrol	Hidup	%	Mati	%
0,001	23	6	26%	17	74%
0,003	23	8	35%	15	65%
0,005	23	5	22%	18	78%
0,007	23	4	17%	19	83%
0,01	23	0	0%	23	100%

Pada pengamatan setelah 24 jam terhadap larva *Anopheles* sebagai hewan uji, kematian tersebut mengalami peningkatan hingga 100% pada konsentrasi 0,01 mg/lt.

Nanosilver pada Uji Pada Larva, Instar 3-4 *Anopheles*

Pemanfaatan Nanosilver untuk pengendalian larva *Anopheles* telah dilakukan uji coba pada wilayah endemis malaria. Pengujian pada wilayah endemis ini untuk menyesuaikan kondisi habitat yang sesungguhnya. Air yang digunakan untuk proses penelitian diambil dari tempat biakan pada wilayah Kecamatan Kaligesing Purworejo. Berikut disajikan hasil pengamatan untuk 2 jam dan 24 jam. Pada pengamatan 2 jam pertama, pada konsentrasi 0,1 mg/lt, sebanyak 70% hewan uji yang mati.

Table 7.5 Uji Toksisitas Nanosilver pada Hewan Uji *Anopheles* (2 jam)

Konsentrasi (mg/l)	Ag ₂ NO ₃				
	Kontrol	Hidup	%	Mati	%
0,10	20	6	30%	14	70%
0,15	20	7	35%	13	65%
0,20	20	7	35%	13	65%
0,25	20	12	60%	8	40%
0,30	20	11	55%	9	45%
0,35	20	8	40%	12	60%

Table 7.6 Uji Toksisitas Nanosilver pada Hewan Uji *Anopheles* (24 jam)

Konsentrasi (mg/l)	Nanosilver Ag_2NO_3				
	Kontrol	Hidup	%	Mati	%
0,10	18	7	39%	11	61%
0,15	18	5	28%	13	72%
0,20	18	7	39%	11	61%
0,25	18	5	28%	13	72%
0,30	18	1	6%	17	94%
0,35	18	0	0%	18	100%

Pada pengamatan jam ke 24, Kematian 100% hewan uji baru terlihat pada konsentrasi 0,35 mg/l. Hasil pengamatan juga masih menunjukkan terjadinya keaktifan instar pada konsentrasi Ag_2NO_3 rendah yaitu 0,20 mg/l-0,1 mg/l. Hasil penelitian uji toksisitas partikel nano silver (Ag_2NO_3), menunjukkan pada konsentrasi rendah (0,10-0,2 mg/l) terjadi keaktifan larva *Anopheles* ini menunjukkan terjadinya kesesuaian mineral nitrat sebagai materi esensial untuk tumbuh kembang, sehingga mendorong keaktifan dari larva.

4. Pemanfaatan Organofosfat untuk pengendalian Larva, Instar 3-4 *Anopheles*

Pemanfaatan Organofosfat telah dilakukan uji pada wilayah endemis. Penggunaan air pada wilayah habitat, untuk menyesuaikan kondisi nyata tempat biakan (*breeding place*). Pengujian dilakukan pada pengamatan 2 jam dan 24 Jam. Hasil penelitian disajikan pada Tabel 7.7.

Tabel 7.7 Uji Toksisitas Organofosfat pada Hewan Uji *Anopheles* (2 jam)

Konsentrasi (mg/l)	Organofosfat (Malathion)				
	Kontrol	Hidup	%	Mati	%
0,01	21	14	67%	7	33%
0,03	21	13	62%	8	38%
0,05	21	9	43%	12	57%
0,06	21	8	38%	13	62%
0,07	21	7	33%	14	67%

Uji Organofosfat pada 2 jam pertama, pada konsentrasi tertinggi saat uji sebesar 0,07 mg/l, sebanyak 67% hewan uji mengalami kematian.

Tabel 7.8 Uji Toksisitas Organofosfat pada Hewan Uji *Anopheles* (24 jam)

Konsentrasi (mg/l)	Organofosfat (Malathion)				
	Kontrol	Hidup	%	Mati	%
0,01	21	2	10%	19	90%
0,03	21	5	24%	16	76%
0,05	21	8	38%	13	62%
0,06	21	8	38%	13	62%
0,07	21	1	5%	20	95%

Pada pengamatan setelah 24 jam terhadap larva *Anopheles* sebagai hewan uji, diperoleh bahwa pada konsentrasi 0,01 mg/l larva yang mengalami kematian sebanyak 90%.

5. Pemanfaatan Sintesis Nanosilver dan Karbamat Pada Larva, Instar 3-4 *Anopheles*

Table 7.9 Uji sintesis nanosilver nitrat dan karbamat pada hewan uji *Anopheles* (2 jam)

Konsentrasi (mg/l)	Karbamat + 0,05 Ag ₂ NO ₃				
	kontrol	Hidup	%	Mati	%
0,001 + 0,05	22	14	64%	8	36%
0,003 + 0,05	22	15	68%	7	32%
0,005 + 0,05	22	13	59%	9	41%
0,007 + 0,05	22	12	55%	10	45%
0,01 + 0,05	22	11	50%	11	50%

Pada pengamatan 2 jam pertama, dengan konsentrasi 0,01 mg/l dan 0,05 perak nitrat memperlihatkan hewan yang mengalami kematian sebanyak 50%.

