



**KEPUTUSAN DEKAN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
Nomor: 122/UN7.F3/HK/XI/2022**

TENTANG

PENGANGKATAN PEMBIMBING TESIS/STUDI KASUS  
MAHASISWA A.N. HYLICIA ALEXANDRA KIMBERLY WENAS, DKK.  
PADA PROGRAM STUDI PENDIDIKAN PROFESI INSINYUR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMESTER GASAL TAHUN AKADEMIK 2022/2023

DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS DIPONEGORO,

- Menimbang :
- a. bahwa berdasarkan Pasal 3 huruf a Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 52 Tahun 2015 tentang Statuta Universitas Diponegoro, Universitas Diponegoro memiliki tujuan menghasilkan lulusan yang memiliki kemampuan akademik dan/atau profesional, kemahiran interpersonal dan jiwa kewirausahaan sehingga dapat mengembangkan dan menerapkan ilmu pengetahuan dan teknologi;
  - b. bahwa berdasarkan Pasal 24 ayat (1) Peraturan Rektor Universitas Diponegoro Nomor 5 Tahun 2020 tentang Peraturan Akademik bidang Pendidikan Program Pascasarjana Universitas Diponegoro sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Rektor Universitas Diponegoro Nomor 29 Tahun 2020 tentang Perubahan Atas Peraturan Rektor Nomor 5 Tahun 2020 tentang Peraturan Akademik bidang Pendidikan Program Pascasarjana Universitas Diponegoro, penyusunan tesis dan disertasi mahasiswa di bawah pantauan dan evaluasi dosen pembimbing;
  - c. bahwa guna menunjang kelancaran penyusunan dan bimbingan tesis periode semester gasal tahun akademik 2022/2023 pada Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, perlu mengangkat pembimbing tesis/studi kasus;
  - d. bahwa dengan pertimbangan sebagaimana dimaksud dalam huruf a sampai dengan huruf c, perlu menetapkan Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro;
- Mengingat :
1. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2003 Nomor 78, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4301);
  2. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2012 Nomor 158, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5336);
  3. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 1961 tentang Pendirian Universitas Diponegoro (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 1961 Nomor 25);

4. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Pendidikan Tinggi dan Pengelolaan Perguruan Tinggi (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 16, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5500);
5. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 81 Tahun 2014 tentang Penetapan Universitas Diponegoro sebagai Perguruan Tinggi Negeri Badan Hukum (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 302);
6. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2015 tentang Bentuk dan Mekanisme Pendanaan Perguruan Tinggi Negeri Badan Hukum sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2020 tentang Perubahan Atas Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 2015 tentang Bentuk dan Mekanisme Pendanaan Perguruan Tinggi Negeri Badan Hukum (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 28, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6461);
7. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 52 Tahun 2015 tentang Statuta Universitas Diponegoro (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 170, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5721);
8. Keputusan Majelis Wali Amanat Universitas Diponegoro Nomor 03/UN7.1/HK/2019 tentang Pengangkatan Rektor Universitas Diponegoro Periode 2019-2024;
9. Peraturan Rektor Universitas Diponegoro Nomor 17 Tahun 2016 tentang Penghasilan Lain Pegawai Negeri Sipil dan Non Pegawai Negeri Sipil Di Lingkungan Universitas Diponegoro sebagaimana telah diubah terakhir kali dengan Peraturan Rektor Universitas Diponegoro Nomor 20 Tahun 2019 tentang Perubahan Ketiga Atas Peraturan Rektor Nomor 17 Tahun 2016 tentang Penghasilan Lain Pegawai Negeri Sipil dan Non Pegawai Negeri Sipil Di Lingkungan Universitas Diponegoro;
10. Peraturan Rektor Universitas Diponegoro Nomor 5 Tahun 2020 tentang Peraturan Akademik bidang Pendidikan Program Pascasarjana Universitas Diponegoro sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Rektor Universitas Diponegoro Nomor 29 Tahun 2020 tentang Perubahan Atas Peraturan Rektor Nomor 5 Tahun 2020 tentang Peraturan Akademik bidang Pendidikan Program Pascasarjana Universitas Diponegoro;
11. Peraturan Rektor Universitas Diponegoro Nomor 6 Tahun 2021 tentang Organisasi dan Tata Kerja Unsur-unsur di bawah Rektor Universitas Diponegoro;
12. Peraturan Rektor Universitas Diponegoro Nomor 22 Tahun 2021 tentang Rencana Kerja dan Anggaran Tahunan Universitas Diponegoro Tahun Anggaran 2022;
13. Peraturan Rektor Universitas Diponegoro Nomor 6 Tahun 2022 tentang Standar Biaya Umum Universitas Diponegoro;

**MEMUTUSKAN:**

Menetapkan : KEPUTUSAN DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS DIPONEGORO TENTANG PENGANGKATAN PEMBIMBING TESIS/STUDI KASUS MAHASISWA A.N. HYLICIA ALEXANDRA KIMBERLY WENAS, DKK. PADA PROGRAM STUDI PENDIDIKAN PROFESI INSINYUR FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMESTER GASAL TAHUN AKADEMIK 2022/2023.

- KESATU : Mengangkat pembimbing tesis/studi kasus mahasiswa a.n. Hylcia Alexandra Kimberly Wenas, dkk. pada Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur Fakultas Teknik Universitas Diponegoro semester gasal tahun akademik 2022/2023 sebagaimana tersebut dalam lampiran keputusan ini.
- KEDUA : Kepada pembimbing tesis yang berasal dari Universitas Diponegoro diberikan insentif kelebihan kinerja sebesar:  
- pembimbing utama/ketua : Rp 600.000,00 per mahasiswa lulus; dan  
- pembimbing pendamping : Rp 500.000,00 per mahasiswa lulus.
- KETIGA : Insentif sebagaimana disebutkan pada Diktum Kedua diberikan sesuai kemampuan fakultas yang akan diatur dengan penetapan insentif kelebihan kinerja pada akhir semester oleh Dekan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- KEEMPAT : Segala biaya yang timbul akibat diterbitkannya Keputusan ini dibebankan pada alokasi dana selain APBN Fakultas Teknik RKAT Universitas Diponegoro tahun anggaran 2022.
- KELIMA : Keputusan ini berlaku mulai tanggal 1 Juli 2022 sampai dengan 31 Desember 2022.

Ditetapkan di Semarang  
pada tanggal 22 November 2022

DEKAN FAKULTAS TEKNIK,

ttd

Prof. Ir. M. AGUNG WIBOWO, M.M., M.Sc., Ph.D.  
NIP 196702081994031005

*SALINAN disampaikan kepada:*

1. Rektor Undip
2. Para Wakil Dekan Fakultas Teknik Undip
3. Ketua Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur Fakultas Teknik Undip
4. Supervisor Akademik dan Kemahasiswaan Fakultas Teknik Undip
5. Supervisor Sumber Daya Fakultas Teknik Undip
6. Yang bersangkutan

SALINAN SESUAI DENGAN ASLINYA  
MANAJER TATA USAHA FAKULTAS TEKNIK

  
ARI EKO WIDYANTORO, S.T., M.Si.  
NIP 197510172003121004

LAMPIRAN  
 KEPUTUSAN DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS DIPONEGORO  
 NOMOR : 122/UN7.F3/HK/XI/2022  
 TENTANG :  
 PENGANGKATAN PEMBIMBING TESIS/STUDI KASUS MAHASISWA A.N.  
 HYLICIA ALEXANDRA KIMBERLY WENAS, DKK. PADA PROGRAM STUDI  
 PENDIDIKAN PROFESI INSINYUR FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS  
 DIPONEGORO SEMESTER GASAL TAHUN AKADEMIK 2022/2023

No	Nama Pembimbing	Jabatan	Nama Mahasiswa	NIM	Judul
1	Ir. Agung Nugroho, M.Kom., IPU.	Pembimbing I	Hylcia Alexandra Kimberly Wenas	21000122210061	Efektifitas pemadatan pada konstruksi Tailing Storage Facility pada proyek Tambang emas martabe
			Ali Murtopo	21000122210013	KAJIAN CONTRACT CHANGE ORDER (CCO) PADA PROYEK PEMBANGUNAN LABORATORIUM TERPADU UNIVERSITAS TIDAR
		Pembimbing II	Karjaya	21000122210039	OPTIMALISASI PELAKSANAAN PEMBANGUNAN INFRASTRUKTUR JALAN DESA BERSKALA DESA SECARA SWAKELOLA (STUDI KASUS : PEMBANGUNAN JALAN USAHA TANI PADA PROGRAM PEMBANGUNAN DAN PEMBERDAYAAN MASYARAKAT (P3MD) KEMENTERIAN DESA DAN TRANSMIGRASI – RI DI DESA MANIIS KECAMATAN PSAWAHAN KABUPATEN KUNINGAN PROVINSI JAWA BARAT)
			Nismalia Fitriyani	21000122210046	Analisis Manajemen Waktu Pada Tahap Pelaksanaan Pekerjaan Struktur Pada Proyek Bangunan Gedung Mall Living World Denpasar Bali
2	Dr. Ir. Agus Suprihanto, S.T, M.T., IPM.	Pembimbing I	Edy Yurisman	21000122210041	Audit Energi pada fasilitas lapangan Migas (Studi Kasus: PT Pertamina EP Asset 2 Field Ramba)
			Fx Arif Wahyudianto	21000122210115	Pengembangan Inhibitor Organik Untuk Mengendalikan Laju Korosi Logam Pada Kapal Laut
		Pembimbing II	Kurnia Denni Prabowo	21000122210037	Analisa Perhitungan Kerugian Gesek Pada Pipa Tekan Pompa Pengisi Rooftank Air Bersih Perencanaan Pembangunan Gedung Pusat Layanan Kesehatan Ibu dan Anak RSUP Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar
			Agus Hariyanto	21000122210118	Pengaruh Kekerasan Terhadap Variasi Heat Input Sambungan Las Tak Sejenis Pada Baja Karbon A36 Dan Baja Tahan karat (AISI 304)
3	Dr. Ir. Anik Sarminingsih, M.T., IPM.	Pembimbing I	Danang Arip Rusdianto	21000122210095	Analisis Perbandingan Penggunaan Bekisting Konvensional & Kumkang (Aluminium Formwork) Dari Segi Biaya & Waktu Proyek Rusun Rawabuntu

No	Nama Pembimbing	Jabatan	Nama Mahasiswa	NIM	Judul
			Sigit Noviyanto	21000122210111	PELAKSANAAN ERECTION JEMBATAN PIPA PADA PROYEK PEMBANGUNAN SPAM REGIONAL KARTAMANTUL TAHAP II KAPASITAS 300 L/DETIK PROVINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA
			Anwar Yamin	21000122210113	Low Cost Low Volume Road Solusi Penyediaan Jaringan Jalan di Daerah Terdepan, Terluar dan Tertinggal (Studi Kasus Penyediaan Jalan di Pulau Enggano)
4	Prof. Dr. Ir. Aries Susanty, S.T., M.T., IPU.	Pembimbing I	Agus Hariyanto	21000122210118	Pengaruh Kekerasan Terhadap Variasi Heat Input Sambungan Las Tak Sejenis Pada Baja Karbon A36 Dan Baja Tahan karat (AISI 304)
			Anni Fatmawati	21000122210122	Pengaruh Penggunaan Busi Denso SC16HR11 Iridium dan LDR7TDI Double Iridium Terhadap Laju Konsumsi Bahan Bakar Pada Mobil Toyota Avanza 1,3 E Tahun 2016
		Pembimbing II	Jus Arjula	21000122210076	PELAKSANAAN PEKERJAAN TIMBUNAN INTI (ZONA 1) PADA BENDUNGAN TIU SUNTUK DI KABUPATEN SUMBAWA BARAT
			Simon Petrus	21000122210120	PENGARUH PENGGUNAAN JENIS COOLANT STANDAR DAN COOLANT PRESTONE PADA SISTEM PENDINGIN TERHADAP TEMPERATUR ENGINE TOYOTA INNOVA
5	Dr. Ir. Badrus Zaman, S.T., M.T., IPM.	Pembimbing I	Frezi Majesty	21000122210021	Analisis Ergonomi Proses Loading dan Unloading di Area Warehouse Salah Satu Pabrik Sepeda Motor dengan Menggunakan Metoda Reba
		Pembimbing II	Rahajeng Diah Pramesthi	21000122210092	Pengolahan AMD (Acid Metalliferous Drainage) pada Pembangunan TSF (Tailing Storage Facility) proyek Tambang Emas Martabe
6	Dr. Ir. Budi Prasetyo Samadikun, S.T., M.Si., IPM.	Pembimbing I	Christiani Maitreya Santoso	21000122210074	Analisa Penerimaan Trial Mix Beton Berdasarkan Target Strength Sesuai Dengan SNI 2847-2013.
			Sigit Nurhartanto	21000122210078	Implementasi Penggunaan Limbah Plastik Sebagai Bahan Tambah Perkerasan Aspal Studi Kasus Proyek Asphalt Plastic Overlay for Monomer Plant PT. Chandra Asri Petrochemical
7	Prof. Dr. Ir. Hadiyanto, S.T., M.Sc., IPU., ASEAN Eng.	Pembimbing I	Agus Susanto	21000122210020	Pengolahan Air Limbah Domestik Industri Menggunakan Biofilter Anaerob Aerob Dengan Media Sarang Tawon ( Honeycomb )
			Teguh Purnomo	21000122210114	Startegi pengembangan keterampilan keselamatan dan keamanan pelayaran pada masyarakat nelayan sebagai wujud penerapan profesionalime keinsinyuran pada bidang pendidikan vokasi
			Andri Cahyo Kumoro	21000122210128	Ekstrasi Minyak Atsiri Dari Daun Serai Wangi (Cymbopogon nardus) Menggunakan Metode Hidrodistilasi Berbantu Gelombang Ultrasonik (Studi Kasus Penelitian Laboratorium, Operasional dan Keselamatan Kerja Dan Proses)

No	Nama Pembimbing	Jabatan	Nama Mahasiswa	NIM	Judul
		Pembimbing II	Frezi Majesty	21000122210021	Analisis Ergonomi Proses Loading dan Unloading di Area Warehouse Salah Satu Pabrik Sepeda Motor dengan Menggunakan Metoda Reba
			Suparno	21000122210117	RANCANG BANGUN MESIN COCOPEAT DAN COCOFIBER DENGAN KAPASITAS 15 KG/JAM
			Tutuk Djoko Kusworo	21000122210129	MEMBRAN KOMPOSIT FOTOAKTIF PSF/ZNO TERSULFONASI UNTUK PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI KARET ALAM MENJADI AIR BERSIH
8	Dr. Ir. Haryono Setiyo Huboyo, S.T., M.T., IPM.	Pembimbing I	Nismalia Fitriyani	21000122210046	Analisis Manajemen Waktu Pada Tahap Pelaksanaan Pekerjaan Struktur Pada Proyek Bangunan Gedung Mall Living World Denpasar Bali
		Pembimbing II	Muntohar	21000122210057	Implementasi BIM (Building Information Modeling ) Pada proyek Pembangunan Gedung Pusat Pengujian dan Pengembangan Inovasi (P3I ) Universitas Gajah Mada
			Riasdiana Adipuspita	21000122210087	Perbandingan antara produk full slab precast reinforcement dan prestress metode pretension (Studi kasus desain Proyek Tol Trans Sumatera: Ruas Binjai-Brandan)
9	Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T., IPU., ASEAN Eng.	Pembimbing I	Singgih Kurniawan	21000122210085	Implementation Pembangkit Listrik Tenaga Surya 750 kWp On-Grid untuk mendukung CO2 Reduction Program dan Green Energy di PT Chandra Asri Petrochemical
			Agustino Al Hakim	21000122210005	Pemilihan Ukuran Generator Diesel Untuk Emergency Load Pada PT Borneo Alumina Indonesia
		Pembimbing II	Muhamad Habibi	21000122210105	PEMBAGIAN WIRING DIAGRAM KESIMBANGAN BEBAN DAYA LITRIK 555 KVA TEGANGAN MENENGAH PADA PHASA R S T UNTUK PANEL LVMDP 3 PHASA 380 VOLT
11	Prof. Dr. Ir. Luqman Buchori, S.T., M.T., IPM.	Pembimbing I	Jefri Pandu Hidayat	21000122210016	Penyusunan Roadmap Penelitian (2021 - 2035) pada Bidang Pangan dan Pertanian Institut Teknologi Kalimantan tahun 2022
			Suwarto	21000122210110	PENGARUH KUAT ARUS DAN VARIASI SUDUT KAMPUH PADA SAMBUNGAN BAJA KARBON MENENGAH TERHADAP KEKUATAN TARIK HASIL PENGELASAN SMAW
			Dyah Hesti Wardhani	21000122210126	ENKAPSULASI BERBAGAI KONSENTRASI ZAT BESI MENGGUNAKAN PENERING SEMPROT DENGAN MATRIK GLUKOMANAN TERHIDROLISA
			Yustinah	21000122210055	Pembuatan Plastik Biodegradabel dari Sabut Kelapa dan Kitosan Dengan Platicizer Gliserol

No	Nama Pembimbing	Jabatan	Nama Mahasiswa	NIM	Judul
		Pembimbing II	Agus Susanto	21000122210020	Pengolahan Air Limbah Domestik Industri Menggunakan Biofilter Anaerob Aerob Dengan Media Sarang Tawon ( Honeycomb )
			Fx Arif Wahyudianto	21000122210115	Pengembangan Inhibitor Organik Untuk Mengendalikan Laju Korosi Logam Pada Kapal Laut
			Didi Dwi Anggoro	21000122210127	PERANCANGAN ADSORBEN MENGGUNAKAN ZEOLIT ALAM YOGYAKARTA SEBAGAI PENYERAP GAS H <sub>2</sub> S dan NH <sub>3</sub> PADA TAMBAK UDANG DI KALIWUNGU KABUPATEN KENDAL
	Prof. Ir. M. Arief Budihardjo, S.T., M.Eng.Sc., Env.Eng., Ph.D., IPM.	Pembimbing II	Ali Murtopo	21000122210013	KAJIAN CONTRACT CHANGE ORDER (CCO) PADA PROYEK PEMBANGUNAN LABORATORIUM TERPADU UNIVERSITAS TIDAR
12	Prof. Dr. Ir. Moh. Djaeni, S.T., M.Eng., IPM.	Pembimbing I	Didi Dwi Anggoro	21000122210127	PERANCANGAN ADSORBEN MENGGUNAKAN ZEOLIT ALAM YOGYAKARTA SEBAGAI PENYERAP GAS H <sub>2</sub> S dan NH <sub>3</sub> PADA TAMBAK UDANG DI KALIWUNGU KABUPATEN KENDAL
			Yustinah	21000122210055	Pembuatan Plastik Biodegradabel dari Sabut Kelapa dan Kitosan Dengan Platicizer Gliserol
		Pembimbing II	Roni Dwi Prastyo	21000122210052	Analisis Metode Penggunaan Beton Fast Track Ditinjau Dari Segi Biaya & Waktu Proyek Rusun Rawabuntu
			Wajilan	21000122210116	ANALISA KERUSAKAN FRONT DIFFERENTIAL WHEEL LOADER 950 CATERPILLAR
			Andri Cahyo Kumoro	21000122210128	Ekstrasi Minyak Atsiri Dari Daun Serai Wangi (Cymbopogon nardus) Menggunakan Metode Hidrodistilasi Berbantu Gelombang Ultrasonik (Studi Kasus Penelitian Laboratorium, Operasional dan Keselamatan Kerja Dan Proses)
13	Ir. Nurandani Hardyanti, S.T., M.T., IPM.	Pembimbing I	Muntohar	21000122210057	Implementasi BIM (Building Information Modeling ) Pada proyek Pembangunan Gedung Pusat Pengujian dan Pengembangan Inovasi (P3I) Universitas Gajah Mada
		Pembimbing II	Danang Arip Rusdianto	21000122210095	Analisis Perbandingan Penggunaan Bekisting Konvensional & Kumkang (Aluminium Formwork) Dari Segi Biaya & Waktu Proyek Rusun Rawabuntu
14	Dr.-Ing. Ir. Paryanto, S.T., M.T. IPM	Pembimbing I	Andriyan Eko Cahyono	21000122210083	Analisis High Vibration pada Crack Gas Compressor di Perusahaan Petrochemical dengan Menggunakan Syatem 1
			Harsman Tandilittin	21000122210112	PENGARUH PUTARAN MESIN TERHADAP SISTEM PENGISIAN ALTERNATOR MOBIL TOYOTA INNOVA DIESEL TYPE G 2.4 A/T 2017
			Suparno	21000122210117	RANCANG BANGUN MESIN COCOPEAT DAN COCOFIBER DENGAN KAPASITAS 15 KG/JAM

No	Nama Pembimbing	Jabatan	Nama Mahasiswa	NIM	Judul
		Pembimbing II	Edy Yurisman	21000122210041	Audit Energi pada fasilitas lapangan Migas (Studi Kasus: PT Pertamina EP Asset 2 Field Ramba)
15	Dr. Ir. Ratna Purwaningsih, M.T., IPU., ASEAN Eng.	Pembimbing I	Rachmat Fachrizal Idham	21000122210010	Evaluasi Biaya Pekerjaan Rangka Atap Baja dan Atap Skylight di Proyek Pasar Cisalak
			Brilian Echonery	21000122210101	Implementasi Lean Construction pada Pelaksanaan Proyek Konstruksi Gedung dengan Metode Last Planner System (LPS)
			Simon Petrus	21000122210120	PENGARUH PENGGUNAAN JENIS COOLANT STANDAR DAN COOLANT PRESTONE PADA SISTEM PENDINGIN TERHADAP TEMPERATUR ENGINE TOYOTA INNOVA
		Pembimbing II	Anni Fatmawati	21000122210122	Pengaruh Penggunaan Busi Denso SC16HR11 Iridium dan LDR7TDI Double Iridium Terhadap Laju Konsumsi Bahan Bakar Pada Mobil Toyota Avanza 1,3 E Tahun 2016
16	Dr. Ir. R. Rizal Isnanto, S.T., M.M., M.T., IPU.	Pembimbing II	Rany Puspita Dewi	21000122210001	Uji Karakteristik Briket Arang Limbah Serbuk Gergaji Kayu dan Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Bakar Alternatif
			Novio Mahendra Purnomo	21000122210066	Peningkatan Keandalan Pasokan Tenaga Listrik Dengan Pemasangan Bus Duct Interkoneksi Di Sistem 6kv P.T Chandra Asri Petrochemical
			Brilian Echonery	21000122210101	Implementasi Lean Construction pada Pelaksanaan Proyek Konstruksi Gedung dengan Metode Last Planner System (LPS)
17	Ir. Robert Johanes Kodoatie, M.Eng., Ph.D.	Pembimbing I	Karjaya	21000122210039	OPTIMALISASI PELAKSANAAN PEMBANGUNAN INFRASTRUKTUR JALAN DESA BERSKALA DESA SECARA SWAKELOLA (STUDI KASUS : PEMBANGUNAN JALAN USAHA TANI PADA PROGRAM PEMBANGUNAN DAN PEMBERDAYAAN MASYARAKAT (P3MD) KEMENTERIAN DESA DAN TRANSMIGRASI – RI DI DESA MANIIS KECAMATAN PSAWAHAN KABUPATEN KUNINGAN PROVINSI JAWA BARAT)
		Pembimbing II	Dedy Firmansyah	21000122210006	PERANCANGAN SIMPANG TAK SEBIDANG SEBAGAI ALTERNATIF PERBAIKAN KINERJA SIMPANG APILL (Studi Kasus: Simpang Empat Deggung, Sleman, Yogyakarta)
18	Dr.-Ing. Ir. Silviana, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.	Pembimbing I	Jus Arjula	21000122210076	PELAKSANAAN PEKERJAAN TIMBUNAN INTI (ZONA 1) PADA BENDUNGAN TIU SUNTUK DI KABUPATEN SUMBAWA BARAT
			Rahajeng Diah Pramesthi	21000122210092	Pengolahan AMD (Acid Metalliferous Drainage) pada Pembangunan TSF (Tailing Storage Facility) proyek Tambang Emas Martabe
			Suherman	21000122210125	Perancangan Pengereng Surya Hibrid Untuk Chip Mocaf

No	Nama Pembimbing	Jabatan	Nama Mahasiswa	NIM	Judul
		Pembimbing II	Jefri Pandu Hidayat	21000122210016	Penyusunan Roadmap Penelitian (2021 - 2035) pada Bidang Pangan dan Pertanian Institut Teknologi Kalimantan tahun 2022
			Tria Nita Banowati	21000122210097	PENGGUNAAN EKSTRAK KULIT PISANG AMBON ( <i>Musa acuminata</i> AAA) SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN MOUTHWASH HERBAL
			Dyah Hesti Wardhani	21000122210126	ENKAPSULASI BERBAGAI KONSENTRASI ZAT BESI MENGGUNAKAN PENERING SEMPROT DENGAN Matrik Glukomanan Terhidrolisa
19	Dr.Ling Ir. Sri Sumiyati, S.T., M.Si., IPM.	Pembimbing I	Budhi Kurniawan	21000122210107	PERBAIKAN TANAH DASAR PADA PROYEK JALAN TOL SEMARANG - DEMAK DENGAN MENGGUNAKAN METODE PREFABRICATED VERTICAL DRAIN (PVD) PRELOADING
			Budi Nugroho	21000122210108	ANALIS DAN EVALUASI SHEET PILE PADA PROYEK PENGAMAN JALAN ST. AMINUDIN SAMBALIUNG KABUPATEN BERAU
		Pembimbing II	Hylcia Alexandra Kimberly Wenas	21000122210061	Efektifitas pemadatan pada konstruksi Tailing Storage Facility pada proyek Tambang emas martabe
			Christiani Maitreya Santoso	21000122210074	Analisa Penerimaan Trial Mix Beton Berdasarkan Target Strength Sesuai Dengan SNI 2847-2013.
			Achmad Rafi'ud Darajat	21000122210028	Analisis Quantity Take Off pada Pekerjaan Struktural menggunakan Metode Building Information Modeling. Studi Kasus Pada Pembangunan Laboratorium Terpadu Universitas Tidar
20	Dr. Ir. Sulardjaka, S.T., M.T., IPU., ASEAN Eng.	Pembimbing I	Kurnia Denni Prabowo	21000122210037	Analisa Perhitungan Kerugian Gesek Pada Pipa Tekan Pompa Pengisi Rooftank Air Bersih Perencanaan Pembangunan Gedung Pusat Layanan Kesehatan Ibu dan Anak RSUP Dr. Wahidin Sudirohusodo Makassar
			Wajilan	21000122210116	ANALISA KERUSAKAN FRONT DIFFERENTIAL WHEEL LOADER 950 CATERPILLAR
		Pembimbing II	Andriyan Eko Cahyono	21000122210083	Analisis High Vibration pada Crack Gas Compressor di Perusahaan Petrochemical dengan Menggunakan Syatem 1
			Suwarto	21000122210110	PENGARUH KUAT ARUS DAN VARIASI SUDUT KAMPUH PADA SAMBUNGAN BAJA KARBON MENENGAH TERHADAP KEKUATAN TARIK HASIL PENGELASAN SMAW
			Harsman Tandilittin	21000122210112	PENGARUH PUTARAN MESIN TERHADAP SISTEM PENGISIAN ALTERNATOR MOBIL TOYOTA INNOVA DIESEL TYPE G 2.4 A/T 2017
			Abdul Halik	21000122210119	Analisa Kerusakan Komponen Travel Motor Yang digunakan Pada Unit Alat Berat : Studi Kasus Pada Unit Excavator 320 D Caterpillar

No	Nama Pembimbing	Jabatan	Nama Mahasiswa	NIM	Judul
21	Ir. Sumardi, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.	Pembimbing I	Rany Puspita Dewi	21000122210001	Uji Karakteristik Briket Arang Limbah Serbuk Gergaji Kayu dan Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Bakar Alternatif
			Roni Dwi Prastyo	21000122210052	Analisis Metode Penggunaan Beton Fast Track Ditinjau Dari Segi Biaya & Waktu Proyek Rusun Rawabuntu
			Novio Mahendra Purnomo	21000122210066	Peningkatan Keandalan Pasokan Tenaga Listrik Dengan Pemasangan Bus Duct Interkoneksi Di Sistem 6kv P.T Chandra Asri Petrochemical
			Muhamad Habibi	21000122210105	PEMBAGIAN WIRING DIAGRAM KESIMBANGAN BEBAN DAYA LITRIK 555 KVA TEGANGAN MENENGAH PADA PHASA R S T UNTUK PANEL LVMDP 3 PHASA 380 VOLT
		Pembimbing II	Ginancar Khaq	21000122210045	PERBAIKAN TANAH SANGAT LUNAK (ULTRA-SOFT SOIL) MENGGUNAKAN PVD: STUDI MODEL LABORATORIUM
			Singgih Kurniawan	21000122210085	Implementation Pembangkit Listrik Tenaga Surya 750 kWp On-Grid untuk mendukung CO2 Reduction Program dan Green Energy di PT Chandra Asri Petrochemical
22	Prof. Dr. Ir. Suripin, M.Eng.	Pembimbing I	Anton Yulianto	21000122210064	Evaluasi Penerimaan Material Besi Tulangan Berdasarkan Mill Certificate dan Hasil Pengujian Laboratorium
		Pembimbing II	Bernard Bayu Baskoro	21000122210082	Pengawasan Pekerjaan Pondasi Tiang Bor Di Bawah MSEW Pada Proyek Bandara Internasional Dhoho Kediri
23	Prof. Dr. Ir. Syafudin, CES., M.T., IPM.	Pembimbing I	Bernard Bayu Baskoro	21000122210082	Pengawasan Pekerjaan Pondasi Tiang Bor Di Bawah MSEW Pada Proyek Bandara Internasional Dhoho Kediri
			Achmad Rafi'ud Darajat	21000122210028	Analisis Quantity Take Off pada Pekerjaan Struktural menggunakan Metode Building Information Modeling. Studi Kasus Pada Pembangunan Laboratorium Terpadu Universitas Tidar
		Pembimbing II	Anton Yulianto	21000122210064	Evaluasi Penerimaan Material Besi Tulangan Berdasarkan Mill Certificate dan Hasil Pengujian Laboratorium
24	Dr.rer.nat. Ir. Thomas Triadi Putranto, S.T., M.Eng., IPU., ASEAN Eng.	Pembimbing I	Ginancar Khaq	21000122210045	PERBAIKAN TANAH SANGAT LUNAK (ULTRA-SOFT SOIL) MENGGUNAKAN PVD: STUDI MODEL LABORATORIUM
		Pembimbing II	Rio Masriyanto	21000122210009	TINJAUAN MANAJEMEN RISIKO KESELAMATAN PEKERJA PADA PEMBANGUNAN BENDUNGAN TAILING STORAGE FACILITY (TSF) RL360 DI PROYEK MARTABE KABUPATEN TAPANULI SELATAN MENGGUNAKAN METODE HIRARC

No	Nama Pembimbing	Jabatan	Nama Mahasiswa	NIM	Judul
25	Prof. Dr. Ir. Widayat, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.	Pembimbing I	Tria Nita Banowati	21000122210097	PENGGUNAAN EKSTRAK KULIT PISANG AMBON (Musa acuminata AAA) SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN MOUTHWASH HERBAL
			Abdul Halik	21000122210119	Analisa Kerusakan Komponen Travel Motor Yang digunakan Pada Unit Alat Berat : Studi Kasus Pada Unit Excavator 320 D Caterpillar
			Tutuk Djoko Kusworo	21000122210129	MEMBRAN KOMPOSIT FOTOAKTIF PSF/ZNO TERSULFONASI UNTUK PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI KARET ALAM MENJADI AIR BERSIH
		Pembimbing II	Sigit Nurhartanto	21000122210078	Implementasi Penggunaan Limbah Plastik Sebagai Bahan Tambah Perkerasan Aspal. Studi Kasus Proyek Asphalt Plastic Overlay for Monomer Plant PT. Chandra Asri Petrochemical
			Mochammad Qomaruddin	21000122210106	PEMANFAATAN FLY ASH BOTTOM ASH PLTU TANJUNG JATI B JEPARA BAGI PRODUK INFRASTRUKTUR
			Budi Nugroho	21000122210108	ANALIS DAN EVALUASI SHEET PILE PADA PROYEK PENGAMAN JALAN ST. AMINUDIN SAMBALIUNG KABUPATEN BERAU
			Sigit Noviyanto	21000122210111	PELAKSANAAN ERECTION JEMBATAN PIPA PADA PROYEK PEMBANGUNAN SPAM REGIONAL KARTAMANTUL TAHAP II KAPASITAS 300 L/DETIK PROVINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA
			Teguh Purnomo	21000122210114	Startegi pengembangan keterampilan keselamatan dan keamanan pelayaran pada masyarakat nelayan sebagai wujud penerapan profesionalime keinsinyuran pada bidang pendidikan vokasi
			Suherman	21000122210125	Perancangan Pengereng Surya Hibrid Untuk Chip Mocaf

SALINAN SESUAI DENGAN ASLINYA  
MANAJER TATA USAHA FAKULTAS TEKNIK



ARI EKO WIDYANTORO, S.T., M.Si.  
NIP 197510172003121004

Semarang, 22 November 2022

DEKAN FAKULTAS TEKNIK,

ttd

Prof. Ir. M. AGUNG WIBOWO, M.M., M.Sc., Ph.D.  
NIP 196702081994031005

***Analisis High Vibration pada Crack Gas Compressor  
(CGC) di Perusahaan Petrochemical dengan  
Menggunakan System 1***



**STUDI KASUS**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Insinyur  
pada Program Studi Profesi Insinyur**

**Oleh:**

**Nama: Andriyan Eko Cahyono**

**NIM: 21000122210083**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN PROFESI INSINYUR  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG**

**2022**

## LEMBAR PENGESAHAN

Laporan Studi Kasus Atas Nama:

Mahasiswa : Andriyan Eko Cahyono

Nim : 21000122210083

Program Studi : Pendidikan Profesi Insinyur

Judul : Analisis *High Vibration* pada *Crack Gas Compressor* (CGC) di Perusahaan *Petrochemical* dengan Menggunakan System 1

Telah memenuhi persyaratan kaidah Laporan Studi Kasus di Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Semarang, 01 November 2022

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr.-Ing. Ir. Paryanto, S.T., M.T. IPM  
NIP: 198509092018081001



Dr. Ir. Sulardjaka, S.T., M.T., IPU, ASEAN Eng  
NIP: 197104201998021001

Penguji I

Penguji II



Dr. Ir. Agus Suprihanto, ST, M.T., IPP  
NIP: 197108181997021001



Ir. Denis, S.T., M. Eng.  
NIP: H.7.199104172018071001

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**Studi Kasus**

**ANALISIS HIGH VIBRATION PADA CRACK GAS COMPRESSOR (CGC) DI  
PERUSAHAAN PETROCHEMICAL DENGAN MENGGUNAKAN SYSTEM 1**

Disusun Oleh:

**ANDRIYAN EKO CAHYONO**

21000122210083

**Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji  
Pada Tanggal: 1 November 2022**

Tim Penguji,

Pembimbing I

Pembimbing II



**Dr.-Ing. Ir. Parvanto, S.T., M.T. IPM**

NIP: 198509092018081001



**Dr. Ir. Sulardiaka, S.T., M.T., IPU, ASEAN Eng**

NIP: 197104201998021001

Penguji I

Penguji II



**Dr. Ir. Agus Suprihanto, ST, M.T., IPP**

NIP: 197108181997021001



**Ir. Denis, S.T., M. Eng.**

NIP: H.7.199104172018071001

Studi kasus ini telah diterima sebagai salah Satu  
Persyaratan untuk memperoleh gelar Insinyur  
Tanggal: 1 November 2022

Ketua Program Studi  
Pendidikan Profesi Insinyur



**Prof. Dr. Ir. Widayat, S.T., M.T., IPM, ASEAN Eng.**

NIP: 19720609199803101

## **PERNYATAAN ORISINALITAS**

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Studi kasus ini tidak terdapat studi yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Pustaka.

Semarang, 1 November 2022



**ANDRIYAN EKO CAHYONO**

21000122210083

## ABSTRAK

Di Pabrik petrokimia, Olefin plant, Crack Gas Compressor adalah jantung perusahaan, jika CGC trip maka 1 plant akan trip atau berhenti produksi, sehingga kita dituntut untuk menjaga reliability dari kompreor ini. Pada April 2017 vibration trend MP casing mulai mengalami kenaikan menjadi 39  $\mu\text{m}$  dari 13.8. Dan pada November 2017, CGC trip karena boiler trip, saat kita melakukan start up, ada beberapa issue yang berhubungan dengan getaran di LP, MP dan HP casing. MP casing getaran lebih stabil. HP casing mengalami kenaikan saat turbin uap running di speed 950 rpm tapi kembali lagi ke normal dan LP casing mengalami kenaikan signifikan ke 52  $\mu\text{m}$ .

Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui root cause dari masalah high vibrasi di LP dan MP casing crack gas compressor, sehingga kita bisa mengetahui solusi dan pencegahan kedepannya agar masalah yang serupa tidak terjadi lagi. Mengingat equipment ini sangat kritikal di perusahaan petrochemical ini.

Setelah di lakukan analisa menggunakan data dari PI dan system 1 dengan metode why-why analysis di temukan beberapa kemungkinan akar penyebab masalahnya. Yaitu rotor unbalance yang disebabkan oleh, Impeller sliding or leaning, Rotor bending/bengkok, Coupling unbalance, polimerisasi di rotor dan kerusakan rotating part (impeller, DGS, atau rotor)

Kata Kunci: Crack Gas Compressor, High Vibrasi, Fouling, Un Balance Rotor

## **ABSTRACT**

At the petrochemical plant, Olefin plant, Crack Gas Compressor is the heart of the company, if the CGC trips then 1 plant will trip or stop production, so we are required to maintain the reliability of this compressor. In April 2017, the vibration trend of MP casing started to increase to 39 m from 13.8. And in November 2017, the CGC trip was due to a boiler trip, when we started up, there were several issues related to vibrations in the LP, MP and HP casing. MP casing vibration is more stable. The HP casing increased when the steam turbine was running at 950 rpm but returned to normal and the LP casing increased significantly to 52 m.

The purpose of this analysis is to find out the root cause of the high vibration problem in LP and MP casing crack gas compressors, so that we can find solutions and prevention in the future so that similar problems do not happen again. Considering this equipment is very critical in this petrochemical company.

After analyzing using data from PI and system 1 with the why-why analysis method, several possible root causes of the problem were found. Namely rotor unbalance caused by Impeller sliding or leaning, Rotor bending / bending, Coupling unbalance, polymerization in the rotor and damage to rotating parts (impeller, DGS, or rotor)

**Keywords:** Crack Gas Compressor, High Vibration, Fouling, Un Balance Rotor

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur senantiasa penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang tiada hentinya mencurahkan kasih-Nya, sehingga dengan segala karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan studi kasus dengan judul Analisis High Vibration pada Crack Gas Compressor (CGC) di Pabrik Petrochemical dengan Menggunakan System 1

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dorongan dalam menyelesaikan Studi kasus ini, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Yos Johan Utama, SH., M.Hum, selaku Rektor Universitas Diponegoro.
2. Prof. Dr. Ir. Widayat, ST., MT., IPM, SEAN Eng. selaku ketua Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur.
3. Dr.-Ing. Ir. Paryanto, S.T., M.T. IPM, selaku Pembimbing I.
4. Dr. Ir. Sulardjaka, S.T., M.T., IPU, ASEAN Eng. Selaku Pembimbing II
5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas dukungan moril dan material sehingga penulis dapat menyelesaikan studi kasus ini.

Dengan penuh kerendahan hati, penulis menyadari akan kekurangan dan keterbatasan pengetahuan yang penulis miliki sehingga tentu saja penyusunan studi kasus ini jauh dari kata sempurna, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak demi kemajuan penulis untuk masa yang akan datang. Akhir kata, dengan selesainya studi kasus ini berarti selesai pula masa studi penulis di Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur. Penulis berharap semoga karya ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Aamiin ya robbal alamin. Terima kasih.

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
ABSTRAK .....	v
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
NOMENKLATUR.....	xvi
BAB I    PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang Masalah .....	1
1.2    Tujuan Penelitian.....	4
1.3    Batasan Masalah.....	4
1.4    Metode Penelitian.....	4
1.5    Sistematika Penulisan.....	5
BAB II    DASAR TEORI .....	6
2.1    Kompresor .....	7
2.1.1    Tipe dan Kategori Kompresor .....	7
2.1.2    Kompresor Sentrifugal .....	8
2.1.3    Bagian Utama dari Kompresor Sentrifugal .....	9
2.2    Mekanisme Kompresi Sentrifugal Kompresor .....	10
2.2.1    Kenaikan Head di Dalam Impeller .....	11
2.3    Analisa Getaran .....	12
2.3.1    Gearakan Berkala .....	13
2.3.2    Parameter Terukur .....	19
2.4    Jenis dan Format Data Getaran.....	23

2.4.1	Type Data .....	23
2.4.2	Format Data .....	28
2.5	Sumber Getaran .....	30
2.5.1	Mesin Berputar .....	31
2.5.2	Getaran Shaft .....	33
2.5.3	Kecepatan Kritis Lateral dan Rentang Operasi .....	36
2.5.4	Stabilitas Rotor/Gaya Eksitasi dan Redaman .....	39
2.6	Akuisisi Data .....	40
2.6.1	Detektor Getaran: Transduser dan Kabel .....	41
2.6.2	Pengukuran Data .....	45
2.6.3	Teknik Pemasangan Trasduser .....	46
2.6.4	Mendapatkan Data .....	48
2.7	Teknik Analisa Getaran .....	51
2.7.1	Trending .....	51
2.7.2	Analisa Perbandingan .....	52
2.7.3	Analisa Tanda .....	54
2.8	System 1 .....	56
<b>BAB III</b>	<b>METODE PENELITIAN .....</b>	<b>60</b>
3.1	Tempat Penelitian .....	60
3.2	Alat dan Bahan .....	60
3.2.1	Material Penelitian .....	60
3.2.2	Alat Penelitian .....	61
3.3	Variabel Penelitian .....	63
3.4	Langkah-Langkah Penelitian .....	63
3.4.1	Tahap Persiapan .....	64
3.4.2	Tahap Pengumpulan Data .....	64

3.4.3 Tahap Analisa Data .....	64
3.5 Diagram Alir.....	65
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>66</b>
4.1 Analisis Studi Kasus Kenaikan Vibrasi di MP Casing.....	66
4.1.1 Pembahasan.....	68
4.2 Analisis Studi Kasus Kenaikan Vibrasi di LP Casing Saat Start Up November 2017.....	73
4.2.1 Pembahasan.....	78
4.3 Pembahasan Studi kasus Etika Keprofesian terkait K3L .....	80
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>83</b>
5.1 KESIMPULAN .....	83
5.2 SARAN .....	83
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>84</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Kenaikan Getaran MP Casing.....	2
Tabel 2.1 Standard Tingkat Keparahan Getaran .....	54
Tabel 4.1 Data vibrasi 2015 – 2017 di MP Casing CGC.....	66
Tabel 4.2 Fenomena dari getaran shaft (Rangkuman) .....	68
Tabel 4.3 Why Why Analisis High Vibrasi di MP Casing .....	69
Tabel 4.4 Why-Why Analysis Getaran Tinggi di LP Casing.....	78

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Process Flow Diagram untuk Crack Gas Compressor.....	1
Gambar 1.2	General Arrangement Crack gas Compressor Perusahaan Petrochemical di Cilegon, Banten, Indonesia.....	2
Gambar 1.3	Grafik data Getaran .....	3
Gambar 1.4	Getaran LP Casing Naik 52 $\mu\text{m}$ setelah start up.....	3
Gambar 2.1	Bagan Positive Displacement Compressor.....	7
Gambar 2.2	Bagan Positive Displacement Compressor .....	8
Gambar 2.3	Rentang aplikasi dari berbagai macam kompresor.....	8
Gambar 2.4	Rotor Kompresor Sentrifugal .....	10
Gambar 2.5	Diaphragm Kompresor Sentrifugal .....	11
Gambar 2.6	<i>Inlet Guide Vane</i> .....	11
Gambar 2.7	Jurnal Bearing.....	12
Gambar 2.8	Kenaikan Tekanan di dalam Kompresor.....	13
Gambar 2.9	Kenaikan head di dalam impeller .....	13
Gambar 2.10	Bentuk Grakan Periodik .....	15
Gambar 2.11	Gerakan Harmonic Sederhana .....	15
Gambar 2.12	Ilustrasi Siklus Getaran.....	16
Gambar 2.13	Dua Gerakan Harmonis dengan Sudut Phase antara Keduanya .....	17
Gambar 2.14	Gerakan Periodik Nonharmonik.....	18
Gambar 2.15	Hubungan Amplitudo Vibrasi .....	22
Gambar 2.16	Tipe Domain Waktu .....	24
Gambar 2.17	Bentuk Gelombang Domain Waktu Teoretis .....	24

Gambar 2.18 Tipe dimain Frekuensi .....	26
Gambar 2.19 Hubungan antara Domain Waktu dan Domain Frekuensi.....	26
Gambar 2.20 Shaft Vibration .....	34
Gambar 2.21 Mode dan Phase Getaran .....	35
Gambar 2.22 Analisis Gelombang dan Frekuensi Getaran (Analisis Spektrum) .	36
Gambar 2.23 Kecepatan Kritis Lateral dan Rentang Operasi .....	37
Gambar 2.24 Margin Pemisahan .....	38
Gambar 2.25 Contoh Analisis Dinamis Rotor.....	39
Gambar 2.26 Stabilitas Rotor/ Gaya eksitasi dan redaman .....	40
Gambar 2.27 Probe Perpindahan dan Sistem Pengkondisi Sinyal .....	41
Gambar 2.28 Diagram Skema dari Pickup Kecepatan .....	42
Gambar 2.29 Diagram Skema Akselerometer. (1) Basis, (2) Piezoelektrik kristal, (3) Massa, (4) Kasus .....	43
Gambar 2.30 Jenis kabel melingkar .....	44
Gambar 2.31 Vektor Kecepatan Shaft yang Dihasilkan Berdasarkan Pengukuran Getaran Radial .....	45
Gambar 2.32 Dudukan Permanen Memberikan Pengulangan Terbaik .....	47
Gambar 2.33 Dudukan Magnet Umum untuk Transduser .....	48
Gambar 2.34 Transduser Genggam Harus Dihindari Bila Memungkinkan .....	48
Gambar 2.35 Sistem 1 di Plant .....	56
Gambar 2.36 Tampilan Monitoring Sistem 1 .....	57
Gambar 2.37 Tampilan Hasil Sistem 1.....	58
Gambar 2.38 Plot Kinerja Kompresor.....	58
Gambar 2.39 Tampilan Grafik Batang Sistem 1 dari KPI Kinerja.....	59

Gambar 3.1	Rangkaian CGC yang Dianalisa .....	61
Gambar 3.2	Sectional Drawing CGC yang Digunakan.....	61
Gambar 3.3	Contoh Tampilan PI Nilai Getaran di CGC.....	61
Gambar 3.4	Contoh Tampilan Proses Parameter di PI.....	62
Gambar 3.5	Contoh Tampilan Domain Frekuensi dari System 1 .....	62
Gambar 3.6	Contoh Tampilan Orbit dan Shaft Centerline di Syatem 1.....	63
Gambar 3.7	Diagram Alir Penelitian.....	65
Gambar 4.1	Trend Getaran vs Kecepatan.....	66
Gambar 4.2	Trend Getaran vs Temperature Lube Oil.....	67
Gambar 4.3	Trend Getaran vs Temperatur Bearing Metal.....	67
Gambar 4.4	Observasi Data Getaran di MP Casing Sisi NDE.....	67
Gambar 4.5	Trend Getaran Shaft Selama Inject Wash Oil .....	68
Gambar 4.6	Monomer yang mengalami polimerisasi radikal bebas .....	71
Gambar 4.7	Polimerisasi Radikal Bebas — Langkah Inisiasi dan Propagasi ....	71
Gambar 4.8	Konstanta Laju Relatif Dekomposisi Peroksida Versus Suhu.....	72
Gambar 4.9	Nalco Fouling Severity Matrix .....	72
Gambar 4.10	kebutuhan Wash Oil Injection .....	73
Gambar 4.11	Kronologi Kenaikan Getaran LP Casing .....	74
Gambar 4.12	Trend Vibration dan Phase LP NDE Bearing.....	74
Gambar 4.13	Trend Vibrasi dan Phase LP DE Bearing .....	75
Gambar 4.14	Rata-Rata Shaft Centerline .....	75
Gambar 4.15	Polar Plot LP Casing Sisi NDE .....	76
Gambar 4.16	Polar Plot LP Casing Sisi DE .....	76
Gambar 4.17	Spektrum LP Casing Sisi NDE.....	76