Table 7.10 Uji sintesis nanosilver nitrat dan karbamat pada hewan uji *Anopheles* (24 jam)

Konsentrasi (mg/l)	Karbamat + 0,05 Ag ₂ NO ₃				
	Kontrol	Hidup	%	Mati	%
0,001 + 0,05	22	6	27%	16	73%
0,003 + 0,05	22	5	23%	17	77%
0,005 + 0,05	22	0	0%	22	100%
0,007 + 0,05	22	0	0%	22	100%
0,01 + 0,05	22	0	0%	22	100%

Pada pengamatan jam ke 24, kematian hewan uji 100% terlihat pada konsentrasi 0,05 mg/l Karbamat dengan sintesis 0,05 mg/l nano partikel silver nitrat.

6. Pemanfaatan Sintesis Nanopartikel Perak Nitrat (Ag₂NO₃) dan Organophosfat (C₁₀H₁₉O₆PS₂)

Table 7. 11 Uji Sintesis Nanopartikel Perak Nitrat (Ag₂NO₃) dan Organophosfat pada Hewan Uji *Anopheles* (2 jam)

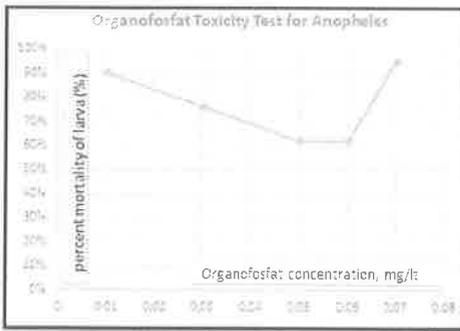
Konsentrasi (mg/l)	Organofosfat (Malathion) + 0,05 Ag ₂ NO ₃				
	Kontrol	Hidup	%	Mati	%
0,01 + 0,05	18	2	11%	16	89%
0,03 + 0,05	18	4	22%	14	78%
0,05 + 0,05	18	2	11%	16	89%
0,06 + 0,05	18	7	39%	11	61%
0,07 + 0,05	18	6	33%	12	67%

Pada pengamatan 2 jam pertama, pada konstrasi 0,01 mg/ltd dan 0,05 nano partikel perak nitrat, sebanyak 89% larva yang mati.

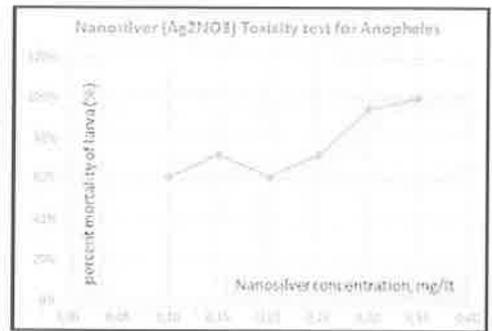
Table 7.12 Uji Sintesis Nanopartikel Perak Nitrat (Ag_2NO_3) dan Organophosfat pada Hewan Uji Anopheles (24 jam)

Konsentrasi (mg/l)	Organofosfat (Malathion) + 0,05 Ag_2NO_3				
	Kontrol	Hidup	%	Mati	%
0,01 + 0,05	23	2	9%	21	91%
0,03 + 0,05	23	4	17%	19	83%
0,05 + 0,05	23	2	9%	21	91%
0,06 + 0,05	23	6	26%	17	74%
0,07 + 0,05	23	0	0%	23	100%

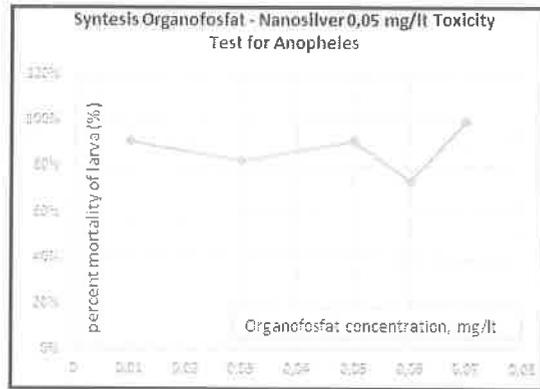
Pada pengamatan jam ke 24, kematian hewan uji 100% terlihat pada konsentrasi 0,07 Organophosfat dengan sintesis 0,05 mg/l nano partikel silver nitrat.



Gambar 7.4 Grafik Uji Toksistas Karbamat



Gambar 7.5 Grafik Uji Toksistas Nano Silvernitrata (Ag_2NO_3)



Gambar 7.6 Uji Toksistas Sintesis Nano Silvernitrata (Ag_2NO_3) dan Karbamat

7.4 UJI PADA NYAMUK DEWASA *Aedes*

Uji Karbamat, Nanosilver Nitrat, dan Organofosfat pada Nyamuk *Aedes aegypti*

Tabel 7.13 Hasil Uji toksistas Karbamat untuk nyamuk dewasa (3 menit)

Konsentrasi (mg/l)	Karbamat (Furadan)				
	Kontrol	Hidup	% (hidup)	Mati	% (mati)
0.01	5	5	100%	0	0%
0.05	5	5	100%	0	0%
0.1	5	5	100%	0	0%
0.5	5	5	100%	0	0%
1	5	5	100%	0	0%
1.5	5	5	100%	0	0%
2	5	5	100%	0	0%

Tabel 7.14 Hasil Uji toksistas nanosilver nitrat untuk nyamuk dewasa (3 menit)

Konsentrasi (mg/l)	Ag_2NO_3				
	Kontrol	Hidup	% (hidup)	Mati	% (Mati)
0.01	5	5	100%	0	0%
0.05	5	5	100%	0	0%
0.1	5	5	100%	0	0%
0.5	5	5	100%	0	0%
1	5	5	100%	0	0%
1.5	5	5	100%	0	0%
2	5	5	100%	0	0%

Tabel 7.15 Hasil Uji toksistas Organofosfat untuk nyamuk dewasa (3 menit)

Konsentrasi (mg/l)	Organofosfat (Malathion)				
	Kontrol	Hidup	% (hidup)	Mati	% (Mati)
1	5	5	100%	0	0%
1.5	5	5	100%	0	0%
2	5	5	100%	0	0%
2.5	5	5	100%	0	0%
3	5	5	100%	0	0%
3.5	5	5	100%	0	0%
4	5	5	100%	0	0%

Pada uji *Aedes aegypti* pengamatan 3 menit, 100% hidup baik pada jenis Karbamat, Ag₂NO₃, dan Organofosfat

Tabel 7.16 Hasil Uji toksistas Karbamat untuk nyamuk dewasa (24 Jam)

Konsentrasi (mg/l)	Karbamat (Furadan)				
	Kontrol	Hidup	% (hidup)	Mati	% (mati)
0.01	5	1	20%	4	80%
0.05	5	1	20%	4	80%
0.1	5	0	0%	5	100%
0.5	5	0	0%	5	100%
1	5	0	0%	5	100%
1.5	5	0	0%	5	100%
2	5	0	0%	5	100%

Tabel 7.17 Hasil Uji toksistas Nanosilver untuk nyamuk dewasa (24 Jam)

Konsentrasi (mg/l)	Ag ₂ NO ₃				
	Kontrol	Hidup	% (hidup)	Mati	% (mati)
0.01	5	5	100%	0	0%
0.05	5	4	80%	1	20%
0.1	5	4	80%	1	20%
0.5	5	4	80%	1	20%
1	5	4	80%	1	20%
1.5	5	4	80%	1	20%
2	5	3	60%	2	40%

Tabel 7.18 Hasil Uji toksistas Organofosfat untuk nyamuk dewasa (24 Jam)

Konsentrasi (mg/l)	Organofosfat (Malathion)				
	Kontrol	Hidup	%	Mati	%
1	5	3	60%	2	40%
1.5	5	0	0%	5	100%
2	5	0	0%	5	100%
2.5	5	0	0%	5	100%
3	5	0	0%	5	100%
3.5	5	0	0%	5	100%
4	5	0	0%	5	100%

Pada uji Karbamat konsentrasi 0,1 mg/l sudah mampu membunuh 100% nyamuk dewasa. Untuk Nanosilver Ag_2NO_3 pada konsentrasi 2 mg/l maksimal bisa membunuh 40%. Sedangkan untuk

Organofosfat konsentrasi 1,5 mg/l mampu membunuh semua (100%).

2. Uji Sintesis Karbamat dengan Nanosilver Nitrat dan Organofosfat dengan Nanosilver Nitrat pada Nyamuk *Anopheles*

Tabel 7.19 Sintesis Karbamat (Furadan) + 2,5 Ag_2NO_3 *Aedes* (3 menit)

Konsentrasi (mg/l)	Karbamat (Furadan) + 2,5 Ag_2NO_3				
	Kontrol	Hidup	% (hidup)	Mati	% (mati)
0.01	5	5	100%	0	0%
0.05	5	4	80%	1	20%
0.1	5	4	80%	1	20%
0.5	5	4	80%	1	20%
1	5	4	80%	1	20%
1.5	5	4	80%	1	20%
2	5	4	80%	1	20%

Tabel 7.20 Sintesis Organophosfat + 2,5 Ag₂NO₃ *Aedes* (pengamatan 3 menit)

Konsentrasi (mg/l)	Organophosfat + 2,5 Ag ₂ NO ₃				
	Kontrol	Hidup	%	Mati	%
1	5	5	100%	0	0%
1.5	5	5	100%	0	0%
2	5	5	100%	0	0%
2.5	5	5	100%	0	0%
3	5	5	100%	0	0%
3.5	5	5	100%	0	0%
4	5	5	100%	0	0%

Hasil pengamatan *Aedes* pada 3 menit menghasilkan Sintesis karbamat + 2,5 Ag₂NO₃, konsentrasi 0,05 mg/l hewan uji mati sebanyak 20%. Sedangkan, Sintesis Organophosfat + 2,5 Ag₂NO₃, 0% (tidak ada yang mati).

Tabel 7.21 Sintesis Karbamat (Furadan) + 2,5 Ag₂NO₃ *Aedes* (pengamatan 24 jam)

Konsentrasi (mg/l)	Karbamat (Furadan) + 2,5 Ag ₂ NO ₃				
	Kontrol	Hidup	% (hidup)	Mati	% (mati)
0.01	5	4	80%	1	20%
0.05	5	1	20%	4	80%
0.1	5	0	0%	5	100%
0.5	5	0	0%	5	100%
1	5	0	0%	5	100%
1.5	5	0	0%	5	100%
2	5	0	0%	5	100%

Tabel 7.12 Sintesis Organophosfat + 2,5 Ag₂NO₃ *Aedes* (pengamatan 24 jam)

Konsentrasi (mg/l)	Organophosfat + 2,5 Ag ₂ NO ₃				
	Kontrol	Hidup	% (hidup)	Mati	% (mati)
1	5	5	100%	0	0%
1.5	5	3	60%	2	40%
2	5	3	60%	2	40%
2.5	5	2	40%	3	60%
3	5	2	40%	3	60%
3.5	5	2	40%	3	60%
4	5	1	20%	4	80%

Hasil pengamatan *Aedes* pada 24 jam menghasilkan Sintesis karbamat + 2,5 mg/lt Ag_2NO_3 , konsentrasi 0,1 mg/l mati 100%. Sedangkan, Sintesis Organofosfat + 2,5 mg/lt Ag_2NO_3 , konsentrasi 4 mg/l mati 80% .