Gambar 4.18 Spektrum LP Casing Sisi DE.....	77
Gambar 4.19 Orbit dan Gelombang Waktu Sebelum dan Sesudah Getaran Tinggi .....	77
Gambar 4.20 Axial Movement LP Casing .....	77
Gambar 4.21 Temperatur Bearing LP Casing .....	78
Gambar 4.22 Environment Issue karena Tumpahan Quench Oil Langsung ke Tanah .....	81

## NOMENKLATUR

<b>Simbol</b>	<b>Definisi</b>	<b>Satuan</b>
<b>A</b>	Akselerasi	$m/s^2$
<b>A</b>	Zero-to-peak amplitudo	
<b>Cpm</b>	Cycle per minute	rpm
<b>Cps</b>	Cycle per second	rps
<b>F</b>	Frekuensi	Hertz
<b>f(t)</b>	Function of time	
<b>F</b>	Force	
<b>FFT</b>	Fast Fourier Transform	
<b><math>F_{MAX}</math></b>	Maximum frekuensi	Hertz
<b><math>F_{MIN}</math></b>	Minimum frekuensi	Hertz
<b><math>F_0</math></b>	External force	
<b><math>F_s</math></b>	Spring force	
<b>G</b>	Gaya gravitasi	$9.8 m/s^2$
<b>H</b>	Elongation yang disebabkan oleh berat massa	
<b>Hz</b>	Hertz	
<b>in</b>	Inches	
<b>Ips</b>	Inch per second	
<b>Ips-PK</b>	Inch per second, zero-to-peak	
<b>K</b>	Torsional stiffness	
<b>K</b>	Spring constant or stiffness	
<b>Lbf</b>	Pound-force	
<b>Lbm</b>	Pound-mass	
<b><math>L_0</math></b>	Unelongated spring length	
<b>M</b>	Massa	
<b>MHz</b>	Megahertz	
<b>PK</b>	Zero to peak	
<b>RMS</b>	Root mean square	
<b>Rpm</b>	Revolution per minute	
<b><math>sec^2</math></b>	Second square	

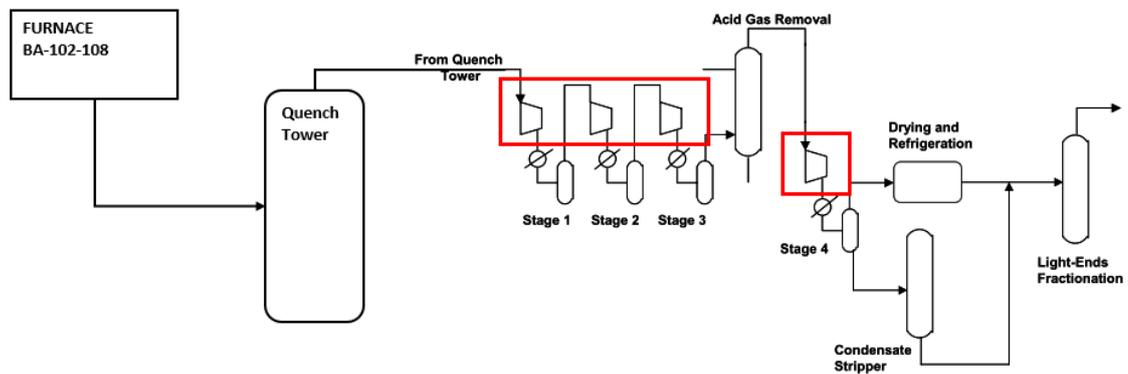
<b>T</b>	Time
<b>T</b>	Period or torque
<b><math>T_0</math></b>	External torque
<b>VPM</b>	Vibration per Minute
<b>W</b>	Weight
<b>X</b>	Displacement
<b><math>X_i</math></b>	Static displacement
<b><math>X_0</math></b>	Amount of displacement from $X_i$
<b>1X, 2X, 3X</b>	1 kali, 2 kali, 3 kali

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

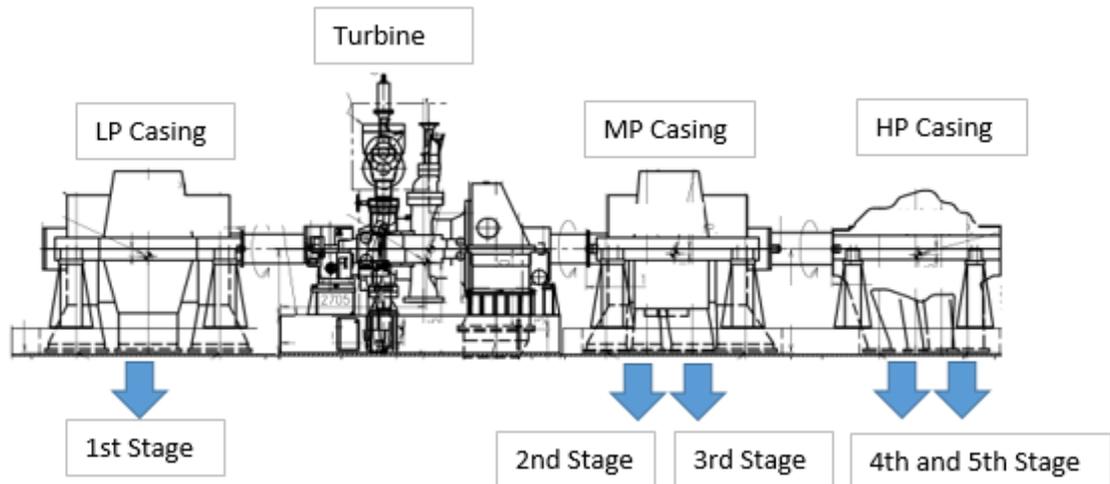
Ethylene adalah sebuah bangunan dasar dari industri kimia dan merupakan penghubung antara perusahaan kimia dan refineries minyak bumi. Pabrik *ethylene* sering disebut pabrik *olefin*, karena produk akhirnya adalah *olefin*. Pabrik *olefin* akan menghasilkan sebagian besar *ethylene*, tetapi juga akan menghasilkan produk sampingan lain seperti *propylene*, *butadiene* dan bensin. Proses awalnya adalah pemecahan/*cracking*, yang berarti bahwa bahan baku di panaskan sampai pada titik dimana transfer energy dari panas cukup untuk memecahkan molekul menjadi beberapa molekul yang lebih kecil. Bahan baku di panaskan di tungku yang kita sebut *furnace*. Didalam *furnace*, bahan baku di panaskan dan di campur degan *dilution steam* untuk mengurangi coking dan meningkatkan hasil produksi. Gas yang keluar dari furnace inilah yang di sebut sebagai “Crack Gas”



**Gambar 1.1** Process Flow Diagram untuk Crack Gas Compressor

Salah satu industry *petrochemical* terbesar di Indonesia yang terletak di wilayah Anyer, Cileon Indonesia, juga menerapkan teknologi crack gas compressor untuk produksi Ethylene, Propylene dan Butadiene. Pada tahun 2015 perusahaan ini melakukan ekspansi/menaikkan kapasitas produksi dari 600 KTA menjadi 860 KTA. Compressor

yang di gunakan adalah kompresor sentrifugal. Kompresor mulai beroperasi tahun 2016 dan mulai memproduksi sebagaimana designnya.



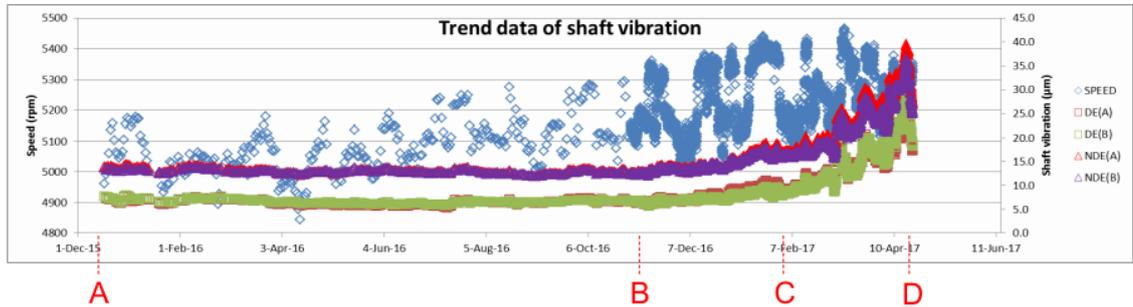
**Gambar 1.2** *General Arrangement Crack Gas Compressor* Perusahaan Petrochemical di Cilegon, Banten, Indonesia

Pada April 2016 Fouling di ethylene plant cracked Gas Compressor sudah pernah di analisa oleh Sheri Snider dari Nalco. Makalah sebelumnya memberikan gambaran mengenai proses fouling di gas kompresor termasuk secara economical, lokasi, mekanisme, metode kontrol dan emantauan. Korosi rangkaian compressor dan control fouling study juga di sajikan di paper sebelumnya.

Untuk masalah yang akan kita bahas di tugas akhir ini terjadi pada April 2017 vibration trend MP casing mulai mengalami kenaikan menjadi 39  $\mu\text{m}$  dari 13.8 (December 2015 (MRT))

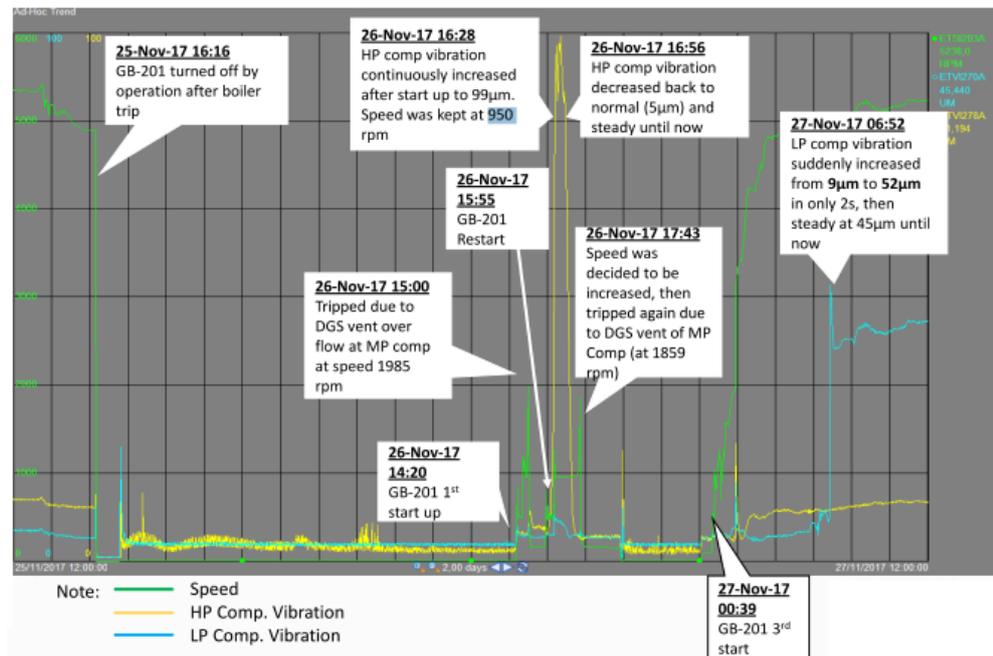
Tabel 1.1 Kenaikan Getaran MP Casing

Measurement timing			Speed	DE		NDE	
				275A	275B	274A	274B
A	Commissioning	2015 December	4961 rpm	7.7 $\mu\text{m}$	7.8 $\mu\text{m}$	14.0 $\mu\text{m}$	13.8 $\mu\text{m}$
B	Start increasing shaft vibration	2016 November	5136 rpm	6.5 $\mu\text{m}$	6.6 $\mu\text{m}$	13.0 $\mu\text{m}$	12.7 $\mu\text{m}$
C	Meeting in Hiroshima	2017 February	5104 rpm	8.7 $\mu\text{m}$	8.3 $\mu\text{m}$	16.8 $\mu\text{m}$	16.1 $\mu\text{m}$
D	The highest shaft vibration	2017 April	5292 rpm	26.8 $\mu\text{m}$	28.3 $\mu\text{m}$	39.6 $\mu\text{m}$	36.6 $\mu\text{m}$



**Gambar 1.3** Grafik Data Getaran

Pada November 2017, CGC trip karena boiler trip, saat kita melakukan start up, ada beberapa issue yang berhubungan dengan getaran di LP, MP dan HP casing. MP casing getaran lebih stabil. HP casing mengalami kenaikan saat turbin uap running di speed 950 rpm tapi kembali lagi ke normal dan LP casing mengalami kenaikan signifikan ke 52 µm



**Gambar 1.4** Getaran LP Casing Naik 52 µm Setelah Start Up

Berdasarkan latar belakang di atas perlu di lakukan analisa lebih lanjut terhadap kenaikan vibrasi baik di LP casing maupun MP casing dengan menggunakan system 1 agar di ketahui akar masalah dan solusi dari masalah vibrasi di atas

## 1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin diperoleh penulis dengan mengajukan judul tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui akar masalah dari masalah high vibration pada LP dan MP casing Crack Gas Compressor (CGC)
2. Mencari solusi untuk mencegah masalah yang sama terulang kembali kedepannya.

## 1.3 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah yang diambil penulis dalam penelitian ini adalah:

1. Masalah *high vibration* dianalisa hanya pada Crack Gas Compressor LP dan MP casing di perusahaan Petrochemical daerah Anyer, Cilegon, Banten, Indonesia
2. Data vibrasi yang di gunakan di LP dan MP casing yaitu dari tahun 2017 sampai 2018.
3. Analisa dilakukan dengan menggunakan metode why-why analysis dengan di bantu aplikasi System 1

## 1.4 Metode Penelitian

Adapun metode penelitian untuk penulisan laporan tugas akhir ini adalah:

1. Studi Pustaka

Metode studi pustaka dilakukan dengan mengumpulkan data yang diperlukan dengan mempelajari referensi yang berkaitan dengan penyusunan dan penulisan tugas akhir baik berupa buku, jurnal, atau referensi lain dari internet.

2. Bimbingan dan Konsultasi

Langkah ini dilakukan dengan cara mengkonsultasikan materi tugas akhir dan masalah-masalah yang timbul dalam pengambilan data dengan dosen pembimbing.

3. Pengumpulan Data

Pada tahapan ini kegiatan yang dilakukan adalah mengumpulkan data vibration berupa spectrum, orbit, polar plot dari system 1

#### 4. Pengolahan dan Analisa Data

Data yang diperoleh diolah dan di analisa dengan menggunakan metode why-why analysis

### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut:

#### **BAB I           PENDAHULUAN**

Pada bab ini berisi tentang latar belakang, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

#### **BAB II           DASAR TEORI**

Pada bab ini berisi tentang dasar teori yang didasarkan pada Jurnal serta Tugas akhir sebelumnya yang permasalahannya menunjang penelitian ini, secara garis besar dipergunakan sebagai acuan dalam penulisan. Uraian beberapa pustaka, khususnya yang menunjang pembahasan, antara lain vibration analysis, centrifugal compressor, masalah fouling di crack gas compressor, dll.

#### **BAB III         METODOLOGI STUDI KASUS**

Pada bab ini berisi tentang metode yang digunakan dalam penelitian, berisi tentang: tempat pengambilan data, software system 1, langkah2 analisa data dan diagram alir penelitian

#### **BAB IV         ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini berisi tentang analisa *high vibration* dengan menggunakan data-data dari system 1

#### **BAB V           PENUTUP**

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran yang dapat dibuat berdasarkan data-data, analisa data dan pembahasan.

**DAFTAR PUSTAKA**

Pada bab ini berisi tentang daftar referensi yang digunakan penulis dalam memaparkan dasar teori dan juga konsep-konsep yang diambil dari beberapa sumber.

**LAMPIRAN**

Pada bab ini berisi tentang hasil-hasil pengujian.

## BAB II

### DASAR TEORI

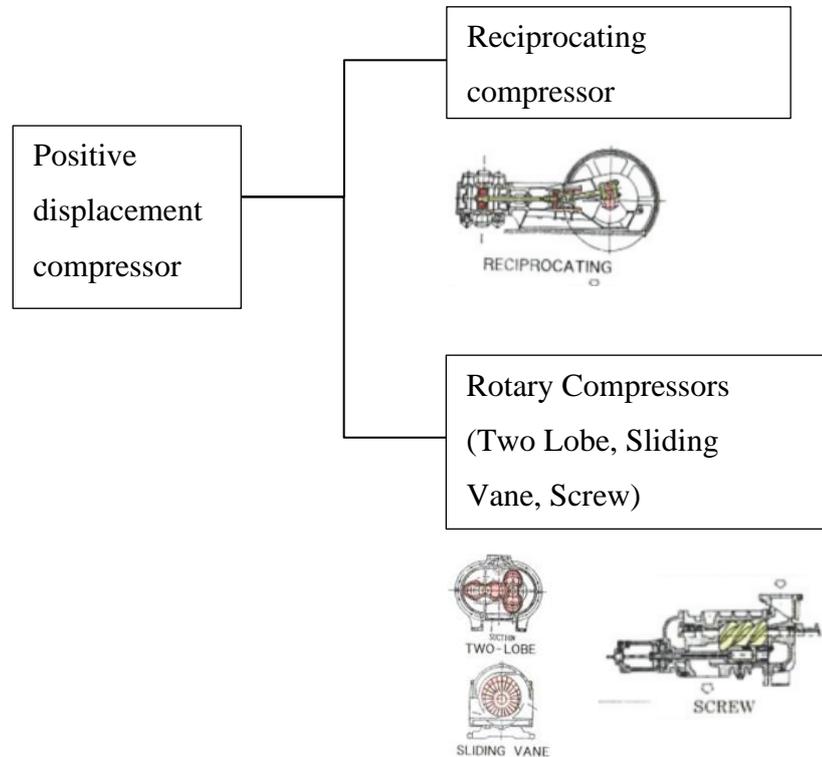
#### 2.1 Kompresor

Kompresor adalah mesin atau alat mekanik yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan atau memampatkan fluida gas atau udara. Kompresor biasanya menggunakan motor listrik, turbin uap, mesin diesel atau mesin bensin sebagai tenaga penggerak.

Gas kompresor di gunakan untuk refrigeration, AC, pemanasan, catalytic cracking, polymerization dan proses kimia lainnya.

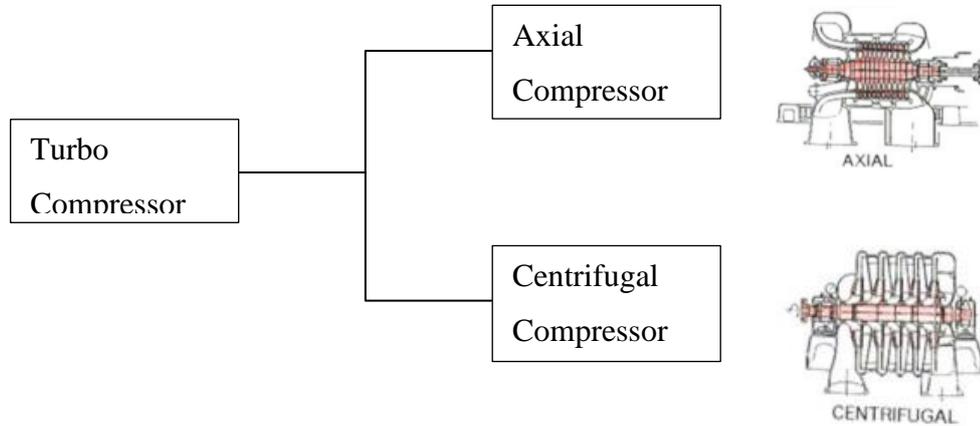
##### 2.1.1 Tipe dan Kategori Kompresor

Ada dua tipe compressor yaitu positive displacement compressor dan turbo compressor. Positive displacement compressor adalah compressor yang meningkatkan pressure dengan mengurangi volume ( $PV = \text{Constan}$ ). Berikut bagian dari positive displacement compressor sebagai berikut



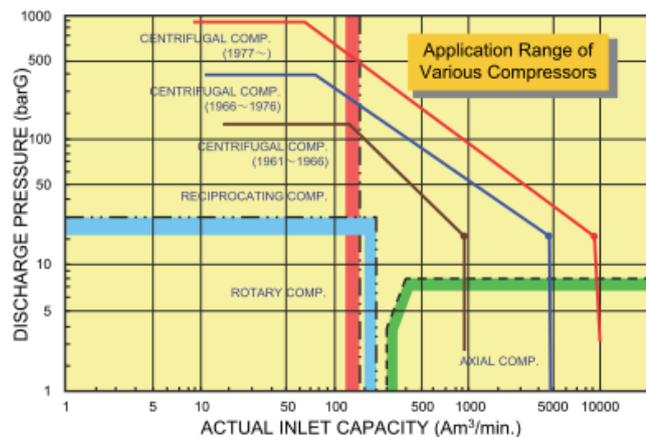
**Gambar 2.1** Bagan Positive Displacement Compressor

Turbo kompresor menambahkan energy ke gas dengan putaran rotor. Berikut adalah bagian dari centrifugal compressor



**Gambar 2.2** Bagan Positive Displacement Compressor

Rentang aplikasi dari berbagai tipe kompresor di tunjukan oleh gambar di bawah ini.



**Gambar 2.3** Rentang aplikasi dari berbagai macam kompresor

### 2.1.2 Kompresor Sentrifugal

Kompresor sentrifugal adalah suatu mesin, yang kerjanya di dapat dari poros (mesin kerja) dan mempunyai bentuk (konstruksi) maupun cara kerja yang sangat mirip dengan pompa sentrifugal.

Hukum-hukum yang berlaku pada pompa sentrifugal berlaku juga pada kompresor sentrifugal.

Fluida yang dialirkan yaitu udara dan gas, mempunyai kerapatan yang cukup kecil, yang di samping itu sangat dipengaruhi oleh tekanan dan temperature, jadi oleh keadaan gas.

Karena terjadinya perbedaan kerapatan ini, dan karena adanya perubahan keadaan gas akibat dari pengaruh pemampatan, maka bila di bandingkan dengan pompa sentrifugal, 3 roda jalan kompresor sentrifugal harus berputar dengan kecepatan keliling yang lebih besar

Kelebihan dan kekurangan dari sentrifugal kompresor dibandingkan dengan reciprocating compressor adalah:

1. Biaya perawatan lebih rendah
2. Tidak ada pulsasi di dalam aliran gas
3. Tidak berisik dan memiliki operasi berkelanjutan yang lebih lama
4. Lebih mudah perawatan
5. Bebas pelumas selama kompres udara
6. Membutuhkan ruang yang lebih kecil
7. Memiliki efisiensi lebih rendah

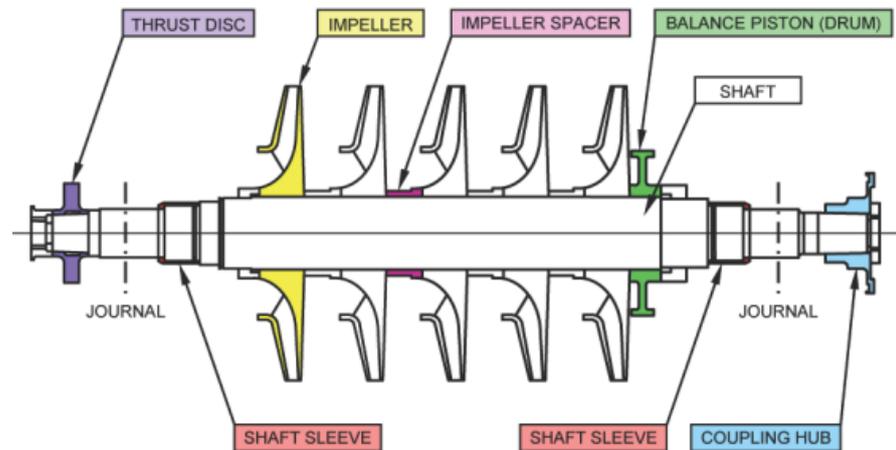
Jika di bandingkan dengan axial flow, kelebihan dan kekurangan sentrifugal kompresor adalah sebagai berikut

1. Rentang stabilitas yang lebih luas
2. Head yang lebih tinggi setiap stage nya
3. Lebih banyak seal system yang cocok untuk menangani gas
4. Memiliki efisiensi lebih rendah

### **2.1.3 Bagian Utama dari Kompresor Sentrifugal**

#### **A. Rotor**

Bagian-bagian dari rotor adalah shaft, thrust disc, shaft sleeve, impeller, impeller spacer, balance piston, shaft sleeve, dan coupling hub.



**Gambar 2.4** Rotor Kompresor Sentrifugal

Impeller dipasang berpasangan mulai dari tengah poros dan di tambahkan berturut turut pasangan impeller, satu dari setiap ujungnya sampai rotor selesai. Rotor di balancing secara dinamis setelah pemasangan setiap set impeller.

#### B. Kopling

Kopling dipasang untuk mentransmisikan daya dari driver ke mesin yang digerakkan dan untuk mengabsorb offset antara kedua shaft.

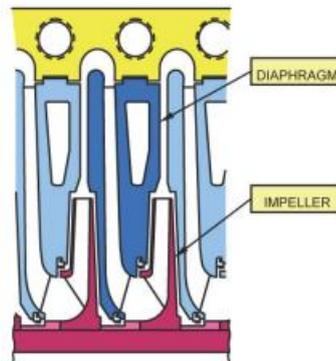
#### C. Diaphragm

Diaphragm adalah dinding pemisah antar stage. Diaphragm terdiri dari

1. Sebuah open passage yang memperluas aliran gas dari keluaran impeller ke return bend.
2. Return bend untuk memutar gas secara efisien dari diffuser ke bagian annular di dalam diaphragm
3. Return passage yang mengarahkan gas ke impeller stage selanjutnya

Lebar dan panjang diffuser diatur pada nilai optimum unuk mencapai performa komponen yang optimal.

Ada dua jenis diffuser, salah satunya adalah diffuser tanpa baling-baling dan yang lainnya adalah diffuser dengan dengan baling-baling diffuser soliditas rendah.

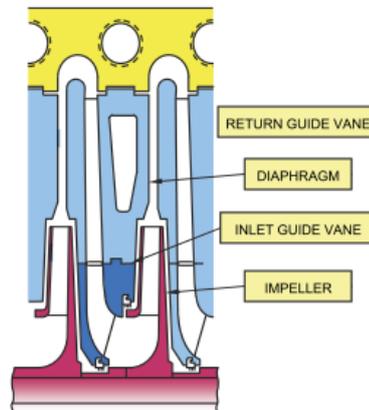


**Gambar 2.5** Diaphragm Kompresor Sentrifugal

#### D. Inlet Guide Vane

Inlet guide vane terletak tepat sebelum impeller, dan mendistribusikan gas secara seragam dari return passage ke inlet mulut impeller.

Sudut kemiringan baling-baling efektif untuk menyesuaikan karakteristik (kapasitas head) dari setiap stage.



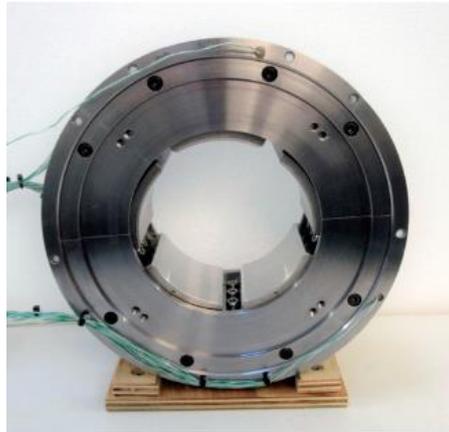
**Gambar 2.6** Inlet Guide Vane

#### E. Bearing/Bantalan

Bantalan (Journal dan thrust bearing) merupakan komponen terpenting dari mesin rotasi. Bantalan Jurnal terletak di kedua ujung rotor. Sedangkan thrust bearing terletak di bagian bawah pressure end.

#### F. Shaft Sealing

Shaft seals terletak di kedua ujung dari casing, dimana shaft melewati casing dan ruang bearing/bantalan.



**Gambar 2.7** Jurnal Bearing

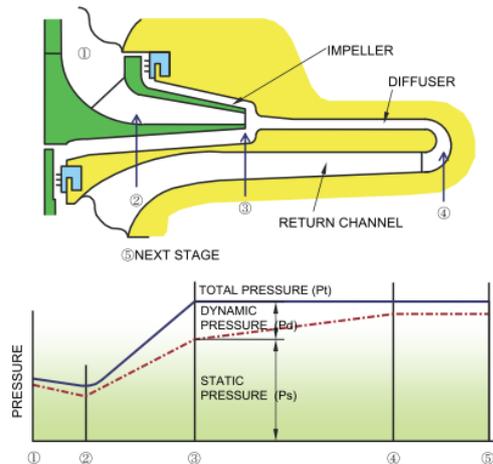
## 2.2 Mekanisme Kompresi Kompresor Sentrifugal

Tekanan total (tekanan statis di tambah tekanan dinamis) akan meningkat di dalam impeller, yang mana beroperasi di kecepatan tinggi. Tekanan statis di dalam impekker meningkat karena gaya sentrifugal dan pengurangan kecepatan relatifnya. Bagian terpenting di dalam diffuser dan *return bend* adalah merubah tekanan dinamis menjadi tekanan static melalui pengurangan kecepatan.

$$P = \gamma.H \quad (2.1)$$

$$P_T = P_S + P_D = P_S + \gamma V^2 \frac{1}{2g} \quad (2.2)$$

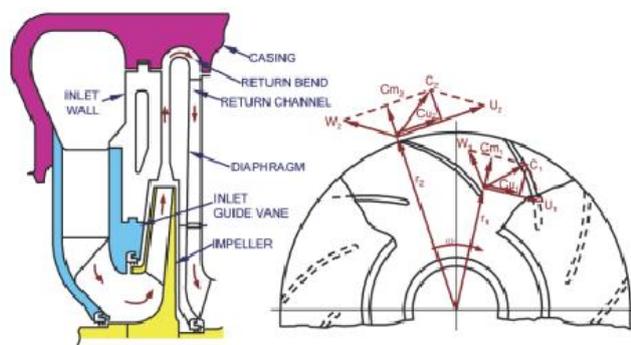
H	: Head (m)
PT	: Tekanan Total ( $\text{kgf}/\text{m}^2$ ) (kgf berarti satuan berat dalam gravitasi dan $1\text{kgf} = 9.8 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$ . Dan kg berarti satuan berat dalam SI)
PS	: Tekanan Statis ( $\text{kgf}/\text{m}^2$ )
PD	: Tekanan Dinamis ( $\text{kgf}/\text{m}^2$ )
$\gamma$	: Berat Gas per satuan volume ( $\text{kgf}/\text{m}^3$ )
$\rho$	: Density dalam satuan SI $\rho = \gamma/g = 9.8 \text{ kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$
V	: Kecepatan gas di diffuser inlet (m/s)
G	: Percepatan grafitasi ( $9.8 \text{ m}/\text{s}^2$ )



**Gambar 2.8** Kenaikan Tekanan di dalam Kompresor

### 2.2.1 Kenaikan Head di Dalam Impeller

Di dalam centrifugal compressor, perpindahan gas pada dasarnya adalah secara radial. Gas memasuki intake (suction) volute kompresor dan mengalir melalui inlet guide stage satu. Kemudian gas mengalir ke “eye” dari impeller stage satu. Karena gaya sentrifugal, gas di buang dari pinggiran impeller dengan kecepatan tinggi. Gas mengalir ke bagian annular antara dinding saluran masuk dan diaphragm stage satu. Bagian ini berkembang (meningkat di ara saat gas mengalir menuju return bend), dengan demikian merubah sebagian energy dari kecepatan menjadi tekanan. Gas kemudian mengalir mengelilingi return bend, melewati return chanel di dalam diaphragm dan memasuki impeller selanjutnya. Setelah tahap selanjutnya dari kompresi, gas mengalir ke volute buangan dari kompresor.



**Gambar 2.9** Kenaikan head di dalam impeller

Teoritis kenaikan Head (H) dalam impeller dari centrifugal kompresor adalah sebagai berikut

Total kenaikan head

$$H = \frac{1}{2g} \{(C_2^2 - C_1^2) + (u_2^2 - u_1^2) + (w_1^2 - w_2^2)\} \quad (2.3)$$

Kenaikan head di dalam impeller

$$H_I = \frac{1}{2g} \{(u_2^2 - u_1^2) + (w_1^2 - w_2^2)\} \quad (2.4)$$

Kenaikan head di dalam diffuser

$$H_I = \frac{1}{2g} (C_2^2 - C_1^2) \quad (2.5)$$

- C : Absolute velocity to blade
- u : Peripheral velocity of impeller
- w : Relative velocity to blade
- 1 : At impeller inlet
- 2 : At impeller outlet

### 2.3 Analisa Getaran

Getaran adalah gerak yang terjadi secara bolak-balik di sekitar kesetimbangan. Syarat terjadinya getaran ialah benda mengalami kondisi diam apabila tidak menerima gaya gerak. Selain itu, jarak simpangan terjauh yang timbul secara bolak-balik akibat getaran, selalu sama bila diukur dari titik tengah.

Ada dua jenis getaran, yang pertama adalah getaran bebas, terjadi bila sistem mekanis dimulai dengan gaya awal, lalu dibiarkan bergetar secara bebas. Contoh getaran seperti ini adalah memukul garpu tala dan membiarkannya bergetar, atau bandul yang ditarik dari keadaan setimbang lalu dilepaskan. Dan yang lainnya adalah Getaran paksa terjadi bila gaya bolak-balik atau gerakan diterapkan pada sistem mekanis. Contohnya adalah getaran gedung pada saat gempa bumi.

Teknik matematika memungkinkan kita untuk mengukur perpindahan total yang disebabkan oleh semua getaran, untuk mengubah pengukuran perpindahan menjadi kecepatan atau percepatan, untuk memisahkan data ini ke dalam komponennya menggunakan analisis FFT, dan untuk menentukan amplitude dan fase dari fungsi-fungsi

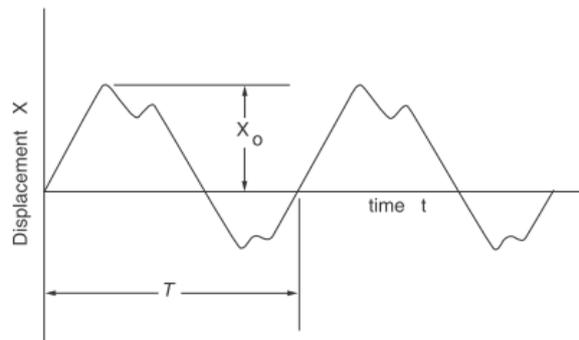
ini. Kuantifikasi semacam itu diperlukan jika kita ingin mengisolasi dan memperbaiki getaran abnormal pada mesin

### 2.3.1 Gerakan Berkala

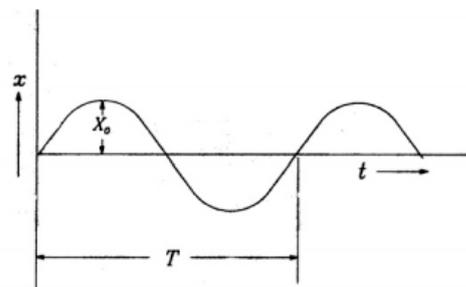
Getaran adalah gerakan periodik, atau yang berulang setelah interval waktu tertentu disebut periode,  $T$ . Gambar 2.10 mengilustrasikan kurva domain waktu gerak periodik dari alas bantalan turbin uap. Perpindahan diplot pada sumbu vertikal, atau  $Y$ , dan waktu pada sumbu horizontal, atau  $X$ . Kurva yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 adalah jumlah dari semua komponen getaran yang dihasilkan oleh elemen berputar dan struktur pendukung bantalan turbin.

Gerakan harmonis, Jenis gerakan atau getaran periodik yang paling sederhana, yang ditunjukkan pada Gambar 2.11, disebut sebagai harmonik. Gerakan harmonik berulang setiap kali elemen atau mesin yang berputar komponen menyelesaikan satu siklus lengkap.

Hubungan antara perpindahan dan waktu untuk gerakan harmonik dapat ditunjukkan sebagai berikut:



**Gambar 2.10** Bentuk Grakan Periodik



**Gambar 2.11** Gerakan Harmonic Sederhana

$$X = X_0 \sin(\omega t) \quad (2.6)$$

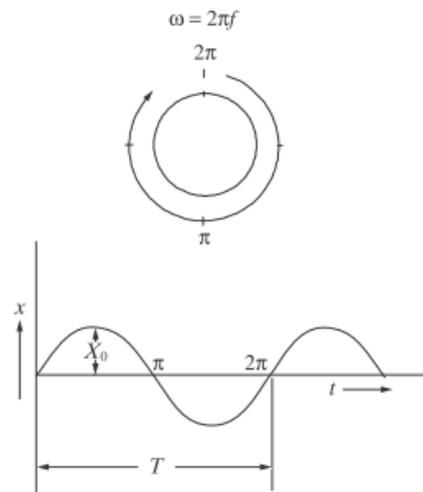
Nilai maksimum perpindahan adalah  $X_0$ , yang juga disebut amplitudo. Periode,  $T$ , biasanya diukur dalam hitungan detik, timbal baliknya adalah frekuensi getaran,  $f$ , diukur dalam siklus per detik (cps) atau Hertz (Hz).

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.7)$$

Ukuran frekuensi lainnya adalah frekuensi melingkar,  $\omega$ , diukur dalam radian per detik. Dari Gambar 2.12, jelas bahwa siklus getaran penuh ( $\omega t$ ) terjadi setelah 360 derajat atau  $2\pi$  radian (yaitu, satu putaran penuh). Pada titik ini, fungsi memulai siklus baru.

$$\omega = 2\pi f \quad (2.8)$$

Untuk mesin yang berputar, frekuensinya sering dinyatakan dalam getaran per menit (vpm)



**Gambar 2.12** Ilustrasi Siklus Getaran

$$VPM = \frac{\omega}{\pi} \quad (2.9)$$

Menurut definisi, kecepatan adalah turunan pertama dari perpindahan sehubungan dengan waktu. Untuk gerakan harmonik, persamaan perpindahan adalah:

$$X = X_0 \sin(\omega t) \quad (2.10)$$

Turunan pertama dari persamaan ini memberi kita persamaan untuk kecepatan:

$$v = \frac{dx}{dt} = \dot{X} = \omega X_0 \cos(\omega t) \quad (2.11)$$

Hubungan ini memberi tahu kita bahwa kecepatan juga harmonis jika perpindahannya harmonik dan memiliki nilai maksimum atau amplitude dari  $\omega X_0$ .

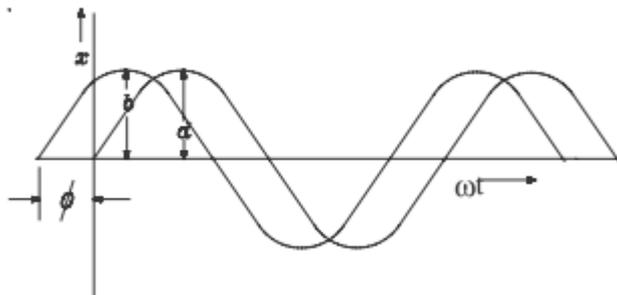
Menurut definisi, akselerasi adalah turunan kedua dari perpindahan (yaitu, turunan pertama dari kecepatan) sehubungan dengan waktu:

$$a = \frac{d^2 X}{dt^2} = \ddot{X} = -\omega^2 X_0 \sin(\omega t) \quad (2.12)$$

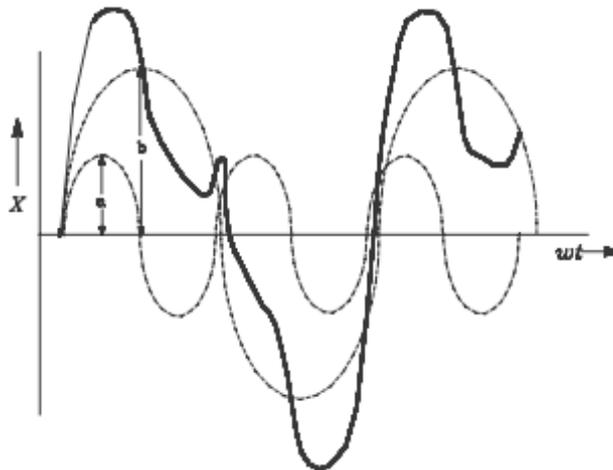
Fungsi ini juga selaras dengan amplitude dari  $\omega^2 X_0$ .

Pertimbangkan dua frekuensi yang diberikan oleh rumus  $X_1 = a \sin(\omega t)$  dan  $X_2 = b \sin(\omega t + \phi)$ , yang ditunjukkan pada Gambar 2.13 yang diplot terhadap  $\omega t$  sebagai sumbu X. Kuantitas,  $\phi$ , dalam persamaan  $X_2$  dikenal sebagai sudut fase atau perbedaan fase antara dua getaran. Karena  $\phi$ , kedua getaran tidak mencapai perpindahan maksimumnya pada saat yang bersamaan. Yang satu adalah detik di belakang yang lain.

Karena,  $\phi$ , kedua getaran tidak mencapai perpindahan maksimumnya pada saat yang bersamaan. Yang satu adalah detik di belakang yang lain. Perhatikan bahwa kedua gerakan ini memiliki frekuensi yang sama,  $\omega$ . Sudut fase hanya memiliki arti untuk dua gerakan dengan frekuensi yang sama.



**Gambar 2.13** Dua Gerakan Harmonis dengan Sudut Phase antara Keduanya



**Gambar 2.14** Gerakan Periodik Nonharmonik

Gerakan Nonharmonik, Di sebagian besar mesin, ada banyak sumber getaran, oleh karena itu, sebagian besar profil getaran domain waktu bersifat nonharmonik (diwakili oleh garis padat pada Gambar 2.14. Meskipun semua gerakan harmonik bersifat periodik, tidak setiap gerakan periodik adalah harmonik. Pada Gambar 2.14, garis putus-putus mewakili gerakan harmonik. Gambar 2.14 adalah superposisi dari dua gelombang sinus yang memiliki frekuensi berbeda. Kurva ini diwakili oleh persamaan berikut:

$$X_1 = a(\omega_1 t) \quad (2.13)$$

$$X_2 = b(\omega_2 t)$$

Getaran total yang diwakili oleh garis padat adalah jumlah dari garis putus-putus. Persamaan berikut mewakili getaran total:

$$X = X_1 + X_2 = a \sin(\omega_1 t) + b \sin(\omega_2 t) \quad (2.14)$$

Setiap fungsi periodik dapat direpresentasikan sebagai serangkaian fungsi sinus yang memiliki frekuensi  $w$ ,  $2w$ ,  $3w$ , dll.:

$$f(t) = A_0 + A_1 \sin(\omega t + \phi_1) + A_2 \sin(\omega t + \phi_2) + A_3 \sin(\omega t + \phi_3) + \dots \quad (2.15)$$

Persamaan sebelumnya dikenal sebagai Deret Fourier, yang merupakan fungsi waktu atau  $f(t)$ . Amplitudo ( $A_1, A_2$ , dll) dari berbagai getaran diskrit dan sudut fasenya ( $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots$ ) dapat ditentukan secara matematis ketika nilai fungsi  $f(t)$  diketahui. Perhatikan bahwa data ini diperoleh menggunakan transduser dan penganalisis getaran portabel.

Istilah,  $2\omega$ ,  $3\omega$ , dll., Disebut sebagai harmonik dari frekuensi primer,  $\omega$ . Di sebagian besar tanda tangan getaran, komponen frekuensi utama adalah salah satu kecepatan berjalan dari rangkaian mesin ( $1X$  atau  $1\omega$ ). Selain itu, tanda tangan mungkin diharapkan memiliki satu atau lebih harmonik, misalnya, pada dua kali ( $2X$ ), tiga kali ( $3X$ ), dan kelipatan lain dari kecepatan lari utama.

### 2.3.2 Parameter Terukur

Seperti yang ditunjukkan sebelumnya, getaran dapat ditampilkan secara grafis sebagai plot, yang disebut sebagai profil getaran atau tanda. Plot ini didasarkan pada parameter yang dapat diukur (yaitu, frekuensi dan amplitudo). [Perhatikan bahwa profil persyaratan dan tanda tangan kadang-kadang digunakan secara bergantian oleh industri. Namun, dalam buku ini, profil digunakan untuk merujuk pada domain waktu (juga dapat disebut jejak waktu atau bentuk gelombang) atau plot domain frekuensi. Istilah signature mengacu pada plot domain frekuensi.]

#### A. Frekuensi

Frekuensi didefinisikan sebagai jumlah pengulangan fungsi pemaksaan atau komponen getaran tertentu selama satuan waktu tertentu. Ambil contoh roda empat jari dengan akselerometer terpasang. Setiap kali poros menyelesaikan satu putaran, masing-masing dari empat jari-jari melewati akselerometer sekali, yang disebut sebagai empat siklus per putaran. Oleh karena itu, jika poros berputar pada 100 rotasi per menit (rpm), frekuensi jari-jari yang melewati akselerometer adalah 400 siklus per menit (cpm). Selain cpm, frekuensi biasanya dinyatakan dalam siklus per detik (cps) atau Hertz (Hz).

Perhatikan bahwa untuk kesederhanaan, frekuensi getaran elemen mesin biasanya dinyatakan sebagai kelipatan dari kecepatan rotasi poros. Dalam contoh sebelumnya, frekuensi akan ditunjukkan sebagai  $4X$ , atau empat kali kecepatan lari. Selain itu, karena beberapa malfungsi cenderung terjadi pada frekuensi tertentu, ada baiknya memisahkan kelas kerusakan tertentu dari yang lain.

Perhatikan, bagaimanapun, bahwa hubungan frekuensi / malfungsi tidak saling eksklusif, dan masalah mekanis tertentu tidak dapat pasti dikaitkan dengan frekuensi yang unik. Meskipun frekuensi adalah informasi yang sangat penting sehubungan

dengan mengisolasi kerusakan mesin, itu hanya satu bagian dari total gambar. Penting untuk mengevaluasi semua data sebelum sampai pada kesimpulan.

## B. Amplitudo

Amplitude refers to the maximum value of a motion or vibration. This value can be represented in terms of displacement (mils), velocity (inches per second), or acceleration (inches per second squared), each of which is discussed in more detail in the Maximum Vibration Measurement section that follows.

Amplitudo dapat diukur sebagai jumlah dari semua gaya yang menyebabkan getaran dalam sepotong mesin (broadband), sebagai pengukuran diskrit untuk gaya individu (komponen), atau untuk gaya yang dipilih pengguna individu (pita sempit). Broadband, komponen, dan narrowband dibahas di bagian Klasifikasi Pengukuran sebagai berikut. Juga dibahas di bagian ini adalah elemen kurva umum: peak-to-peak, zero-to-peak, dan root-mean-square.

Pengukuran Getaran Maksimum. Nilai maksimum getaran, atau amplitudo, dinyatakan sebagai perpindahan, kecepatan, atau akselerasi. Sebagian besar sistem getaran domain frekuensi berbasis mikroprosesor akan mengubah data yang diperoleh ke bentuk yang diinginkan. Karena standar tingkat keparahan getaran industri biasanya dinyatakan dalam salah satu istilah ini, perlu untuk memiliki pemahaman yang jelas tentang hubungan mereka.

Perpindahan. Perpindahan adalah perubahan aktual dalam jarak atau posisi suatu objek relatif terhadap titik referensi dan biasanya dinyatakan dalam satuan mils, 0,001 inci. Misalnya, perpindahan adalah gerakan radial atau aksial aktual poros dalam kaitannya dengan garis tengah normal, biasanya menggunakan rumah mesin sebagai referensi stasioner. Data getaran, seperti pengukuran perpindahan poros yang diperoleh menggunakan probe kedekatan atau transduser perpindahan, harus selalu dinyatakan dalam mils, peak-to-peak.

Kecepatan. Kecepatan didefinisikan sebagai laju waktu perubahan perpindahan (yaitu, turunan pertama,  $\frac{dX}{dt}$  or X) dan biasanya dinyatakan sebagai inci per detik (ips). Secara sederhana, kecepatan adalah deskripsi tentang seberapa cepat komponen getaran bergerak daripada seberapa jauh, yang dijelaskan oleh perpindahan. Digunakan bersama dengan istilah zero-to-peak (PK), kecepatan adalah representasi

terbaik dari energi sejati yang dihasilkan oleh mesin ketika data tutup relatif atau bantalan digunakan.