7.5 TOKSISITAS NANOSILVER UNTUK *ANOPHELES*

1. Persiapan Uji

Hewan uji yang digunakan nyamuk *Anopheles* dewasa. Nyamuk dewasa diperoleh dari hasil penangkapan di daerah endemis malaria (Kabupaten Purworejo). Penangkapan dilakukan oleh Juru Malaria Desa (JMD), dikoleksi pada Rearing Kit. Jumlah nyamuk yang dibutuhkan sebanyak 5 spesies $\times 5 \times 4 \times 2 = 200$ ekor. Nyamuk dipilih yang sehat dengan usia 3-5 hari. Material nanosilver nitrat diperoleh dari laboratorium terpadu Undip bagian Bio-nano, sekaligus membuat larutan sistesis serta pembuatan larutan karbamat dan organofosfat. Ukuran konsentrasi masing-masing yaitu nanosilver 1500 ppm, karbamat 10 mg/l, dan organofosfat 10 mg/l. Proses pelarutan dibantu oleh alat Overhead Stirer. Proses pengadukan selama 5 jam untuk nano silver nitrat sedangkan untuk karbamat dan organofosfat selama 1 jam. Persiapan Kelambu berinsektisida didesain sesuai dengan tempat rearing nyamuk dewasa. Kelambu berbahan menyerupai sintetik yang dipakai oleh masyarakat sebagai pelindung dari nyamuk. Masing-masing kelambu direndam dengan larutan insektisida (nano silver nitrat, Karbamat, Organofosfat, sintesis nanosilver Karbamat dan Nanosilver Organofosfat) dengan konsentrasi berbeda. Waktu yang dibutuhkan untuk perendaman yaitu selama 2 jam agar larutan konsentrasi menyerap pada bagian kelambu dan diharapkan efektif membunuh nyamuk. Pengamatan kematian nyamuk dilakukan dalam 3 menit awal dan setelah 24 jam, setelah hewan uji dimasukan ke dalam Rearing Kit.

2. Perhitungan Lethal Consentration (LC50)

Perhitungan LC50 dilakukan dengan membuat grafik menggunakan data hasil penelitian setiap konsentrasi. Hasil plotting akan menghasilkan formula $Y = Ax + B$. Menggunakan formula tersebut dengan memasukan 50% pada Y, akan dihasilkan konsentrasi LC50.

3. Hasil Uji

Uji toksistas dilakukan untuk 3 material yaitu Nano silver nitrat (Ag_2NO_3), Organophosphate ($\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{O}_6\text{PS}_2$) Carbamat (CO_2NH_3). Uji toksisitas sintesis dilakukan untuk Nano silver nitrat dengan Carbamat dan Organophosfat. Pengamatan dilakukan pada 3 menit awal dan setelah 24 jam, setelah hewan uji dimasukkan ke dalam Rearing Kit. Hewan uji sebanyak 5 ekor *Anopheles*, kemudian dilakukan pengamatan, 3 menit awal dan setelah 24 Jam. Uji toksistas dilakukan pada habitat *Anopheles*, yaitu pada salah satu rumah penduduk di Kecamatan Kaligesing, Kabupaten Purworejo.

Uji Toksisitas Nano silver nitrat terhadap nyamuk *Anopheles*, dilakukan pada kondisi suhu udara 27,8-28°C, dan kelembaban sekitar 71%. Konsentrasi uji nano silver nitrat pada control, jumlah hewan uji yang mati sebanyak 20%. Pada konsentrasi 0,01 mg/lit, sebanyak 60% mengalami kematian. Pada konsentrasi 0,05 mg/liter, sebanyak 80% hewan uji mengalami kematian. Kematian hewan uji tersebut mengalami penurunan menjadi 60% pada konsentrasi 0,1mg/lit dan 0,5 mg/lit. Hasil uji juga menunjukkan pada konsentrasi 1 mg/lit, 1,5 mg/lit dan 2 mg/lit semua hewan uji (100%) mengalami kematian.

Uji Toksisitas Carbamat terhadap nyamuk *Anopheles*, menunjukkan bahwa semua hewan uji pada control semua hidup. Kematian paling tinggi 80%, terjadi pada konsentrasi 0,1 mg/lit, 0,5 mg/lit, 1 mg/lit, 1,5 lt/det, 2 mg/lit. Pada konsentrasi 0,01 kematian sebanyak 60%, menurun menjadi 40% 0,05 mg/lit.

Organophosfat ($\text{C}_{10}\text{H}_{19}\text{O}_6\text{PS}_2$) dilakukan uji toksisitas dengan menggunakan hewan uji *Anopheles*. Hasil uji menunjukkan maksimum kematian hewan uji sebanyak 80% terjadi pada konsentrasi 1,5 mg/lit dan 2 mg/lit. Pada konsentrasi 0,5 mg/lit dan 1 mg/lit kematian hewan uji sebanyak 40%. Konsentrasi 0,01 mg/lit-0,1 mg/lit, kematian hewan uji sebanyak 20%.

Hasil uji menunjukkan Nano silver nitrat (Ag_2NO_3) dengan konsentrasi yang sama memiliki tosisitas lebih tinggi, dibandingkan dengan Carbamat dan Organophosfat. Pada konsentrasi 1 mg/lit, Nano silver nitrat memiliki kemampuan membunuh 100% hewan uji. Pada konsentrasi

yang sama, Carbamat membunuh 80% hewan uji, sedangkan untuk Organophosfat membunuh 40%. Hasil uji toksisitas nano silver nitrat, Carbamat dan Organophosfat, disajikan pada table 1.