[Catatan: Sebagian besar program pemantauan getaran bergantung pada data yang diperoleh dari rumah mesin atau tutup bantalan.] Dalam kebanyakan kasus, nilai kecepatan puncak digunakan dengan data getaran antara 0 dan 1.000 Hz. Data-data ini diperoleh dengan sistem domain frekuensi berbasis mikroprosesor.

Akselerasi. Akselerasi didefinisikan sebagai laju waktu perubahan kecepatan (yaitu, turunan kedua dari perpindahan,  $\frac{d^2X}{dt^2}$  atau X) dan dinyatakan dalam satuan inci per detik kuadrat (dalam/ detik<sup>2</sup>). Frekuensi getaran di atas 1.000 Hz harus selalu dinyatakan sebagai akselerasi.

Akselerasi umumnya dinyatakan dalam hal konstanta gravitasi, g, yaitu 32,17 ft/detik<sup>2</sup>. Dalam aplikasi analisis getaran, akselerasi biasanya dinyatakan dalam hal g-RMS atau g-PK. Ini adalah ukuran terbaik dari gaya yang dihasilkan oleh mesin, sekelompok komponen, atau salah satu komponennya.

Klasifikasi Pengukuran. Setidaknya ada tiga klasifikasi pengukuran amplitudo yang digunakan dalam analisis getaran: broadband, narrowband, dan komponen.

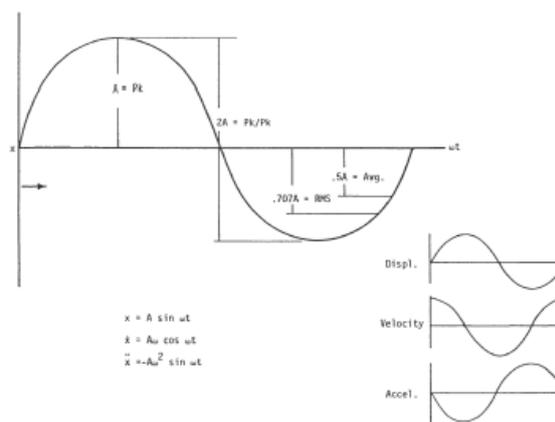
Broadband atau keseluruhan. Energi total dari semua komponen getaran yang dihasilkan oleh mesin dipantulkan oleh pengukuran broadband, atau keseluruhan, amplitudo. Konvensi normal untuk mengekspresikan rentang frekuensi energi broadband adalah rentang yang disaring antara 10 hingga 10.000 Hz, atau 600 hingga 600.000 cpm. Karena sebagian besar bagan tingkat keparahan getaran didasarkan pada broadband yang difilter ini, kehati-hatian harus dilakukan untuk memastikan bahwa data yang dikumpulkan konsisten dengan bagan.

Narrowband. Pengukuran amplitudo narrowband mengacu pada pengukuran yang dihasilkan dari pemantauan energi yang dihasilkan oleh kelompok frekuensi getaran yang dipilih pengguna. Umumnya, amplitudo ini mewakili energi yang dihasilkan oleh band dari komponen getaran yang disaring, mode kegagalan, atau fungsi pemaksaan. Misalnya, energi total yang dihasilkan oleh ketidakstabilan aliran dapat ditangkap menggunakan narrowband yang disaring di sekitar baling-baling atau blade pass frequency

Komponen. Energi yang dihasilkan oleh komponen mesin yang unik, gerakan, atau fungsi pemaksaan lainnya dapat menghasilkan pengukuran amplitudonya sendiri. Misalnya, energi yang dihasilkan oleh kecepatan rotasi poros, meshing set roda gigi, atau komponen mesin serupa menghasilkan komponen getaran diskrit yang amplitudonya dapat diukur.

Elemen Umum Kurva. Semua kurva amplitudo getaran, yang dapat mewakili perpindahan, kecepatan, atau akselerasi, memiliki elemen umum yang dapat digunakan untuk menggambarkan fungsi tersebut. Elemen-elemen umum ini adalah peak-to-peak, zero-to-peak, dan root-mean-square, yang masing-masing diilustrasikan dalam gambar 2.15.

Peak-to-peak. Seperti yang diilustrasikan dalam gambar 2.15, amplitudo peak-to-peak ( $2A$ , di mana  $A$  adalah zero-to-peak) mencerminkan amplitudo total yang dihasilkan oleh mesin, sekelompok komponen, atau salah satu komponennya. Ini tergantung pada apakah data yang dikumpulkan adalah broadband, narrowband, atau komponen. Satuan pengukuran berguna ketika analisis perlu mengetahui perpindahan total atau energi maksimum yang dihasilkan oleh profil getaran mesin.



**Gambar 2.15** Hubungan Amplitudo Vibrasi

Secara teknis, nilai peak-to-peak harus digunakan bersama dengan data perpindahan shaft aktual, yang diukur dengan transduser kedekatan atau perpindahan. Istilah peak-to-peak tidak boleh digunakan untuk data getaran yang diperoleh baik menggunakan data getaran relatif dari tutup bantalan atau saat menggunakan transduser kecepatan atau percepatan. Satu-satunya pengecualian adalah ketika

tingkat getaran harus dibandingkan dengan grafik tingkat getaran berdasarkan nilai peak ke peak.

Zero-to-peak. Nilai zero-to-peak (A), atau hanya puncak, sama dengan setengah dari nilai peak-to-peak. Secara umum, data getaran relatif yang diperoleh dengan menggunakan transduser kecepatan dinyatakan dalam bentuk puncak.

Root-mean-square. Root-mean-square (RMS) adalah nilai rata-rata statistik dari amplitudo yang dihasilkan oleh mesin, salah satu komponennya, atau sekelompok komponen. Mengacu pada Gambar 7-11, RMS sama dengan 0,707 dari nilai nol-ke-puncak, A. Biasanya, data RMS digunakan bersama dengan data getaran relatif yang diperoleh menggunakan akselerometer atau dinyatakan dalam percepatan.

## **2.4 Jenis dan Format Data Getaran**

Ada beberapa opsi mengenai jenis data getaran yang dapat dikumpulkan untuk rangkaian mesin dan sistem serta format di mana data tersebut dapat dikumpulkan. Pemilihan jenis dan format tergantung pada aplikasi spesifik. Ada dua klasifikasi tipe data utama: domain waktu dan domain frekuensi. Masing-masing dapat dibagi lagi menjadi format data kondisi mapan dan dinamis. Pada gilirannya, masing-masing dari dua format ini dapat dibagi lagi menjadi saluran tunggal dan multisaluran.

### **2.4.1 Tipe Data**

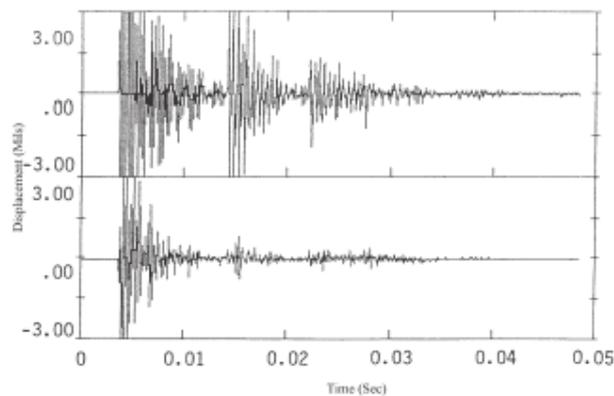
Profil getaran dapat diperoleh dan ditampilkan dalam salah satu dari dua tipe data: domain waktu atau domain frekuensi.

#### **A. Domain Waktu**

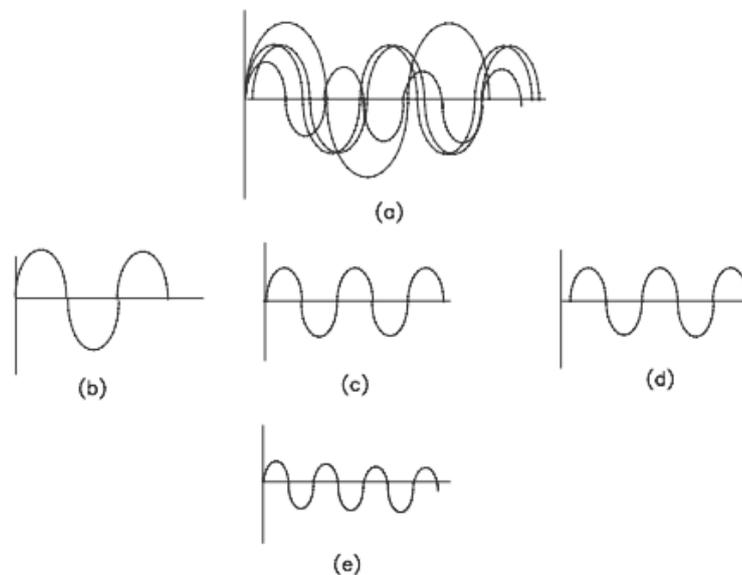
Sebagian besar analisis getaran awal dilakukan dengan menggunakan peralatan analog, yang mengharuskan penggunaan data domain waktu, karena sulit untuk mengubah data domain waktu menjadi data domain frekuensi. Oleh karena itu, kemampuan domain frekuensi tidak tersedia sampai penganalisis berbasis mikroprosesor memasukkan metode langsung (yaitu, Fast Fourier Transform, FFT) untuk mengubah spektrum domain waktu menjadi komponen frekuensinya.

Tanda getaran domain waktu yang sebenarnya biasanya disebut sebagai jejak waktu atau plot waktu (lihat Gambar 2.16). Data getaran teoritis umumnya disebut sebagai bentuk gelombang (lihat Gambar 2.17).

Data domain waktu disajikan dengan amplitudo sebagai sumbu vertikal dan waktu berlalu sebagai sumbu horizontal. Profil domain waktu adalah jumlah dari semua komponen getaran (yaitu, frekuensi, benturan, dan transien lainnya) yang ada di kereta mesin dan sistem terpasangnya. Jejak waktu mencakup semua komponen frekuensi, tetapi komponen individual lebih sulit diisolasi daripada dengan data domain frekuensi.



**Gambar 2.16** Tipe Domain Waktu



**Gambar 2.17** Bentuk Gelombang Domain Waktu Teoretis

Profil yang ditunjukkan pada Gambar 2.16 mengilustrasikan dua titik perolehan data yang berbeda, satu diukur secara vertikal dan satu diukur secara horizontal, pada mesin yang sama dan diambil pada waktu yang sama. Karena diperoleh secara

bersamaan, titik data ini dapat dibandingkan untuk menentukan dinamika operasi mesin.

Dalam contoh ini, kumpulan data berisi dampak yang terjadi pada 0,005 detik. Dampaknya terlihat jelas di kumpulan data vertikal (atas) dan horizontal (bawah). Dari jejak waktu ini, dampak vertikal tampaknya lebih kuat daripada horizontal. Selain itu, tumbukan berulang pada 0,015 dan 0,025 detik. Dua kesimpulan dapat diambil dari contoh ini: (1) sumber tumbukan adalah gaya vertikal, dan (2) berdampak pada kereta mesin pada interval 0,010 detik, atau frekuensi  $1/0,010$  detik sama dengan 100 Hz.

Bentuk gelombang pada Gambar 2.17 mengilustrasikan secara teoritis frekuensi dan transien unik yang mungkin ada dalam tanda tangan mesin. Gambar 1.17a mengilustrasikan kompleksitas bentuk gelombang seperti itu dengan melapisi banyak frekuensi. Bentuk gelombang diskrit yang membentuk Gambar 2.17a ditampilkan satu per satu pada Gambar 2.17b hingga 2.17e. Perhatikan bahwa dua frekuensi (c dan d) identik tetapi memiliki sudut fasa yang berbeda (f).

Dengan data domain waktu, analisis harus secara manual memisahkan frekuensi individu dan peristiwa yang terkandung dalam bentuk gelombang kompleks. Upaya ini sangat rumit oleh superposisi beberapa frekuensi. Perhatikan bahwa, daripada melapisi masing-masing frekuensi diskrit seperti yang diilustrasikan secara teoritis pada Gambar 2.17a, data domain waktu aktual mewakili jumlah frekuensi ini seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.16.

Untuk menganalisis jenis plot ini, analisis harus mengubah skala waktu secara manual untuk mendapatkan data kurva frekuensi diskrit. Interval waktu antara pengulangan setiap frekuensi kemudian dapat diukur. Dengan cara ini, dimungkinkan untuk mengisolasi setiap frekuensi yang membentuk tanda getaran domain waktu.

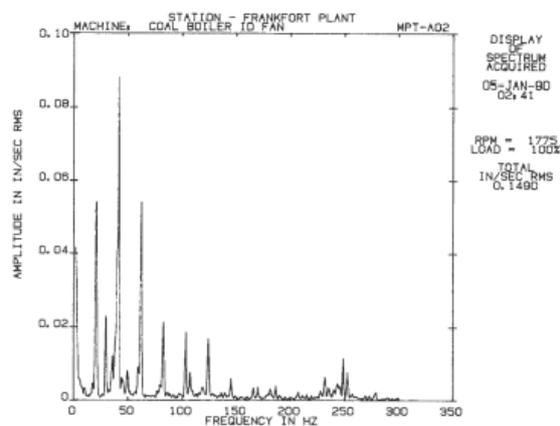
Namun, untuk pemantauan rutin getaran mesin, pendekatan ini tidak hemat biaya. Waktu yang diperlukan untuk mengisolasi secara manual masing-masing komponen frekuensi dan kejadian transien yang terkandung dalam bentuk gelombang sangat sulit; namun, data domain waktu memiliki kegunaan yang pasti dalam pemeliharaan prediktif pabrik total atau program peningkatan keandalan.

Rangkaian mesin atau sistem proses yang memiliki peristiwa waktu tertentu (misalnya, silinder pneumatik atau hidrolis) harus dianalisis menggunakan format data domain waktu. Selain itu, data domain waktu harus digunakan untuk mesin gerak linier dan bolak-balik.

#### B. Domain Frekuensi

Kebanyakan kegagalan mesin-kereta yang berputar menghasilkan pada atau di dekat komponen frekuensi yang terkait dengan kecepatan lari. Oleh karena itu, kemampuan untuk menampilkan dan menganalisis spektrum getaran sebagai komponen frekuensi sangat penting.

Format domain frekuensi menghilangkan upaya manual yang diperlukan untuk mengisolasi komponen yang membentuk jejak waktu. Teknik domain frekuensi mengubah data domain waktu menjadi komponen frekuensi diskrit menggunakan proses matematika yang disebut Fast Fourier Transform (FFT). Sederhananya, FFT secara matematis mengubah jejak berbasis waktu menjadi serangkaian komponen frekuensi diskrit (lihat Gambar 2.18). Dalam plot domain frekuensi, sumbu X adalah frekuensi dan sumbu Y adalah amplitudo perpindahan, kecepatan, atau percepatan.



**Gambar 2.18** Tipe domain Frekuensi

Dengan analisis domain frekuensi, spektrum rata-rata untuk tanda rangkaian mesin dapat diperoleh. Puncak berulang dapat dinormalisasi untuk menyajikan representasi akurat dari kondisi rangkaian mesin. Gambar 7-20 mengilustrasikan hubungan yang disederhanakan antara domain waktu dan analisis domain frekuensi.

Keuntungan nyata dari analisis domain frekuensi adalah kemampuan untuk menormalkan setiap komponen getaran sehingga spektrum Rangkaian mesin yang

kompleks dapat dibagi menjadi komponen-komponen diskrit. Kemampuan ini menyederhanakan isolasi dan analisis degradasi mekanis di dalam rangkaian mesin.

Selain itu, analisis domain frekuensi dapat digunakan untuk menentukan hubungan fase untuk komponen getaran harmonik dalam spektrum kereta mesin yang khas. Domain frekuensi menormalkan salah satu atau semua kecepatan lari, di mana analisis domain waktu terbatas pada kecepatan lari yang sebenarnya.

Teori matematika menunjukkan bahwa setiap fungsi periodik waktu,  $f(t)$ , dapat direpresentasikan sebagai deret fungsi sinus yang memiliki frekuensi  $\omega, 2\omega, 3\omega, 4\omega$  dan seterusnya. Fungsi  $f(t)$  diwakili oleh persamaan berikut, yang disebut sebagai Deret Fourier:

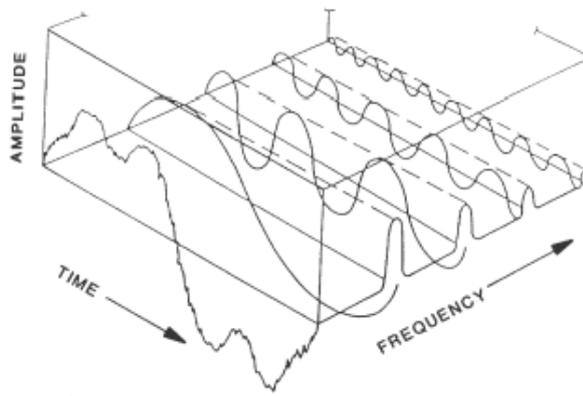
$$f(t) = A_0 + A_1 \sin(\omega t + \phi_1) + A_2 \sin(\omega t + \phi_2) + A_3 \sin(\omega t + \phi_3) + \dots \quad (2.16)$$

Dimana:

$A_x$  = Amplitudo setiap gelombang sinus diskrit

$\omega t$  = Frekuensi

$\phi_x$  = Sudut phase setiap gelombang sinus diskrit



**Gambar 2.19** Hubungan antara Domain Waktu dan Domain Frekuensi

Masing-masing fungsi sinus ini mewakili komponen diskrit dari tanda getaran yang dibahas sebelumnya. Amplitudo masing-masing komponen diskrit dan sudut fasenya dapat ditentukan dengan kalkulus integral ketika fungsi  $f(t)$  diketahui. Karena subjek kalkulus integral berada di luar cakupan buku ini, matematika yang diperlukan untuk menentukan integral ini tidak disajikan. Penganalisis getaran dan perangkat lunak terkait melakukan penentuan ini menggunakan FFT.

## 2.4.2 Format Data

Baik data getaran domain waktu dan domain frekuensi dapat diperoleh dan dianalisis dalam dua format utama: keadaan tunak atau dinamis. Masing-masing format ini memiliki kekuatan dan kelemahan yang harus dipahami dengan jelas untuk penggunaan yang tepat. Selain itu, masing-masing format ini dapat diperoleh sebagai data saluran tunggal atau multisaluran.

### A. Stabil

Sebagian besar program getaran yang menggunakan penganalisis berbasis mikroprosesor terbatas pada data kondisi tunak. Data getaran kondisi tunak mengasumsikan bahwa kereta mesin atau sistem proses beroperasi dalam kondisi konstan, atau kondisi tunak. Dengan kata lain, mesin bebas dari variabel dinamis seperti beban, aliran, dan sebagainya. Pendekatan ini selanjutnya mengasumsikan bahwa semua frekuensi getaran dapat diulang dan mempertahankan hubungan yang konstan dengan kecepatan putar shaft mesin.

Teknik analisis kondisi stabil didasarkan pada perolehan data getaran saat mesin atau sistem proses beroperasi pada kecepatan tetap dan parameter operasi tertentu. Misalnya, kereta mesin berkecepatan variabel dievaluasi pada kecepatan konstan daripada di atas rentang kecepatannya.

Analisis keadaan tunak dapat dibandingkan dengan foto diam dari profil getaran yang dihasilkan oleh mesin atau sistem proses. Snapshots dari profil getaran diperoleh oleh penganalisis getaran dan disimpan untuk analisis. Snapshot dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi operasi relatif dari rangkaian mesin sederhana, tetapi tidak memberikan gambaran yang benar tentang dinamika mesin atau profil getarannya.

Analisis kondisi steady sama sekali mengabaikan variasi tingkat getaran atau getaran yang dihasilkan oleh peristiwa transien seperti dampak dan perubahan kecepatan atau parameter proses. Instrumen yang digunakan untuk mendapatkan profil berisi sirkuit elektronik, yang secara khusus dirancang untuk menghilangkan data transien.

Dalam proses akuisisi normal, penganalisis memperoleh beberapa blok data. Sebagai bagian dari proses, mikroprosesor membandingkan setiap blok data saat

diperoleh. Jika sebuah blok berisi transien yang tidak termasuk dalam blok berikutnya, blok yang berisi kejadian tersebut dibuang dan diganti dengan blok bebas transien. Akibatnya, analisis kondisi tunak tidak mendeteksi kejadian acak yang mungkin memiliki efek negatif langsung pada keandalan peralatan.

#### B. Dinamis

Sementara data kondisi steady menyediakan snapshot mesin, data dinamis atau real-time menyediakan gambar bergerak. Pendekatan ini memberikan gambaran yang lebih baik tentang dinamika kereta mesin dan profil getarannya. Data yang diperoleh dengan menggunakan metode keadaan tunak akan menunjukkan bahwa profil getaran dan amplitudo adalah konstan, tetapi ini tidak benar. Semua gaya dinamis, termasuk kecepatan lari, bervariasi secara konstan di semua kereta mesin. Ketika metode akuisisi data real-time digunakan, variasi ini ditangkap dan ditampilkan untuk analisis.

#### C. Saluran Tunggal

Sebagian besar program pemantauan getaran berbasis mikroprosesor mengandalkan format data getaran saluran tunggal. Teknik akuisisi dan analisis data saluran tunggal dapat diterima untuk pemantauan rutin mesin sederhana yang berputar; namun, penting bahwa analisis saluran tunggal ditambah dengan analisis multichannel dan dinamis. Ketergantungan total pada teknik saluran tunggal sangat membatasi keakuratan analisis dan efektivitas program pemeliharaan prediktif atau peningkatan keandalan.

Dengan metode saluran tunggal, data diperoleh secara seri atau satu saluran pada suatu waktu. Biasanya, serangkaian titik data dibuat untuk setiap rangkaian mesin dan data diperoleh dari setiap titik dalam rute pengukuran. Meskipun pendekatan ini lebih dari cukup untuk pemantauan rutin mesin yang relatif sederhana, pendekatan ini didasarkan pada asumsi bahwa dinamika mesin dan profil getaran yang dihasilkan adalah konstan selama seluruh proses akuisisi data. Pendekatan ini menghalangi kemampuan untuk mengevaluasi hubungan waktu nyata antara titik pengukuran pada rangkaian mesin dan variasi dalam parameter proses seperti kecepatan, beban, tekanan, dan sebagainya.

#### D. Multichanel

Data multichanel memberikan gambaran terbaik tentang hubungan antara titik pengukuran pada kereta mesin. Data diperoleh secara bersamaan dari semua titik pengukuran pada kereta mesin. Dengan jenis data ini, analis dapat menetapkan hubungan antara dinamika mesin dan profil getaran seluruh mesin.

Dalam kebanyakan kasus, tape recorder digital digunakan untuk memperoleh data dari mesin. Karena semua titik pengukuran dicatat pada waktu yang sama, data yang dihasilkan dapat digunakan untuk membandingkan profil getaran tri-aksial dari semua titik pengukuran. Kemampuan ini sangat meningkatkan kemampuan analis untuk mengisolasi dinamika mesin yang tidak normal dan untuk menentukan akar penyebab penyimpangan.

### 2.5 Sumber Getaran

Semua mesin dengan bagian yang bergerak menghasilkan gaya mekanis selama operasi normal. Karena kondisi mekanis mesin berubah karena keausan, perubahan lingkungan operasi, variasi beban, dan sebagainya, begitu pula gaya-gaya ini. Memahami dinamika mesin dan bagaimana gaya menciptakan komponen frekuensi getaran yang unik adalah kunci untuk memahami sumber getaran.

Getaran tidak terjadi begitu saja. Ada penyebab fisik, yang disebut sebagai fungsi pemaksaan, dan setiap komponen tanda getaran memiliki fungsi pemaksaannya sendiri. Komponen yang membentuk tanda tangan direfleksikan sebagai puncak diskrit dalam FFT atau plot domain frekuensi.

Profil getaran yang dihasilkan dari gerakan adalah hasil dari ketidakseimbangan gaya. Menurut definisi, keseimbangan terjadi dalam sistem yang bergerak ketika semua gaya yang dihasilkan oleh, dan bekerja pada, mesin berada dalam keadaan setimbang. Dalam aplikasi dunia nyata, bagaimanapun, selalu ada beberapa tingkat ketidakseimbangan, dan semua mesin bergetar sampai batas tertentu. Bagian ini membahas sumber getaran yang lebih umum untuk mesin yang berputar, serta untuk mesin yang mengalami gerakan bolak-balik dan/atau linier.