Table 7.23 Hasil Uji Toksisitas Nano silvernitrat (Ag_2NO_3), Carbamat (CO_2NH_3), Organophosfat ($C_{10}H_{19}O_6PS_2$)

Concentration (mg/l)	Ag_2NO_3 (24 hour)		Carbamat (24 hour)		Organophosfat (24 hour)		indoor temperature	Outdoor temperature	humidity (%)
	death	%	death	%	death	%			
Control	1	20%	0	0%	0	0%	29 °C	28 °C	84%
0,01	3	60%	3	60%	1	20%	28,8 °C	27,8 °C	71%
0,05	4	80%	2	40%	1	20%	28,8 °C	27,8 °C	71%
0,1	3	60%	4	80%	1	20%	28,8 °C	27,8 °C	71%
0,5	3	60%	4	80%	2	40%	28,8 °C	27,8 °C	71%
1	5	100%	4	80%	2	40%	28,8 °C	27,8 °C	71%
1,5	5	100%	4	80%	4	80%	28,8 °C	27,8 °C	71%
2	5	100%	4	80%	4	80%	28,8 °C	27,8 °C	71%

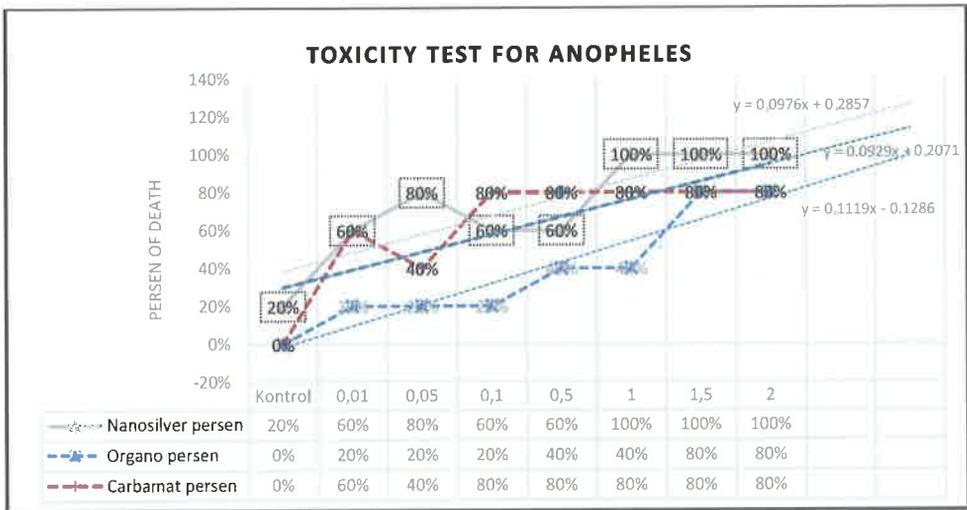
Uji toksisitas dengan melakukan sintesis Nano silver nitrat dengan Carbamat dan Organophosfat. Sintesis ini dilakukan untuk mencari alternative dalam upaya menurunkan konsentrasi penggunaan Organophosfat dan Carbamat. Sintesis 0,5 mg/l nano silver, terhadap Carbamat dan Organophosfat, mulai dari konsentrasi 0,01 mg/l-2 mg/l. Hasil uji Sintesis nano silver dengan Carbamat menunjukkan kematian maksimum 80% hewan uji, pada sintesis 2 mg/l Carbamat dengan 0,5 mg/l Nano silver. Pada sintesis Organophosfat dengan Nano silver, menunjukkan pada konsentrasi 1 mg/l Organofosfat dan 0,5 mg/l nano silver mampu menurunkan 80% hewan uji, meskipun mengalami penurunan pada konsentrasi 1,5 mg/l dan 0,5 mg/l, menjadi 60% kematian hewan uji. Konsentrasi 2 mg/l organofosfat dan 0,5 mg/l nano silver, kematian hewan uji mengalami kenaikan menjadi 80%. Hasil uji sintesis Nanosilver, Carbamat, dan Organophosfat, disajikan pada table 7.24.

Table 7.24 Hasil Uji Toksisitas Sintesis Nano silbernitrat (Ag_2NO_3), Carbamat (CO_2NH_3), Organophosfat (C H O P S)
 10 19 6 2

Concentration (mg/l)	Syntesis Nanosilver nitrat - Organophosfat		Syntesis Nanosilver nitrat - Carbamat		indoor temperature	outdoor temperature	humidity (%)
	death	%	Death	%			
Kontrol	1	20%	0	0%	29 °C	28 °C	84%
0,01 + 0,5	2	40%	1	20%	29 °C	28 °C	84%
0,05 + 0,5	1	20%	0	0%	29 °C	28 °C	84%
0,1 + 0,5	1	20%	3	60%	29 °C	28 °C	84%
0,5 + 0,5	3	60%	2	40%	29 °C	28 °C	84%
1 + 0,5	4	80%	2	40%	29 °C	28 °C	84%
1,5 + 0,5	3	60%	3	60%	29 °C	28 °C	84%
2 + 0,5	4	80%	4	80%	29 °C	28 °C	84%

Lethal Concentration (LC) digunakan untuk konsentrasi yang aman dalam pemanfaatan material. LC50 merupakan konsentrasi yang aman dan mampu membunuh 50% hewan uji. Perhitungan LC50 dilakukan dengan memanfaatkan persamaan forecast, setelah dilakukan plotting hasil uji toksisitas. LC50 untuk material Nano silver nitrat, diperoleh dari formula forecast $y = 0,0976x + 0,2857$. Menggunakan formula tersebut LC50, untuk nano silver sebesar 2,227 mg/lit.