### 2.5.1 Mesin Berputar

Sebuah mesin berputar memiliki satu atau lebih elemen mesin yang berputar dengan poros, seperti bantalan elemen bergulir, impeler, dan rotor lainnya. Dalam mesin yang seimbang sempurna, semua rotor berbelok ke kanan pada garis tengahnya dan semua gaya adalah sama. Dalam mesin industri, bagaimanapun, adalah umum untuk ketidakseimbangan kekuatan ini terjadi. Selain ketidakseimbangan yang dihasilkan oleh elemen yang berputar, getaran dapat disebabkan oleh ketidakstabilan pada media yang mengalir melalui mesin yang berputar.

#### A. Rotor Imbalance

Ketidakseimbangan mekanis bukan satu-satunya bentuk ketidakseimbangan yang memengaruhi elemen yang berputar. Ini adalah kondisi di mana lebih banyak bobot berada di satu sisi garis tengah rotor daripada di sisi lain. Dalam banyak kasus, ketidakseimbangan rotor adalah hasil dari ketidakseimbangan antara gaya sentripetal yang dihasilkan oleh rotasi. Sumber getaran rotor juga dapat berupa ketidakseimbangan antara gaya angkat yang dihasilkan oleh rotor dan gravitasi.

Mesin dengan elemen berputar dirancang untuk menghasilkan pengangkatan vertikal elemen berputar saat beroperasi dalam parameter normal. Pengangkatan vertikal ini harus mengatasi gravitasi untuk memusatkan elemen berputar dengan benar dalam struktur pendukung bantalannya, namun, karena gravitasi dan tekanan atmosfer bervariasi dengan ketinggian dan tekanan barometrik, pengangkatan sebenarnya mungkin tidak mengimbangi gaya gravitasi ke bawah di lingkungan tertentu. Ketika deviasi gaya angkat aktual dari gaya angkat yang dirancang signifikan, sebuah rotor mungkin tidak berputar pada garis tengahnya yang sebenarnya. Rotasi offset ini menciptakan ketidakseimbangan dan tingkat getaran yang terukur.

#### B. Ketidakstabilan Aliran dan Kondisi Operasi

Mesin berputar yang mengalami ketidakseimbangan yang disebabkan oleh aliran media yang turbulen atau tidak seimbang termasuk pompa, kipas, dan kompresor. Sebuah desain mesin yang baik untuk unit ini menggabungkan kekuatan dinamis dari gas atau cairan dalam menstabilkan elemen berputar. Kombinasi gaya-gaya ini dan kekakuan sistem pendukung rotor (yaitu, bantalan dan alas bantalan) menentukan

tingkat getaran. Kekakuan penopang rotor penting karena gaya yang tidak seimbang yang dihasilkan dari ketidakstabilan aliran dapat membelokkan elemen yang berputar dari garis tengahnya yang sebenarnya, dan kekakuan menahan defleksi.

Penyimpangan dari selubung operasi yang dirancang mesin dapat memengaruhi stabilitas aliran, yang secara langsung memengaruhi profil getaran. Misalnya, tingkat getaran kompresor sentrifugal biasanya rendah ketika beroperasi pada beban 100 persen dengan aliran udara laminar melalui kompresor; namun, perubahan radikal dalam tingkat getaran dapat terjadi akibat penurunan beban. Getaran yang dihasilkan dari operasi pada beban 50 persen dapat meningkat sebanyak 400 persen tanpa perubahan kondisi mekanis kompresor. Selain itu, perubahan radikal pada tingkat getaran dapat diakibatkan oleh aliran turbulen yang disebabkan oleh pembatasan baik pada pipa saluran masuk maupun saluran pembuangan.

Aliran media turbulen atau tidak seimbang (yaitu, ketidakstabilan aerodinamis atau hidrolis) tidak memiliki dampak kuadrat yang sama pada profil getaran seperti pada perubahan beban, tetapi meningkatkan energi getaran secara keseluruhan. Ini menghasilkan profil unik yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat ketidakstabilan yang ada dalam mesin. Profil yang dihasilkan oleh aliran tidak seimbang terlihat pada frekuensi baling-baling atau sudu dari elemen yang berputar. Selain itu, profil menunjukkan peningkatan yang nyata dalam kebisingan acak yang dihasilkan oleh aliran gas atau cairan melalui mesin.

### C. Gerak dan Gaya Mekanik

Pemahaman yang jelas tentang gerakan mekanis mesin dan komponennya merupakan bagian penting dari analisis getaran. Pemahaman ini, ditambah dengan kekuatan yang diterapkan oleh proses, adalah dasar untuk akurasi diagnostik.

Hampir setiap frekuensi unik yang terkandung dalam tanda getaran rangkaian mesin dapat secara langsung dikaitkan dengan gerakan mekanis yang sesuai di dalam mesin. Misalnya, gerakan akhir konstan atau gerakan aksial dari elemen berputar dalam set motor-generator menghasilkan amplitudo yang meningkat pada fundamental (1X), harmonik kedua (2X), dan harmonik ketiga (3X) dari kecepatan berjalan poros yang sebenarnya. Selain itu, gerakan ini meningkatkan amplitudo aksial dari frekuensi fundamental (1X).

Gaya yang dihasilkan dari pergerakan udara atau cairan melalui mesin juga menghasilkan komponen frekuensi unik di dalam tanda tangan mesin. Dalam aplikasi aliran yang relatif stabil atau laminar, pergerakan produk melalui mesin sedikit meningkatkan amplitudo pada frekuensi sudu atau sudu-pass. Dalam aplikasi aliran turbulen yang lebih parah, aliran produk menghasilkan profil pita lebar, white-noise yang dapat secara langsung dikaitkan dengan pergerakan produk melalui mesin.

Gaya lain, seperti sideload yang dibuat oleh drive V-belt, juga menghasilkan frekuensi unik atau memodifikasi frekuensi komponen yang ada. Misalnya, ketegangan sabuk yang berlebihan meningkatkan beban samping pada poros kereta mesin. Peningkatan sideload ini mengubah zona beban pada bantalan alat berat. Hasil dari perubahan ini adalah peningkatan yang nyata pada amplitudo pada frekuensi rotasi lintasan luar bantalan.

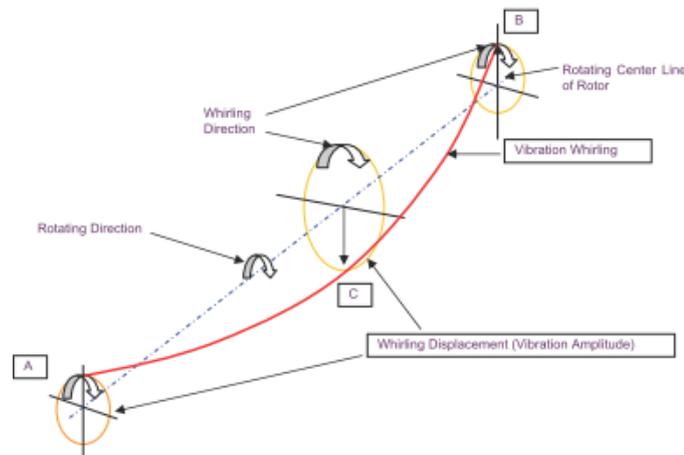
Gaya yang diterapkan atau beban induksi juga dapat menggantikan poros dalam kereta mesin. Akibatnya poros mesin akan berputar di luar pusat, yang secara dramatis meningkatkan amplitudo pada frekuensi dasar (1X) mesin.

### **2.5.2 Getaran Shaft**

Getaran pada poros yang berputar ada 2 (dua) macam, yaitu getaran lateral dan getaran torsional. Hanya getaran lateral yang akan dijelaskan di sini, karena getaran puntir jarang terjadi. Selama getaran lateral, poros rotor berputar dengan jumlah perpindahan tergantung pada putaran operasi.

Perpindahan berputar ini disebut amplitudo getaran. Amplitudo getaran didistribusikan sepanjang rotor secara longitudinal. Besarnya amplitudo getaran terutama tergantung pada ketidakseimbangan sisa dan gaya sentrifugal yang disebabkan oleh kecepatan putar rotor.

Arah putaran (getaran) umumnya sama dengan putaran rotor. Silakan lihat ilustrasi yang tepat. Kecepatan putaran (kecepatan getaran) disebut frekuensi getaran, dan dinyatakan dalam Hz (waktu siklus per detik).



**Gambar 2.20** Shaft Vibration

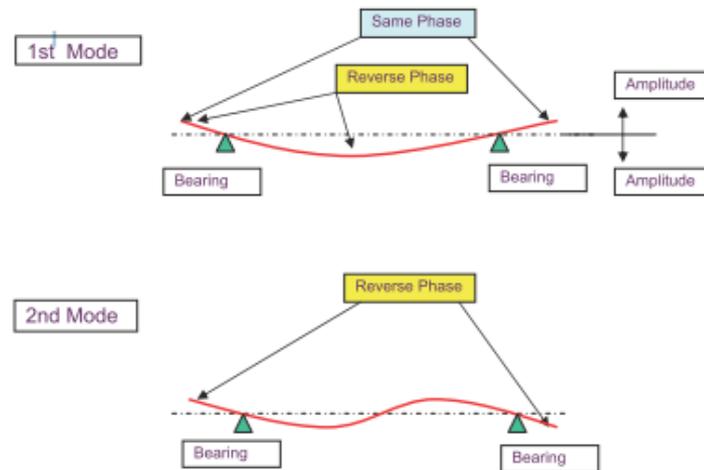
Aspek distribusi amplitudo getaran disebut modus getaran. Arah relatif (derajat) amplitudo disebut fase, yaitu ketika posisi putaran Titik A adalah  $0^\circ$ , posisi putaran Titik C adalah  $180^\circ$ , dan posisi Titik B sama dengan Titik A pada waktu yang sama.

Setiap rotor memiliki banyak frekuensi tertentu (frekuensi alami) di mana ia akan bergetar. Kesimpulan:

- (1) Amplitudo Getaran = Perpindahan Berputar
- (2) Amplitudo getaran didistribusikan sepanjang rotor secara longitudinal.
- (3) Aspek distribusi amplitudo getaran disebut modus getaran.
- (4) Arah relatif (derajat) amplitudo disebut fase.
- (5) Frekuensi eksitasi utama (kecepatan) dan gaya getaran adalah kecepatan putar dan ketidakseimbangan pada rotor.

### 2.5.2.1 Mode dan Phase dari Getaran Shaft

Rotor dioperasikan dengan mode getaran pertama di bawah kecepatan frekuensi alami pertama rotor. Antara frekuensi alami ke-1 dan ke-2, mode getaran adalah kombinasi dari mode ke-1 dan ke-2. Ketika kecepatan operasi mendekati frekuensi alami pertama, mode getaran mendekati Mode Pertama. Ketika mendekati frekuensi alami ke-2, ia mendekati Mode ke-2. Pada Mode 1, fase getaran pada kedua ujung poros adalah sama. Dalam Mode ke-2, fase getaran di kedua ujungnya berlawanan.



**Gambar 2.21** Mode dan Phase Getaran

### 2.5.2.2 Analisis Gelombang dan Frekuensi Getaran (Analisis Spektrum)

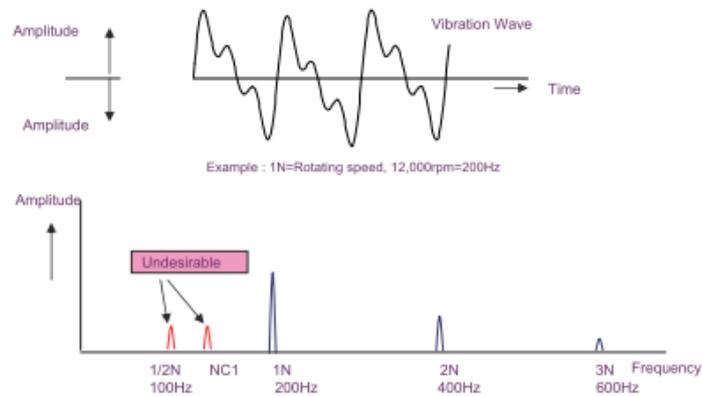
Ilustrasi kanan menunjukkan contoh gelombang getaran dan analisis frekuensi. Getaran poros dapat mencakup beberapa komponen frekuensi.

Kita dapat mengetahui komponen apa saja yang termasuk dalam getaran, dan amplitudonya, dengan menganalisis gelombang getaran. Komponen utama diharapkan berada pada kecepatan putar rotor. Mungkin juga ada komponen dengan kecepatan putar dua kali ( $2N$ ) dan tiga kali lipat ( $3N$ ).

Komponen ganda adalah komponen di mana kecepatan putaran getaran menjadi dua kali lipat (2 kali) selama satu putaran rotor, dan puncak amplitudo muncul 2 kali selama satu putaran rotor.

Kadang-kadang komponen sub-sinkron ( $1/2N =$  setengah dari kecepatan putar) dan/atau non-sinkron (misalnya kecepatan kritis pertama) dapat disertakan.

Jika komponen sub-sinkron dan/atau non-sinkron dimasukkan, itu berarti rotor memiliki karakteristik khusus dan/atau khusus, dan diperlukan perhatian khusus untuk kondisi operasi.



**Gambar 2.22** Analisis Gelombang dan Frekuensi Getaran (Analisis Spektrum)

### 2.5.3 Kecepatan Kritis Lateral dan Rentang Operasi

Ketika frekuensi fenomena gaya periodik (frekuensi eksitasi seperti siklus revolusi, dll.) diterapkan pada sistem pendukung bantalan rotor sesuai dengan frekuensi alami sistem, sistem mungkin berada dalam keadaan resonansi. Kurva kanan menunjukkan contoh hubungan antara tingkat getaran dan putaran rotor per menit.

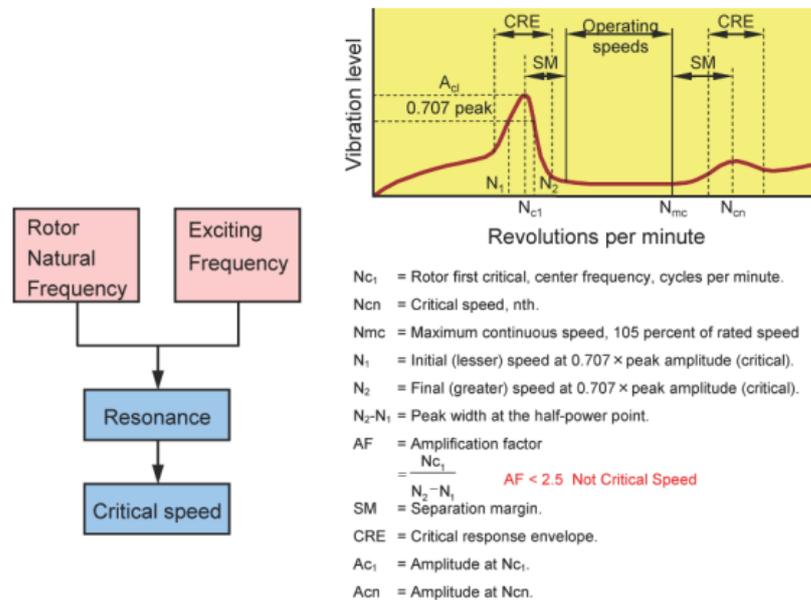
Pada frekuensi alami, tingkat getaran meningkat. Untuk menjaga operasi yang stabil, kecepatan operasi harus memiliki pemisahan margin (SM pada kurva di atas). Dalam API 617, margin pemisahan ditentukan sesuai dengan tingkat amplifikasi tingkat getaran (AF). Jika tingkat getaran besar, margin pemisahan yang besar diperlukan. Ketika tingkat getaran lebih besar dari atau sama dengan 2,5 frekuensi alami disebut kecepatan kritis.

Batasan getaran poros selama uji bengkel harus lebih rendah dari nilai dalam persamaan berikut atau 25 mikrometer, mana saja yang lebih kecil.

$$A = \sqrt{\frac{12.000}{MCR}} \times 25.4 \mu \quad (2.17)$$

MCR : Max Continuous Speed, rpm

Frekuensi alami torsional dari rangkaian lengkap harus setidaknya 10 persen di atas atau 10 persen di bawah frekuensi eksitasi yang mungkin dalam rentang kecepatan operasi yang ditentukan (dari kecepatan kontinu minimum hingga maksimum).



**Gambar 2.23** Kecepatan Kritis Lateral dan Rentang Operasi

**2.5.3.1 Margin Pemisahan**

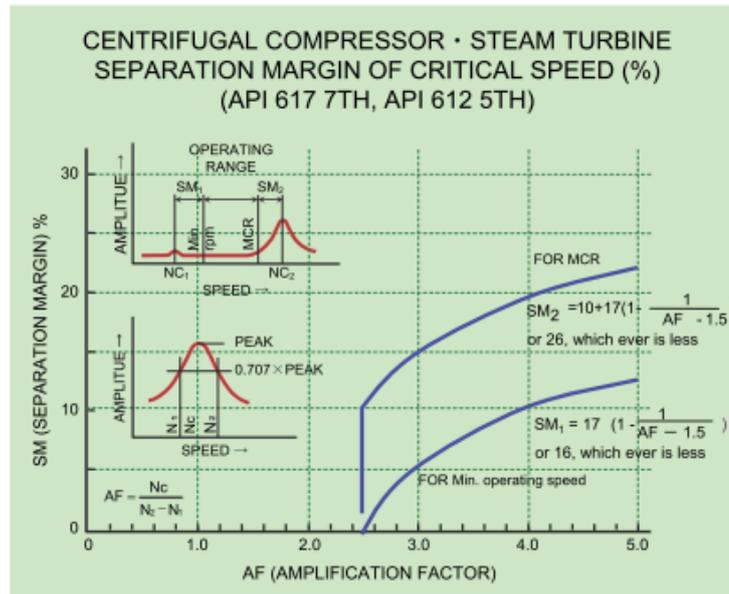
Margin pemisahan didefinisikan dalam API 617 untuk kompresor sentrifugal.

- 1) Jika tingkat getaran pada kecepatan kritis tertentu kurang dari 2,5, respons dianggap teredam kritis dan tidak ada margin pemisahan diperlukan.
- 2) Jika tingkat getaran pada kecepatan kritis tertentu adalah 2,5 atau lebih besar dan kecepatan kritis tersebut di bawah kecepatan minimum, margin pemisahan tidak boleh kurang dari nilai yang ditentukan di bawah ini.

$$SM = 17 \left( 1 - \frac{1}{AF - 1.5} \right) \text{ or } 16, \text{ mana yang lebih sedikit.} \tag{2.18}$$

- 3) Jika tingkat getaran pada kecepatan kritis tertentu adalah 2,5 atau lebih besar dan kecepatan kritis tersebut di atas kecepatan kontinu maksimum, margin pemisahan tidak boleh kurang dari nilai yang ditentukan di bawah ini.

$$SM = 17 \left( 1 - \frac{1}{AF - 1.5} \right) \text{ or } 26, \text{ mana yang lebih sedikit.} \tag{2.19}$$

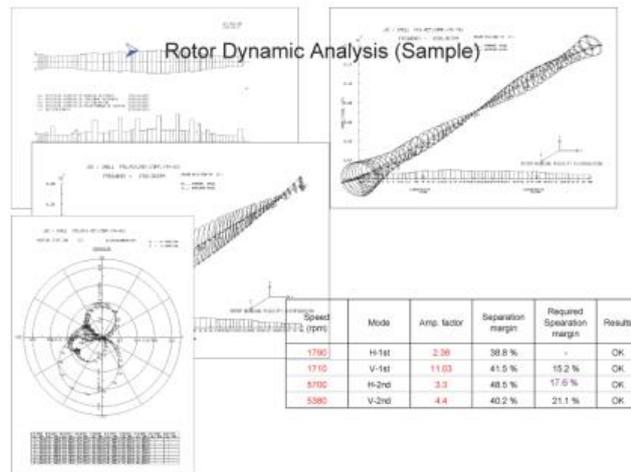


**Gambar 2.24** Margin Pemisahan

### 2.5.3.2 Analisis Dinamis Rotor

Ini adalah contoh hasil analisis untuk respon rotor ketidakseimbangan teredam. Kecepatan kritis dan faktor amplifikasinya dapat ditentukan dengan menganalisis respons rotor tidak seimbang teredam. Kekakuan dan redaman film pelumas akan berubah karena kecepatan operasi, suhu oli, jarak bebas bantalan, dll. Biasanya, analisis akan dilakukan berdasarkan beberapa kasus jarak bebas normal dan viskositas oli normal, jarak bebas maksimum dan viskositas minyak minimum, dan jarak bebas minimum dan viskositas minyak maksimum.

Selain analisis, uji verifikasi respons rotor yang tidak seimbang dilakukan sebagai bagian dari uji berjalan mekanis. Untuk kompresor, berat ketidakseimbangan akan ditambahkan pada bagian kopling. Hasil dari proses mekanik termasuk uji verifikasi respon ketidakseimbangan dibandingkan dengan model analisis.



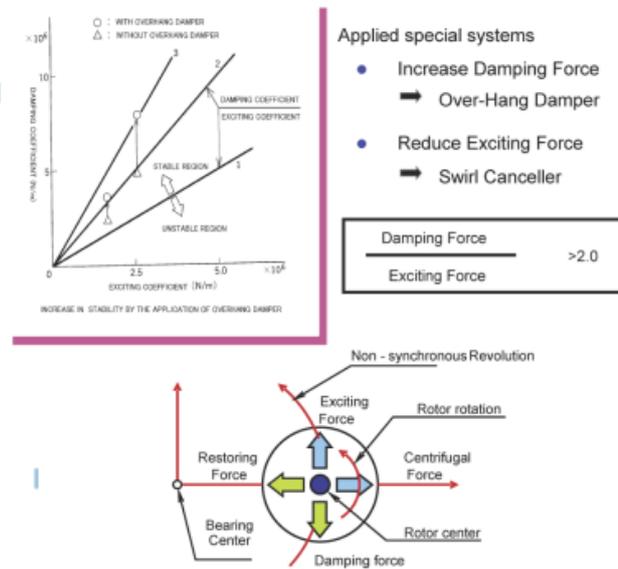
**Gambar 2.25** Contoh Analisis Dinamis Rotor

#### 2.5.4 Stabilitas Rotor/ Gaya Eksitasi dan Redaman

Dalam kompresor tekanan tinggi, penanggulangan terhadap getaran non sinkron harus dipertimbangkan. Gaya yang bekerja pada rotor di bawah getaran nonsinkron ditunjukkan pada ilustrasi di sebelah kanan. Pertumbuhan atau redaman getaran tergantung pada apakah gaya eksitasi yang bekerja dalam arah rotasi atau gaya redaman yang bekerja dalam arah sebaliknya lebih besar.

Oleh karena itu, meningkatkan gaya redaman dan mengurangi gaya eksitasi adalah solusi yang efektif. Rotor harus memiliki redaman yang cukup terhadap gaya eksitasi dari impeller, labirin, dan area lain untuk menghindari getaran yang tidak sinkron.

Kriteria desain untuk stabilitas rotor MAC adalah bahwa gaya redaman sistem bantalan-rotor harus lebih besar dari 2 kali gaya yang bekerja pada sistem rotor. Untuk mengurangi gaya eksitasi, Swirl Canceller disediakan di labirin keseimbangan piston. Untuk meningkatkan gaya redaman, Over Hang Damper dipasang di bagian luar bantalan dorong di ujung bebas.



**Gambar 2.26** Stabilitas Rotor/ Gaya eksitasi dan redaman

## 2.6 Akuisisi Data

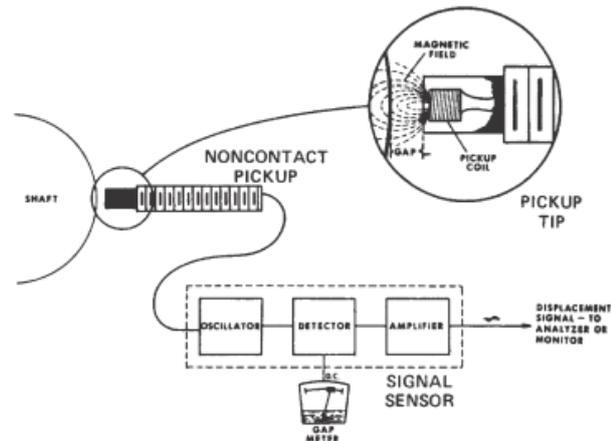
Penting untuk program pemeliharaan prediktif yang menggunakan analisis getaran untuk memiliki data yang akurat dan dapat diulang. Selain jenis dan kualitas transduser, tiga parameter utama mempengaruhi kualitas data: titik pengukuran, orientasi, dan teknik pemasangan transduser.