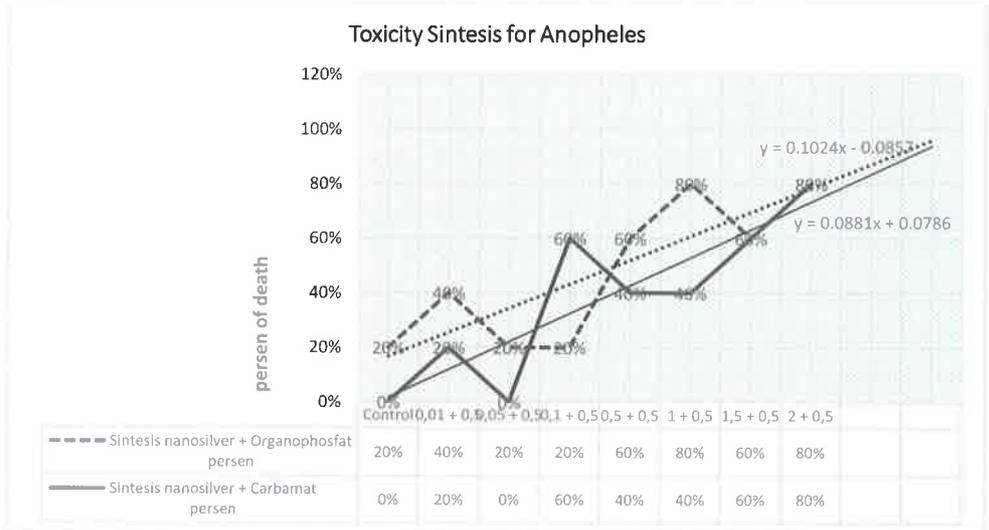
Perhitungan konsentrasi LC50 untuk Organophosphate mengikuti formula $y = 0,0929x + 0,2071$. Menggunakan formula tersebut maka LC50 untuk Organophosphate sebesar 3,15 mg/lit. Sedangkan untuk Carbamate menggunakan formula $y = 0,1119x - 0,1286$. LC50 hasil perhitungan dengan formula tersebut sebesar 5,59 mg/lit. Prediksi konsnetrasi dengan formula hasil penelitian disajikan pada Gambar 7.7.



Gambar 7.7 Prediction (forecast) Lethal Concentration of silver nitrate nanoparticle (Ag_2NO_3), Carbamate (CO_2NH_3), Organophosphate ($C_{10}H_{19}O_6PS_2$)

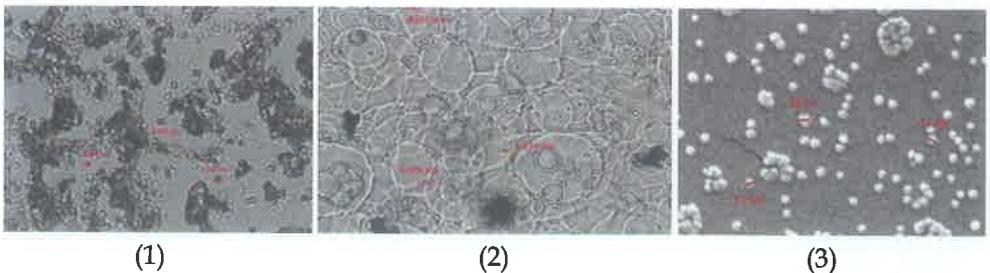
Pada prediksi (forecast) LC50 untuk sintesis material nano silver nitrat dengan carbamate dan organophosphate, mengikuti hasil plotting hasil uji sintesis. Sintesis Nano silver nitrat (Ag_2NO_3) dengan Organophosphate mengikuti formula $y = 0,1024x - 0,0857$. Menggunakan formula tersebut maka LC50 untuk hasil sintesis sebesar 5,71 mg/lit organophosphate dengan 0,5 mg/lit nano silver nitrat. Sedangkan untuk Sintesis Nano silver nitrat

dengan Carbamate, mengikuti formula $y = 0,0881x + 0,0786$. LC50 dicapai pada konsentrasi 4,78 mg/lt. Formula dan plotting forecast nano silver nitrat, organophosphate dan carbamate disajikan pada Gambar 7.8.



Gambar 7.8 Prediction (forecast) Lethal Concentration of Syntesis Silver nitrate nanoparticle (Ag_2NO_3), Carbamate (CO_2NH_3), Organophosphate ($C_{10}H_{19}O_6PS_2$)

Hasil pemotretan dengan menggunakan Spectrofotometer electron di Laboratorium Biologi Universitas Diponegoro, menunjukkan diameter Nano silver yang dihasilkan dari proses, sebesar 72-84 nanometer (nm), sedangkan untuk senyawa Organophosfat sebesar 3.745-3848 um (mikro meter), Carbamate 4.376-4.675 um (mikro meter). Hasil pemotretan ukuran partikel disajikan pada gambar 7.9.