Dalam program pemeliharaan prediktif dan keandalan, sangat penting untuk menyimpan catatan historis yang baik dari parameter utama. Bagaimana lokasi titik pengukuran dan orientasi ke poros mesin dipilih harus disimpan sebagai bagian dari database. Adalah penting bahwa setiap pengukuran yang diambil sepanjang umur program pemeliharaan diperoleh pada titik dan orientasi yang persis sama. Selain itu, beban tekan, atau gaya ke bawah, yang diterapkan pada transduser harus sama persis untuk setiap pengukuran.

### 2.6.1 Detektor Getaran: Transduser dan Kabel

Berbagai teknik pemantauan, tren, dan analisis yang dapat dan harus digunakan sebagai bagian dari program pemantauan getaran pembangkit total. Awalnya, program semacam itu bergantung pada penggunaan tren historis untuk mendeteksi masalah yang baru jadi. Namun, ketika program matang, teknik lain seperti analisis tanda tangan domain frekuensi, analisis domain waktu, dan analisis dinamika operasi biasanya ditambahkan.

Analisis hanya sebaik data; oleh karena itu, peralatan yang digunakan untuk mengumpulkan data sangat penting dan menentukan keberhasilan atau kegagalan program pemeliharaan prediktif atau peningkatan keandalan. Keakuratan serta penggunaan dan pemasangan yang tepat menentukan apakah data yang dikumpulkan valid atau tidak.



**Gambar 2.27** Probe Perpindahan dan Sistem Pengkondisi Sinyal

Tiga tipe dasar transduser getaran dapat digunakan untuk memantau kondisi mekanis mesin pabrik: probe perpindahan, transduser kecepatan, dan akselerometer. Masing-masing memiliki keterbatasan dan aplikasi khusus yang penggunaannya sesuai.

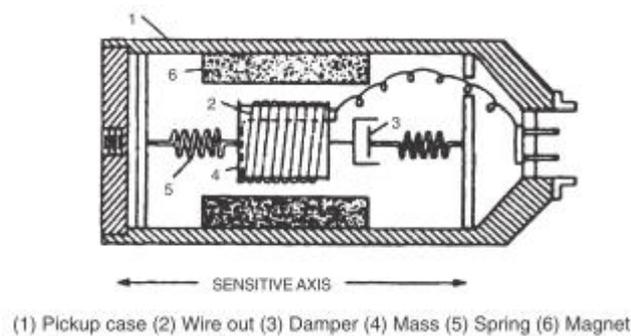
#### A. Probe Perpindahan/Displacement

Pemindahan, atau arus eddy, probe dirancang untuk mengukur gerakan aktual, atau perpindahan, dari poros mesin relatif terhadap probe. Data biasanya dicatat sebagai puncak-ke-puncak dalam mil, atau seperseribu inci. Nilai ini mewakili defleksi atau perpindahan maksimum dari garis tengah sebenarnya dari poros mesin. Perangkat semacam itu harus dipasang secara kaku ke struktur stasioner untuk mendapatkan data yang akurat dan dapat diulang. Lihat Gambar 2.27 untuk ilustrasi dari probe perpindahan dan sistem pengkondisian sinyal.

Probe perpindahan yang dipasang secara permanen memberikan data paling akurat pada alat berat dengan bobot rotor yang relatif rendah terhadap selubung dan struktur pendukung. Turbin, kompresor besar, dan jenis peralatan pabrik lainnya harus memiliki transduser perpindahan yang dipasang secara permanen di lokasi pengukuran utama.

Rentang frekuensi yang berguna untuk probe perpindahan adalah dari 10 hingga 1.000 Hz, atau 600 hingga 60.000 rpm. Komponen frekuensi di atas atau di bawah kisaran ini terdistorsi dan, oleh karena itu, tidak dapat diandalkan untuk menentukan kondisi mesin.

Keterbatasan utama dengan perpindahan atau probe kedekatan adalah biaya. Biaya tipikal untuk memasang probe tunggal, termasuk catu daya, pengkondisian sinyal, dan sebagainya, rata-rata \$1.000. Jika setiap mesin yang akan dievaluasi memerlukan 10 pengukuran, biaya per mesin adalah sekitar \$10.000. Menggunakan transduser perpindahan untuk semua mesin pabrik secara dramatis meningkatkan biaya awal program. Oleh karena itu, lokasi kunci umumnya diinstrumentasi terlebih dahulu, dan titik pengukuran lainnya ditambahkan kemudian.



**Gambar 2.28** Diagram Skema dari Pickup Kecepatan.

#### B. Transduser Kecepatan

Transduser kecepatan adalah sensor elektromekanis yang dirancang untuk memantau selubung, atau getaran relatif. Tidak seperti probe perpindahan, transduser kecepatan mengukur laju perpindahan daripada jarak pergerakan. Kecepatan biasanya dinyatakan dalam puncak inci per detik (ips), yang mungkin merupakan metode terbaik untuk menyatakan energi yang disebabkan oleh getaran mesin. Gambar 2.28 adalah diagram skema perangkat pengukuran kecepatan.

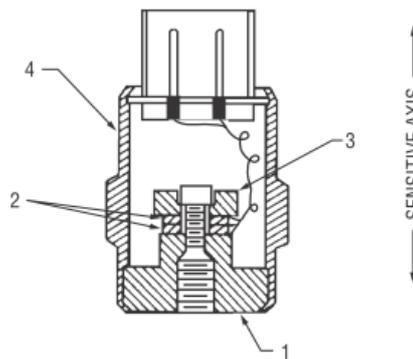
Seperti probe perpindahan, transduser kecepatan memiliki rentang frekuensi efektif sekitar 10 hingga 1.000 Hz. Mereka tidak boleh digunakan untuk memantau frekuensi di atas atau di bawah kisaran ini.

Keterbatasan utama transduser kecepatan adalah sensitivitasnya terhadap kerusakan mekanis dan termal. Penggunaan normal dapat menyebabkan hilangnya

kalibrasi; oleh karena itu, program kalibrasi ulang yang ketat diperlukan untuk mencegah kesalahan data. Minimal, transduser kecepatan harus dikalibrasi ulang setiap enam bulan. Namun, bahkan dengan kalibrasi ulang berkala, transduser kecepatan cenderung mendistorsi data sebagai akibat hilangnya kalibrasi.

### C. Akselerometer

Percepatan mungkin merupakan metode terbaik untuk menentukan gaya yang dihasilkan dari getaran mesin. Akselerometer menggunakan kristal atau film piezoelektrik untuk mengubah energi mekanik menjadi sinyal listrik. Gambar 2.29 adalah skema perangkat tersebut. Data yang diperoleh dengan jenis transduser ini adalah percepatan relatif yang dinyatakan dalam konstanta gravitasi,  $g$ , dalam inci/detik/detik.



**Gambar 2.29** Diagram Skema Akselerometer. (1) Basis, (2) Piezoelektrik kristal, (3) Massa, (4) Kasus

Rentang efektif akselerometer serba guna adalah dari sekitar 1 Hz hingga 10.000 Hz. Akselerometer ultrasonik tersedia untuk frekuensi hingga 1 MHz. Secara umum, data getaran di atas 1.000 Hz, atau 60.000 cpm, harus diambil dan dianalisis dalam akselerasi atau  $g$ 's.

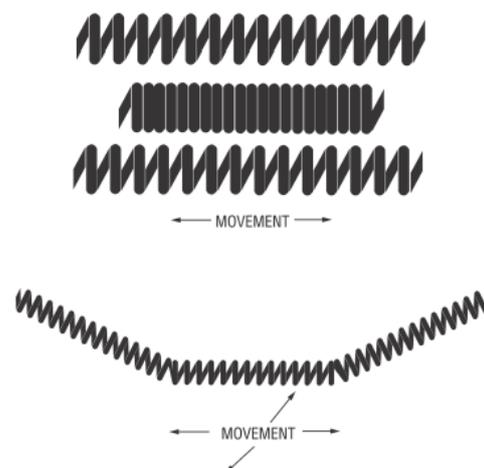
Manfaat penggunaan akselerometer adalah bahwa akselerometer tidak memerlukan program kalibrasi untuk memastikan akurasi, Namun, mereka rentan terhadap kerusakan termal. Jika panas yang cukup memancar ke dalam kristal piezoelektrik, dapat rusak atau hancur, tetapi kerusakan termal jarang terjadi karena waktu akuisisi data relatif singkat (kurang dari 30 detik) menggunakan teknik pemasangan sementara.

#### D. Kabel

Kebanyakan pengumpul data getaran portabel menggunakan kabel melingkar untuk menghubungkan ke transduser (lihat Gambar 2.30). Kabel, seperti kabel telepon, memberikan panjang yang relatif kompak saat santai tetapi akan memanjang untuk mencapai titik pengukuran yang jauh. Untuk penggunaan umum, jenis kabel ini dapat diterima, tetapi tidak dapat digunakan untuk semua aplikasi.

Kabel melingkar tidak dapat diterima untuk aplikasi kecepatan rendah (kurang dari 300 rpm) atau jika ada medan elektromagnetik yang kuat. Karena kecenderungan alami untuk kembali ke panjang santai, kabel melingkar menghasilkan frekuensi tingkat rendah yang sesuai dengan tingkat osilasi kabel. Dalam aplikasi kecepatan rendah, frekuensi osilasi ini dapat menutupi getaran nyata yang dihasilkan oleh mesin. Medan elektromagnetik yang kuat, seperti yang dihasilkan oleh motor penggilingan besar, mempercepat osilasi kabel. Dalam hal ini, getaran yang dihasilkan oleh kabel akan menutupi getaran mesin yang sebenarnya.

Dalam aplikasi ini dan lainnya di mana kabel melingkar mendistorsi atau mengganggu keakuratan data yang diperoleh, kabel koaksial berpelindung harus digunakan. Meskipun kabel noncoiled ini bisa lebih sulit digunakan bersama dengan penganalisis portabel, kabel ini penting untuk aplikasi medan elektromagnetik dan kecepatan rendah.



**Gambar 2.30** Jenis kabel melingkar.

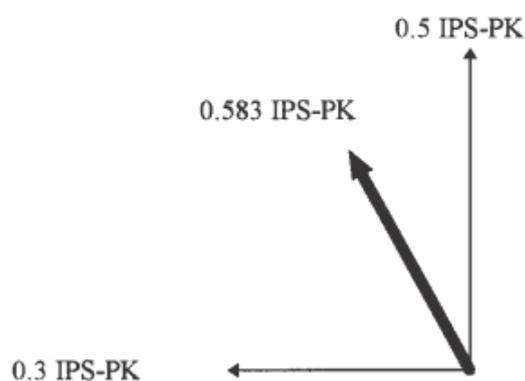
### 2.6.2 Pengukuran Data

Sebagian besar program pemantauan getaran mengandalkan data yang diperoleh dari rumah mesin atau tutup bantalan. Satu-satunya pengecualian adalah aplikasi yang memerlukan pengukuran langsung perpindahan poros aktual untuk mendapatkan gambaran yang akurat tentang dinamika alat berat. Bagian ini membahas jumlah dan orientasi titik pengukuran yang diperlukan untuk membuat profil karakteristik getaran mesin.

Fakta bahwa dinamika mesin normal dan abnormal cenderung menghasilkan gaya yang tidak seimbang dalam satu atau lebih arah meningkatkan kemampuan analisis untuk menentukan akar penyebab penyimpangan dalam kondisi operasi mesin. Oleh karena itu, pengukuran harus dilakukan dalam orientasi radial dan aksial.

#### A. Orientasi Radial

Pengukuran berorientasi radial memungkinkan analisis untuk memahami hubungan tingkat getaran yang dihasilkan oleh komponen mesin di mana gaya tegak lurus terhadap garis tengah poros. Misalnya, ketidakseimbangan mekanis menghasilkan gaya radial ke segala arah, tetapi ketidaksejajaran umumnya menghasilkan gaya radial dalam satu arah yang sesuai dengan arah yang tidak selaras. Kemampuan untuk menentukan arah perpindahan aktual dari poros alat berat dan komponen lainnya sangat meningkatkan akurasi diagnostik.



**Gambar 2.31** Vektor Kecepatan Shaft yang Dihasilkan Berdasarkan Pengukuran Getaran Radial.

Dua titik pengukuran radial yang terletak 90 derajat diperlukan pada setiap tutup bantalan. Dua titik memungkinkan analisis untuk menghitung arah aktual dan amplitudo relatif dari setiap perpindahan yang ada di dalam mesin.

Gambar 2.31 mengilustrasikan analisis vektor sederhana di mana pembacaan radial vertikal dan horizontal yang diperoleh dari tutup bantalan tempel menunjukkan kecepatan getaran vertikal relatif 0,5 inci per detik puncak (IPS-PK) dan kecepatan getaran horizontal 0,3 IPS-PK. Dengan menggunakan geometri sederhana, amplitudo kecepatan getaran (0,583 IPS-PK) pada arah defleksi sebenarnya dapat dihitung.

#### B. Orientasi Axial

Pengukuran berorientasi aksial digunakan untuk menentukan pergerakan lateral poros mesin atau massa dinamis. Titik-titik pengukuran ini berorientasi sejajar atau sejajar dengan poros atau arah gerakan.

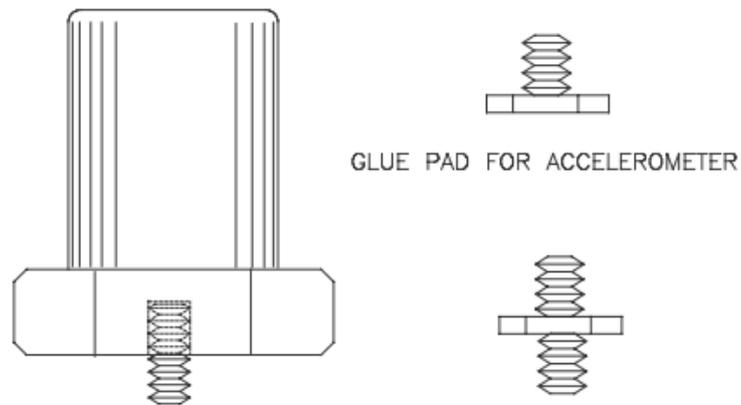
Setidaknya satu pengukuran aksial diperlukan untuk setiap poros atau gerakan dinamis. Dalam kasus poros dengan kombinasi bantalan apung dan bantalan tetap, pembacaan harus diambil dari bantalan tetap atau stasioner untuk mendapatkan data terbaik.

### 2.6.3 Teknik Pemasangan Transduser

Untuk akurasi data, diperlukan hubungan mekanis langsung antara transduser dan casing atau tutup bantalan mesin. Hal ini membuat metode yang digunakan untuk memasang transduser menjadi penting untuk mendapatkan data yang akurat. Sedikit penyimpangan pada tautan ini akan menyebabkan kesalahan dalam amplitudo pengukuran getaran dan dapat membuat komponen frekuensi palsu yang tidak ada hubungannya dengan mesin.

#### A. Permanen

Metode terbaik untuk memastikan bahwa titik pengukuran, orientasinya, dan beban tekan sama persis setiap kali adalah dengan memasang transduser secara permanen atau keras, yang diilustrasikan pada Gambar 2.32. Metode ini menjamin akurasi dan pengulangan data yang diperoleh, tetapi juga meningkatkan biaya program awal. Biaya rata-rata untuk memasang akselerometer tujuan umum adalah sekitar \$300 per titik pengukuran atau \$3.000 untuk kereta mesin biasa.



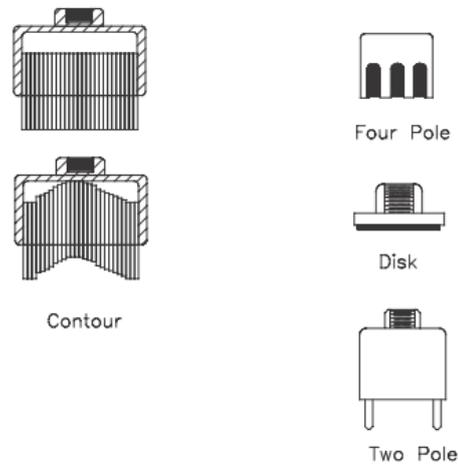
**Gambar 2.32** Dudukan Permanen Memberikan Pengulangan Terbaik

#### B. Quick Disconnect

Untuk menghilangkan biaya modal yang terkait dengan pemasangan transduser secara permanen, pemasangan quick-disconnect yang dirancang dengan baik dapat digunakan sebagai gantinya. Dengan teknik ini, stud quick-disconnect dengan biaya rata-rata kurang dari \$5 dipasang secara permanen di setiap titik pengukuran. Selongsong kawin yang terpasang di transduser digunakan untuk terhubung dengan stud. Teknik pemasangan quick-disconnect yang dirancang dengan baik memberikan akurasi dan pengulangan yang hampir sama dengan teknik pemasangan permanen, tetapi dengan biaya yang jauh lebih rendah.

#### C. Magnet

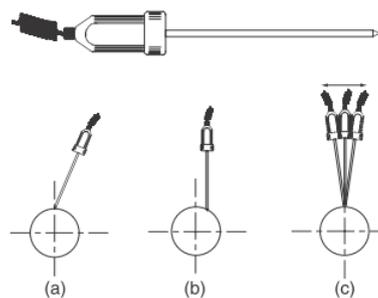
Untuk penggunaan umum di bawah 1.000 Hz, transduser dapat dipasang ke mesin dengan dasar magnet. Meskipun frekuensi resonansi dari rakitan transduser/magnet dapat mendistorsi data, teknik ini dapat digunakan dengan beberapa keberhasilan. Karena magnet dapat ditempatkan di mana saja pada mesin, bagaimanapun, sulit untuk menjamin bahwa lokasi dan orientasi yang tepat dipertahankan pada setiap pengukuran. Gambar 2.33 menunjukkan dudukan magnetik umum untuk transduser.



**Gambar 2.33** Dudukan Magnet Umum untuk Transduser

#### D. Handheld

Metode lain yang digunakan oleh beberapa pabrik untuk memperoleh data adalah transduser genggam. Pendekatan ini tidak dianjurkan jika dimungkinkan untuk menggunakan metode lain. Transduser genggam tidak memberikan akurasi dan pengulangan yang diperlukan untuk mendapatkan manfaat maksimal dari program pemeliharaan prediktif. Jika teknik ini harus digunakan, perawatan yang ekstrim harus dilakukan untuk memastikan bahwa lokasi, orientasi, dan beban tekan yang sama digunakan untuk setiap pengukuran. Gambar 2.34 mengilustrasikan perangkat genggam.



- Orientation is not  $90^\circ$  to shaft centerline.
- Measurement-point location is not always consistent.
- Compressive load varies and may induce faulty readings.

**Gambar 2.34** Transduser Genggam Harus Dihindari Bila Memungkinkan

#### 2.6.4 Mendapatkan Data

Tiga faktor harus dipertimbangkan saat memperoleh data getaran: waktu penyelesaian, verifikasi data, dan data tambahan yang mungkin diperlukan.

#### A. Waktu penyelesaian

Semua transduser getaran memerlukan sumber daya yang digunakan untuk mengubah gerakan atau gaya mekanis menjadi sinyal elektronik. Dalam penganalisis berbasis mikroprosesor, sumber daya ini biasanya internal ke penganalisis. Ketika probe perpindahan digunakan, sumber daya eksternal harus disediakan.

Ketika sumber daya dihidupkan, ada lonjakan daya sesaat ke transduser. Lonjakan ini mendistorsi profil getaran yang dihasilkan oleh mesin. Oleh karena itu, urutan akuisisi data harus mencakup waktu tunda antara menyalakan dan memperoleh data. Waktu tunda akan bervariasi berdasarkan transduser spesifik yang digunakan dan jenis sumber daya.

Beberapa penganalisis getaran menyertakan waktu tunda yang dipilih pengguna yang dapat diunduh secara otomatis sebagai bagian dari rute pengukuran. Jika fitur ini disertakan, penundaan dapat diprogram untuk transduser tertentu yang akan digunakan untuk memperoleh data. Tidak diperlukan penyesuaian lebih lanjut hingga jenis transduser diubah.

Selain lonjakan sesaat yang diciptakan dengan memberi energi pada sumber daya, tindakan mekanis menempatkan transduser pada mesin menciptakan lonjakan energi yang dapat mendistorsi profil getaran. Oleh karena itu, urutan akuisisi data yang sebenarnya harus mencakup penundaan 10 hingga 20 detik untuk memungkinkan pembusukan lonjakan yang dibuat dengan memasang transduser.

#### B. Verifikasi Data

Beberapa masalah peralatan dapat mengakibatkan data yang buruk atau terdistorsi. Selain lonjakan dan lonjakan yang dibahas di bagian sebelumnya, kerusakan kabel, transduser, catu daya, dan kegagalan peralatan lainnya dapat menyebabkan masalah serius. Oleh karena itu, penting untuk memverifikasi semua data selama proses akuisisi.

Sebagian besar penganalisis getaran berbasis mikroprosesor menyertakan fitur yang memfasilitasi verifikasi data yang diperoleh. Misalnya, banyak yang menyertakan peringatan tingkat rendah yang secara otomatis memperingatkan teknisi ketika tingkat getaran yang diperoleh berada di bawah batas yang telah dipilih

sebelumnya. Jika batas ini ditetapkan dengan benar, peringatan harus cukup untuk mendeteksi bentuk data buruk ini.

Sayangnya, tidak semua distorsi data yang diperoleh menghasilkan peringatan tingkat rendah. Kabel atau transduser yang rusak atau cacat dapat mengakibatkan tingkat getaran frekuensi rendah yang tinggi. Akibatnya, peringatan tingkat rendah tidak akan mendeteksi bentuk data buruk ini; namun, tanda getaran akan dengan jelas menampilkan profil abnormal yang terkait dengan masalah ini.

Dalam kebanyakan kasus, kabel atau transduser yang rusak menghasilkan tanda tangan yang berisi profil lereng ski, yang dimulai pada frekuensi yang terlihat paling rendah dan turun dengan cepat ke tingkat kebisingan tanda tangan. Jika profil ini dihasilkan oleh komponen yang cacat, maka profil tersebut tidak akan berisi frekuensi rotasi normal yang dihasilkan oleh rangkaian mesin.

Dengan pengecualian gesekan mekanis, kabel dan transduser yang rusak adalah satu-satunya sumber profil lereng ski ini. Saat gesekan mekanis ada, lereng ski juga akan berisi frekuensi rotasi normal yang dihasilkan oleh kereta mesin. Dalam beberapa kasus, perlu mematikan fungsi skala otomatis untuk melihat frekuensi rotasi, tetapi akan terlihat jelas. Jika tidak ada komponen rotasi, kabel dan transduser harus diganti.

### C. Data Tambahan

Data yang diperoleh dari penganalisis getaran tidak semuanya diperlukan untuk mengevaluasi rangkaian mesin atau kondisi sistem. Variabel, seperti beban, memiliki efek langsung pada profil getaran mesin dan harus dipertimbangkan. Oleh karena itu, data tambahan harus diperoleh untuk menambah profil getaran.

Kebanyakan penganalisis getaran berbasis mikroprosesor mampu secara langsung memperoleh variabel proses dan input lainnya. Perangkat lunak dan firmware yang disediakan dengan sistem ini umumnya mendukung rute yang telah diprogram sebelumnya yang mencakup hampir semua input data langsung atau manual. Rute-rute ini harus mencakup semua data yang diperlukan untuk menganalisis secara efektif kondisi operasi setiap kereta mesin dan sistem prosesnya.

## **2.7 Teknik Analisa Getaran**

Teknik yang digunakan dalam analisis getaran adalah trending, baik broadband maupun narrowband, analisis komparatif, dan analisis tanda tangan.

### **2.7.1 Trending**

Sebagian besar program pemantauan getaran sangat bergantung pada tren amplitudo tingkat getaran historis sebagai alat analisis dominannya. Pendekatan ini valid jika data getaran dinormalisasi untuk menghilangkan pengaruh variabel, seperti beban, pada tingkat energi getaran yang direkam. Data tren yang valid memberikan indikasi perubahan dari waktu ke waktu dalam mesin yang dipantau. Sebagaimana dinyatakan di bagian sebelumnya, perubahan amplitudo getaran menunjukkan perubahan yang sesuai dalam kondisi operasi yang dapat menjadi alat diagnostik yang berguna.