Gambar 7.9 Photo size of Organophosfet (1), Carbamate (CO_2NH_3) (2) Nano silver nitrate (Ag_2NO_3) (3)

Diskusi

Penggunaan insektisida dalam pengendalian nyamuk *Anopheles*, dilakukan dengan metode Indoor Residual Sprayer (IRS), atau dengan Insecticide-treated nets (ITNs) [31]. Mayoritas bahan kimia yang digunakan pada wilayah endemis, seperti Kabupaten Purworejo, adalah material Carbamat dan Organophosfat. [32]. Hasil penelitian menunjukkan LC50, untuk Carbamat sebesar 5,59 mg/lit, sedangkan Organophosfat sebesar 3,15 mg/lit. Hasil tersebut lebih besar dibandingkan dengan uji pada skala laboratorium sebesar 0,07 mg/lit, untuk Organophosfat dan 0,802 mg/lit untuk Carbamat [33]. Hasil tersebut berbeda dari hasil penelitian sebelumnya, sebesar 8,88 mg/lit [34].

Peningkatan penggunaan insektisida memberikan gambaran, terjadinya peningkatan resistensi *Anopheles* oleh penggunaan insektisida Carbamat dan organophosfat. Terjadinya resistensi ini, sesuai dengan kaidah ekologi, bahwa makhluk hidup, akan memberikan reaksi balik terhadap perubahan ekologi. Perubahan dapat secara alami atau aktifitas manusia. Respon organisme, termasuk nyamuk *Anopheles*, akan melakukan migrasi, adaptasi, atau mutasi. Resistensi merupakan bentuk adaptasi dan mutasi. [35]. Aktivitas sel melibatkan enzim esterase, esterase adalah enzim yang paling utama terlibat dalam pengembangan mekanisme resistensi terhadap insektisida kimia sintetis dengan membelah karboksilester dan fosfodiester. Serangga yang resisten biasanya menunjukkan aktivitas esterase yang sangat tinggi. Peningkatan esterase pada berbagai spesies serangga termasuk nyamuk telah dikaitkan terutama dengan peningkatan resistensi terhadap senyawa insektisida.¹

Hasil Uji Nanosilver nitrat memiliki daya bunuh lebih tinggi, dibandingkan dengan Carbamat dan Organophosfat. LC50 untuk nanosilver sebesar 2,22 mg/lit. Mekanisme masuknya nano silver nitrat ke dalam tubuh nyamuk dewasa *Anopheles* sp, lewat sistem pernafasan nyamuk *Anopheles* melalui spirakel (alat pernafasan nyamuk). Pertukaran gas (Pernapasan) pada nyamuk yaitu melalui sistem trakea bercabang-cabang dan terdapat lubang kutikula yang disebut "spirakel" terletak di dada dan perut nyamuk. Spirakel sangat bervariasi secara struktural antara genus dan spesies. spirakel pada sebagian besar serangga memiliki katup penutup dan dapat dikelilingi oleh rambut penangkap debu. Pada nyamuk dewasa spirakel berpasangan,

simmetrik bilateral dan terletak di segmen mesothorax, metathorax, dan abdomen. Lubang tersebut memastikan trade-off antara pertukaran gas dan keluarnya cairan. oksigen yang diperlukan untuk aktivitas sel, harus melewati spirakel untuk memasuki sistem pernapasan. Dengan adanya partikel nanosilver nitrat akan bercampur dengan oksigen masuk system pernafasan nyamuk.² Bercampurnya nanosilver nitrat dengan oksigen kedalam system pernafasan akan mengganggu dan merusak system enzyme sehingga nyamuk *Anopheles* mengalami kematian. [36]. Mekanisme yang terjadi yaitu partikel nano silver nitrat menembus (terpenetrasi) melalui eksoskeleton. Pada lingkup intraseluler nano silver nitrat mengikat sulfur dari protein atau fosfor DNA sehingga menyebabkan proses denaturasi organel dan enzim selanjutnya menyebabkan hilangnya fungsi sel berujung pada kematian sel.³

Hasil uji juga menunjukkan Nano silver nitrat (Ag_2NO_3) dengan konsentrasi yang sama memiliki toksisitas lebih tinggi, dibandingkan dengan Carbamat dan Organophosphate. Pada konsnetrasi 1 mg/lit, Nanosilver nitrat memiliki kemampuan membunuh 100% hewan uji. Pada konsnetrasi yang sama, Carbamat membunuh 80% hewan uji, sedangkan untuk Organophosfat membunuh 40%. Perbedaan tersebut dapat dijelaskan melalui perbandingan diameter partikel. Nanasilver nitart memiliki diameter 70-80 nanomater (nm). Senyawa Organophosfat sebesar 3.745-3848 um (mikro meter), dan Carbamate 4.376-4.675 um (mikro meter). Kecepatan penguapan (vaporasi), sangat dipengaruhi oleh suhu lingkungan sekitar, entalpi dan diameter partikel. Sesuai dengan teor Thomas K Sherwod, bahwa laju sublimasi dipengaruhi faktor suhu, tekanan udara, dan karakteristik material. " $m = 0,0583 \alpha P \sqrt{(M/T)}$ ". Nilai α tergantung dari spesifikasi material dan suntansi. Matrial yang terkomposisi masih dengan diameter penyusun lebih besar, akan memiliki nilai lebih kecil. Partikel nano dengan diameter lebih kecil, struktu lebih mudah terurai, memiliki nilai lebih besar.

Sintesis nanosilvernitrat dengan Organophosfat dan Carbamat menunjukkan hasil yang berbeda. Pada Organophosfat sintesis dengan nanosilvernitratnitrat mampu meningkatkan daya bunuh, Pada Konsentrasi 0,01 mg/lit, secara tunggal membunuh hewan uji, sedangkan bila dilakukan sintesis akan meningkat hingga 40%. Begitu juga pada konsentrasi 0,5 mg/lit 1 mg/lit mengalami peningkatan dari 40% menjadi 60%, dan dari 40% menjadi

80%. Pada sintesis dengan Carbamat justru menghasilkan lebih rendah yaitu pada konsentrasi 40% pada uji tunggal, menjadi 20% ketika dilakukan sintesis. Begitu juga pada konsentrasi 1,5 mg/lit, menurun dari 80% menjadi 60%, hewan uji mengalami kematian.

Peningkatan daya bunuh Organophosfat ketika dilakukan sintesis dengan nanosilver, disebabkan oleh kecepatan laju sublimasi material Organophosfat, ketika dilakukan sintesis dengan material nanosilver nitrat. [39].

Nanosilver nitrat merupakan bahan ramah lingkungan.

Nano silver nitrat merupakan salah satu formulasi nano yang terbukti efektif melawan bakteri, virus, dan mikroorganisme.¹ Penggunaan material nanosilver nitrat (Ag_2NO_3) sebagai bahan ramah lingkungan (green chemistry) [30]

Conclusion

Nanosilver nitrat (Ag_2NO_3), merupakan material ramah lingkungan, memiliki LC50 sebesar 2,22 mg/lit, efektif untuk mengendalikan nyamuk *Anopheles*. Sintesis Nanosilver nitrat dengan Organophofat memiliki daya bunuh lebih baik dibandingkan dengan sintesis nanosilver carbamat.

7.6 DOKUMENTASI PENELITIAN



Pembuatan Larutan



Pembuatan Nanodilver



Pengamatan Larva tahap 1



Pengamatan larva tahap 2



Pengamatan nyamuk dewasa tahap 1



Pengamatan nyamuk dewasa tahap 2

DAFTAR PUSTAKA

- Dung, P., Innalegwu, D.A., Omalu, I., & Hassan, O. 2017 An Overview of Application of Nano Technology on Malaria Control. *Heal. Allied J. Sci*, 16(2).
- Science, I. 2019 Nanotechnology Encompasses the Understanding of Fundamental Physic, Chemistry.

- Department of Nutrition for Health and Development. 2013 WHO Child Growth Standards. *WHO Press*.
- Sailaja, A.K., Chakravarty, P., & Amareshwar, P. 2016 Deferent Technic for Prepartion of Nanoparticle using Natural Polimer and Aplication. *Int. J. Pharm Sci*, 3:45-50.
- Subagyo, A. 2018 The influence of granting npk fertilizer and nanosilic fertilizers on the growth of Ganyong plant (*Canna edulis Ker.*). *IOP Conf. Ser. J. Phys.*
- Murugan et al. 2015 Cymbopogon Citratus-Synthesized Gold Nanoparticles Boost the Predation Efficiency of Copepod Mesocyclops Aspericornis Against Malaria and Dengue Mosquitoes. *Parasitololy J.*, 153:129-138.
- Samlunkhe 2015 The Potential Larvicidal Silver Nanoparticles are Synthesized using the Fungus Cochliobolus Lunatus Against Aedes aegypti (Linnaeus, 1762) and *Anopheles stephensi* Liston (*Diptera; Culicidae*). *Parasitol J.*, 109:823-831.
- Santhoshkumar R.A., et al. 2011 The synthesis of Silver Nanoparticles using Nelumbo Nucifera Leaf Extract and Larvicidal Activity Against Malaria and Filariasis Vectors. *Parasitol Res*, 108:693- 702.
- Amerasan, D., et al. 2016 Myco-synthesis of silver nanoparticles using Metarhizium anisopliae against the rural malaria vector *Anopheles culicifacies* Giles (*Diptera: Culicidae*). *J. Pest Sci*, 89:249- 256.
- Agus, Mudasir & Ria, Journal of Islamic Science and Technology Vol. 3, No.1, Juni 2017 (www.jurnal.ar-raniry.com/index.php/elkawnie)

Pengendalian Ekologis Nyamuk *Anopheles*

Nyamuk *Anopheles* sebagai vektor tular malaria memiliki perilaku yang natural. Target eliminasi malaria Indonesia tahun 2030, tidak bisa lepas dari dinamika nyamuk *Anopheles*. Buku ini berisi pemahaman vektor malaria secara utuh. Pada bagian awal disajikan dinamika kasus malaria secara nasional dan global. Berbagai spesies *Anopheles* dan habitatnya, berikut pengaruh cuaca dan dinamikanya disajikan pada bagian berikutnya. Buku ini juga menyajikan model spasial ekologis dan *Malaria Vulnerability Indeks* (MVI) untuk kerentanan wilayah terhadap malaria. Buku ini juga dilengkapi dengan Teknologi Nanosilver dalam pengendalian nyamuk *Anopheles*, dan *Integrated Vector Management* (IVM) disajikan pada bagian akhir. Buku ini sangat baik untuk pengetahuan bagi mahasiswa, peneliti, maupun praktisi dalam pengendalian malaria.



Dr. Ir. Mursid Raharjo Assidiq, M.Si., lahir di Sukoharjo, Surakarta, Jawa Tengah, tanggal 26 Agustus 1966. Pengajar di Magister Kesehatan Lingkungan FKM Universitas Diponegoro Semarang. Menyelesaikan pendidikan Sarjana Teknik Lingkungan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (1991). Menempuh Master Ilmu Lingkungan (2003) dan Doktor Ilmu Lingkungan (2014) di Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Banyak meneliti dan publikasi internasional bidang Malaria. Nanosilver untuk pengendalian *Anopheles* merupakan salah satu temuan terbaru.



GRAHA ILMU

ISBN: 978-623-376-121-5



9 786233 761215