#### **A. Broadband**

Teknik analisis broadband telah digunakan untuk memantau kondisi mekanis keseluruhan mesin selama lebih dari 20 tahun. Teknik ini didasarkan pada getaran atau energi keseluruhan dari rentang frekuensi nol hingga frekuensi maksimum yang dipilih pengguna,  $F_{MAX}$ . Data pita lebar adalah pengukuran getaran keseluruhan yang dinyatakan dalam satuan seperti kecepatan-PK, percepatan-RMS, dan sebagainya. Namun, jenis data ini tidak memberikan indikasi apa pun tentang komponen frekuensi spesifik yang membentuk tanda getaran mesin. Akibatnya, masalah kereta mesin tertentu tidak dapat diisolasi dan diidentifikasi.

Satu-satunya fungsi yang berguna dari analisis broadband adalah tren jangka panjang dari kondisi mesin secara keseluruhan. Biasanya, set batas peringatan/alarm ditetapkan untuk memantau kondisi keseluruhan kereta mesin dalam program pemeliharaan prediktif. Namun, pendekatan ini memiliki nilai yang terbatas dan, ketika digunakan secara eksklusif, sangat membatasi kemampuan untuk mencapai manfaat penuh dari program yang komprehensif.

#### **B. Narrowband**

Seperti analisis broadband, analisis narrowband juga memantau energi keseluruhan, tetapi untuk band komponen frekuensi yang dipilih pengguna. Kemampuan untuk memilih kelompok frekuensi tertentu, atau narrowband, meningkatkan kegunaan data. Menggunakan teknik ini dapat secara drastis mengurangi tenaga kerja yang

dibutuhkan untuk memantau kereta mesin dan meningkatkan akurasi dalam mendeteksi masalah yang baru jadi.

Tidak seperti data broadband, narrowband menyediakan kemampuan untuk secara langsung memantau, tren, dan alarm khusus komponen kereta mesin secara otomatis dengan menggunakan mikroprosesor untuk jendela frekuensi yang unik untuk komponen mesin tertentu. Misalnya, jendela narrowband dapat dibuat untuk secara langsung memantau energi dari satu set roda gigi yang terdiri dari frekuensi jala-gigi primer dan pita samping yang sesuai.

### **2.7.2 Analisa Perbandingan**

Analisis komparatif secara langsung membandingkan dua atau lebih kumpulan data untuk mendeteksi perubahan kondisi operasi sistem mekanis atau proses. Jenis analisis ini terbatas pada perbandingan langsung dari domain waktu atau tanda domain frekuensi yang dihasilkan oleh mesin. Metode ini tidak menentukan dinamika sistem yang sebenarnya. Biasanya, data berikut digunakan untuk tujuan ini: data dasar, kondisi mesin yang diketahui, atau data referensi industri.

Perhatikan bahwa harus sangat berhati-hati saat membandingkan data getaran mesin dengan standar industri atau data dasar. Analisis harus memastikan frekuensi dan amplitudo dinyatakan dalam satuan dan kecepatan lari yang konsisten dengan data standar atau baseline. Penggunaan sistem berbasis mikroprosesor dengan perangkat lunak yang secara otomatis mengubah dan menampilkan istilah yang diinginkan memecahkan masalah ini.

#### **A. Data Dasar**

Referensi atau kumpulan data dasar harus diperoleh untuk setiap rangkaian mesin atau sistem proses untuk dimasukkan dalam program pemeliharaan prediktif saat mesin dipasang atau setelah pemeliharaan terjadwal pertama setelah program ditetapkan. Kumpulan data ini dapat digunakan sebagai referensi atau kumpulan data perbandingan untuk semua pengukuran di masa mendatang, namun kumpulan data tersebut harus mewakili kondisi operasi normal dari setiap rangkaian mesin. Tiga kriteria sangat penting untuk penggunaan yang tepat dari perbandingan dasar: reset setelah pemeliharaan, identifikasi yang tepat, dan proses envelope.

Atur Ulang setelah pemeliharaan. Kumpulan data dasar harus diperbarui setiap kali mesin diperbaiki, dibangun kembali, atau pemeliharaan besar dilakukan. Bahkan ketika praktik terbaik digunakan, mesin tidak dapat dikembalikan ke kondisi seperti baru ketika pemeliharaan besar dilakukan. Oleh karena itu, set data dasar atau referensi baru harus dibuat setelah peristiwa ini.

Identifikasi yang tepat. Setiap referensi atau kumpulan data dasar harus diidentifikasi dengan jelas dan lengkap. Sebagian besar sistem pemantauan getaran mengizinkan penambahan label atau pengenal unik ke kumpulan data yang dipilih pengguna. Kemampuan ini harus digunakan untuk secara jelas mengidentifikasi setiap kumpulan data dasar. Selain itu, label kumpulan data harus mencakup semua informasi yang mendefinisikan kumpulan data. Misalnya, setiap pengerjaan ulang atau perbaikan yang dilakukan pada mesin harus diidentifikasi. Jika kumpulan data dasar baru dipilih setelah mengganti elemen berputar, informasi ini harus disertakan dalam label deskriptif.

Amplop Enveloping. Karena variasi dalam variabel proses, seperti beban, memiliki efek langsung pada energi getaran dan tanda tangan yang dihasilkan yang dihasilkan oleh rangkaian mesin, amplop operasi aktual untuk setiap kumpulan data dasar juga harus diidentifikasi dengan jelas. Jika langkah ini dihilangkan, perbandingan langsung data lain dengan baseline tidak akan ada artinya. Fitur label di sebagian besar sistem pemantauan getaran memungkinkan penandaan kumpulan data dasar dengan informasi tambahan ini.

## B. Mengetahui Kondisi Mesin

Kebanyakan penganalisis berbasis mikroprosesor mengizinkan perbandingan langsung dengan dua rangkaian mesin atau komponen. Bentuk perbandingan langsung, yang disebut perbandingan lintas mesin, dapat digunakan untuk mengidentifikasi beberapa jenis mode kegagalan.

Saat menggunakan jenis analisis komparatif ini, analis membandingkan energi getaran dan profil dari mesin yang dicurigai dengan mesin dengan kondisi operasi yang diketahui. Misalnya, mesin tersangka dapat dibandingkan dengan referensi dasar yang diambil dari mesin serupa di dalam pabrik. Atau, profil mesin dengan cacat yang diketahui, seperti roda gigi yang rusak, dapat digunakan sebagai referensi untuk

menentukan apakah mesin yang dicurigai memiliki profil yang sama dan, oleh karena itu, memiliki masalah yang sama.

### C. Data Referensi Industri

Salah satu bentuk analisis komparatif adalah perbandingan langsung dari data yang diperoleh dengan standar industri atau nilai referensi. Organisasi Standar Internasional (ISO) menetapkan standar tingkat keparahan getaran yang disajikan pada Tabel 2.1. Data ini dapat digunakan untuk perbandingan dengan data pita sempit yang difilter yang diambil dari kereta mesin dengan kecepatan lari sebenarnya antara 600 dan 12.000 rpm. Nilai dari tabel mencakup semua energi getaran antara batas bawah kecepatan lari sebenarnya 0,3X dan batas atas 3,0X. Misalnya, mesin dengan putaran 1.800 rpm akan memiliki pita sempit yang difilter antara 540 (1.800 X 0,3) dan 5.400 rpm (1.800 X 3,0). Sebuah mesin 3.600-rpm akan memiliki pita sempit yang disaring antara 1.080 (3.600 X 0,3) dan 10.800 rpm (3.600 X 3,0).

Table 2.1 Standar Tingkat Keparahannya Getaran

Condition	Machine Class (Inches/Second-Peak)			
	I	II	III	IV
Good Operating Condition	0.028	0.042	0.100	0.156
Alert Limit	0.010	0.156	0.255	0.396
Alarm Limit	0.156	0.396	0.396	0.622
Absolute Fault Limit	0.260	0.400	0.620	1.000

*\*Applicable to a machine with running speed between 600 to 12.000 rpm*

*Narrowband setting 0.3 x to 3.0X running speed*

*Machine class Description*

*Class I Small machine-trains or individual components integrally connected with the complete machine in its normal operating condition (i.e. drivers up to 20 horsepower)*

*Class II Medium size machine (i.e., 20 – to 100- Horsepower) mounted on heavy, rigid foundation*

*Class III Large prime movers (i.e., drivers greater than 100 horsepower) mounted on heavy, rigid foundation*

*Class IV Large prime movers (i.e., drivers greater than 100 horsepower) mounted on relatively soft, lightweight structures*

### 2.7.3 Analisa Tanda

Ungkapan "tanda tangan Fast Fourier Transform (FFT) penuh" biasanya diterapkan pada spektrum getaran yang secara unik mengidentifikasi mesin, komponen,

sistem, atau subsistem pada kondisi dan waktu operasi tertentu. Ini memberikan data spesifik pada setiap komponen frekuensi dalam rentang frekuensi keseluruhan dari kereta mesin. Rentang frekuensi tipikal bisa dari 0,1 hingga 30.000 Hz.

Dalam sistem mikroprosesor, tanda tangan FFT dibentuk dengan memecah spektrum frekuensi total menjadi komponen unik, atau puncak. Setiap garis atau puncak mewakili komponen frekuensi tertentu yang, pada gilirannya, mewakili satu atau lebih komponen mekanis dalam rangkaian mesin. Sistem pemeliharaan prediktif berbasis mikroprosesor yang khas dapat memberikan resolusi tanda tangan setidaknya 400 baris, dan banyak yang menyediakan 12.800 baris atau lebih.

Spektrum tanda tangan penuh adalah alat analisis yang penting, tetapi mereka membutuhkan memori mikroprosesor yang sangat besar. Tidak praktis untuk mengumpulkan spektrum resolusi tinggi penuh pada semua kereta mesin secara rutin. Manajemen dan penyimpanan data di komputer induk sangat sulit dan mahal. Tanda tangan jangkauan penuh harus dikumpulkan hanya jika masalah yang dikonfirmasi telah diidentifikasi pada rangkaian mesin tertentu. Ini dapat dipicu secara otomatis dengan melebihi batas alarm yang telah ditetapkan dalam tren amplitudo historis.

#### A. Broadband dan Tanda Penuh

Sistem yang menggunakan pengukuran broadband atau full-signature memiliki keterbatasan yang dapat menghambat kegunaan program. Pengukuran broadband biasanya tidak memiliki resolusi yang cukup pada kecepatan lari agar efektif dalam diagnosis masalah awal. Pengukuran tanda tangan penuh di setiap titik data memerlukan sistem akuisisi, penanganan, dan penyimpanan data besar-besaran yang sangat meningkatkan modal dan biaya pengoperasian program.

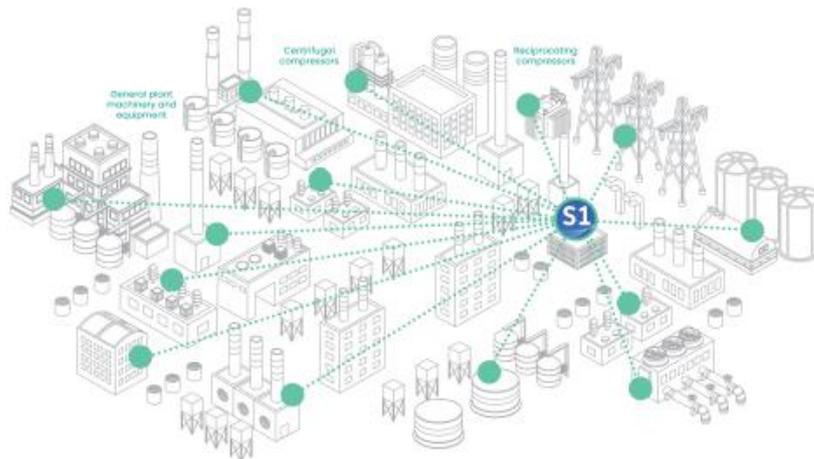
Biasanya, spektrum tanda tangan penuh hanya diperlukan ketika masalah kereta mesin yang teridentifikasi menuntut penyelidikan lebih lanjut. Harap dicatat bahwa meskipun tanda tangan penuh menghasilkan terlalu banyak data untuk deteksi masalah rutin, tanda tangan itu penting untuk diagnostik akar penyebab. Oleh karena itu, sistem yang optimal mencakup kemampuan untuk menggunakan semua teknik. Kemampuan ini mengoptimalkan kemampuan program untuk mengikuti tren, melakukan analisis kegagalan akar penyebab lengkap, dan tetap mempertahankan manajemen data dan persyaratan penyimpanan minimum.

## B. Narrowband

Biasanya, tanda getaran rangkaian mesin terdiri dari komponen getaran dengan masing-masing komponen terkait dengan satu atau lebih kecepatan lari sebenarnya di dalam kereta mesin. Karena sebagian besar masalah permesinan muncul pada atau mendekati satu atau lebih kecepatan lari, kemampuan narrowband bermanfaat karena jendela resolusi tinggi dapat diatur sebelumnya untuk memantau kecepatan lari; namun, banyak dari sistem pemeliharaan prediktif berbasis mikroprosesor yang tersedia tidak memiliki kemampuan pita sempit. Oleh karena itu, perawatan harus dilakukan untuk memastikan bahwa sistem yang digunakan memang memiliki kemampuan ini.

### 2.8 System 1

Sistem 1 menyederhanakan proses pengambilan keputusan dengan membawa data mesin ke dalam satu platform, memberikan kejelasan dan konteks untuk operasi dan perusahaan Anda. Memanfaatkan kekuatan penelitian mesin dan keahlian diagnostik tingkat lanjut Bently Nevada selama beberapa dekade, alat canggih ini adalah komponen kunci dari transformasi digital yang sukses di fasilitas industri mana pun. Dengan menggabungkan kemampuan Konektivitas, Analisis, dan Visualisasi, Sistem 1 adalah sejarawan Edge utama dan platform pemantauan kondisi di antara operator industri.

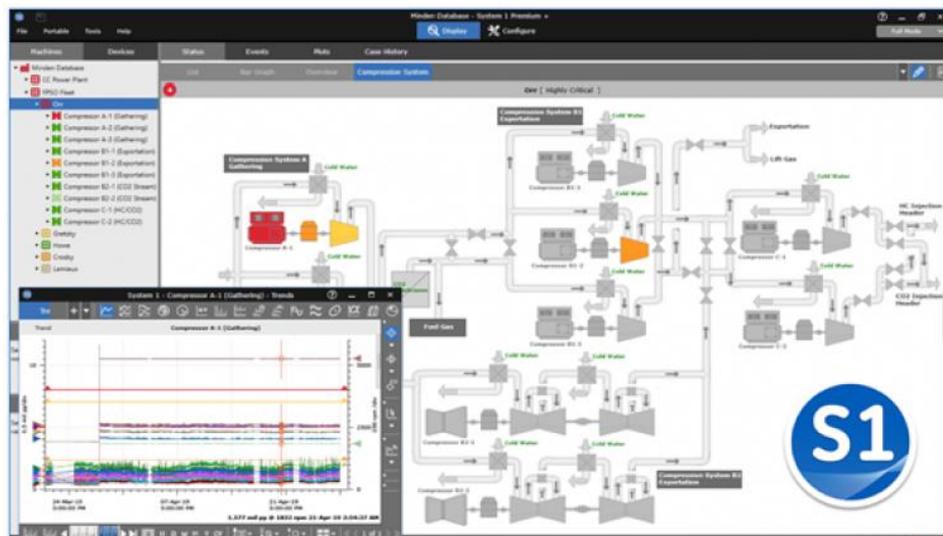


**Gambar 2.35** Sistem 1 di Plant

Sistem 1 terhubung ke sumber data di Edge dan mengumpulkan getaran resolusi tinggi, proses, dan data sistem kontrol. Data ini dapat dikumpulkan hingga sekali per detik dari Perangkat Bently Nevada, seperti 3500 atau Ranger Pro, dari Programmable Logic

Controller (PLC), atau dari Sejarahwan lain. Selain itu, alarm pada tag apa pun yang dipetakan ke mesin akan memicu pengambilan data resolusi tinggi dari semua tag lainnya, yang mencakup data statis 100 ms dari perangkat Bently Nevada 3500, ADAPT, dan Orbit 60 Series.

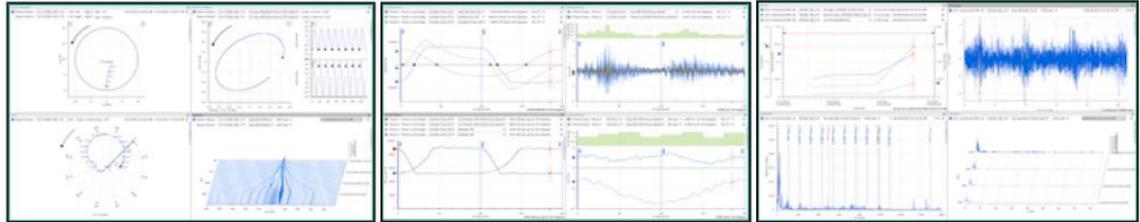
Dalam Sistem 1, alarm ambang batas dapat dikonfigurasi per status pengoperasian alat berat, dengan pengaturan yang dapat disesuaikan untuk waktu tunda, penguncian, dan penekanan. Empat tingkat setpoint alarm dapat dikonfigurasi per pengukuran, terlepas dari sumber datanya (mis., Perangkat Bently, OPC, Modbus). Dukungan Keputusan memperluas kemampuan analitik Sistem 1, memungkinkan pengguna untuk membangun aturan khusus untuk wawasan yang lebih dalam tentang perilaku mesin mereka dan meningkatkan pengetahuan di seluruh pabrik atau seluruh perusahaan. Bently Performance semakin memperluas kemampuan analitik dalam Sistem 1 dengan menawarkan pemantauan kinerja termodinamika online.



**Gambar 2.36** Tampilan Monitoring Sistem 1

Setelah pengumpulan dan analisis, Sistem 1 menyediakan alat visualisasi terbaik di kelasnya. Pembuat HMI memungkinkan pengguna untuk secara grafis mewakili seluruh Sistem Pabrik mereka menggunakan perpustakaan simbol bawaan. Tampilan HMI secara grafis menggambarkan kesehatan operasional, memungkinkan pengguna untuk fokus pada aset prioritas tinggi mereka. Data yang dikumpulkan dapat dilihat dan dimanipulasi dalam ruang kerja plotting, memungkinkan pengguna untuk mendiagnosis masalah kesehatan mesin. Dengan banyak jenis plot dan alat, pengguna dapat dengan cepat

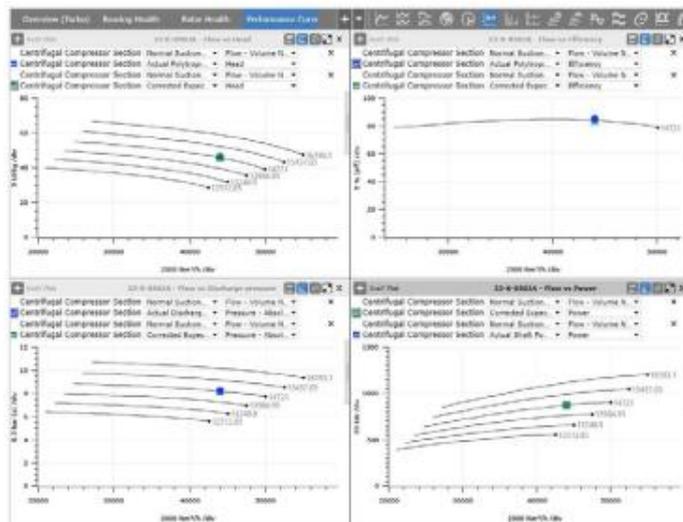
mengidentifikasi kelainan dan menilai dampaknya terhadap kelancaran pengoperasian fasilitas mereka.



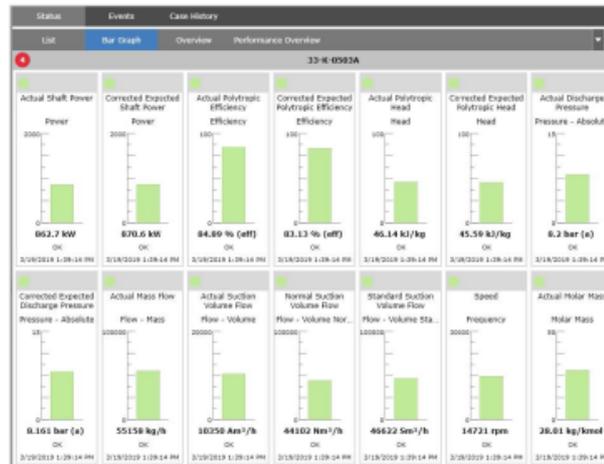
**Gambar 2.37** Tampilan Hasil Sistem 1

Modul perangkat lunak Bently Performance memperluas fungsionalitas Sistem 1 untuk menyertakan pemantauan online kinerja termodinamika. Modul sepenuhnya terintegrasi dengan database Sistem 1 dan modul tampilan untuk memberi pengguna akses ke informasi kondisi mesin mekanis dan termodinamika yang komprehensif.

Untuk memastikan bahwa Bently Performance diinstal, dikonfigurasi, dan ditugaskan dengan benar untuk memenuhi setiap aplikasi pelanggan, modul dijual sebagai solusi rekayasa. Ini termasuk layanan untuk mengevaluasi dan sepenuhnya menerapkan persyaratan untuk perhitungan terkait kinerja untuk mencapai akurasi dan pengulangan data.



**Gambar 2.38** Plot Kinerja Kompresor



**Gambar 2.39** Tampilan Grafik Batang Sistem 1 dari KPI Kinerja

Indikator kinerja utama meliputi:

- Aktual: perhitungan untuk kondisi ambien dan pengoperasian saat ini
- Diharapkan: keluaran yang diharapkan untuk dibandingkan dengan keluaran actual
- Aktual terkoreksi: output actual ditransposisikan ke kondisi hari standar (ISO atau peringkat spesifik lokasi)
- Diharapkan terkoreksi: keluaran yang diharapkan dialihkan ke kondisi hari standar

Bently Performance mengeksekusi komputasi berdasarkan kode ASME PTC. Semua data dapat diakses dari Tampilan Sistem 1. Dengan menghubungkan dan membandingkan data kinerja, proses, dan getaran dalam Tampilan Sistem 1, pengguna akan memiliki pemahaman yang lebih baik tentang kesehatan keseluruhan mesin yang diidentifikasi.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat Penelitian**

Lokasi penelitian analisis high vibration pada crack gas compressor, di lakukan di perusahaan petrochemical terbesar di Indonesia yang terletak di Desa Ciwandan Kota Cilegon, Banten Indonesia. Penelitian ini di lakukan pada bulan January 2017 sampai dengan bulan Desember 2018.

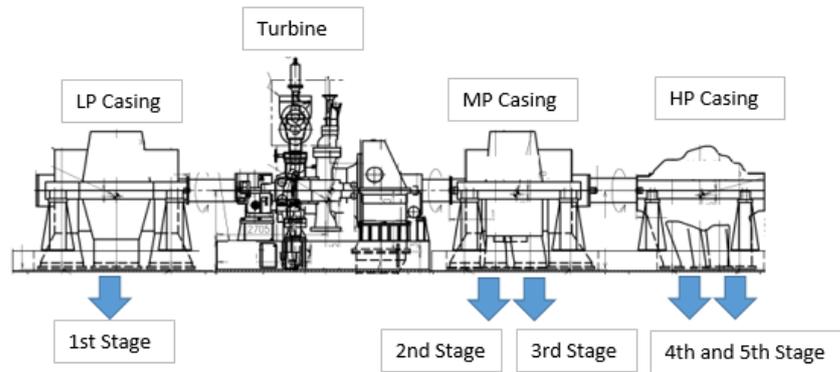
Perusahaan ini bergerak di bidang pengolahan (petrokimia) yang mengoperasikan satu-satunya Naphtha Cracker terintegrasi di Indonesia untuk menghasilkan Olefin (Ethylene, Propylene), Pygas dan Mixed C4 serta Polyolefin (Polyethylene dan Polypropylene). Chandra Asri adalah produsen tunggal Styrene Monomer (sejak 2007) di Indonesia dan mengoperasikan satu-satunya pabrik Butadiene (sejak 2013) di Indonesia yang menggunakan Mixed X4 yang dihasilkan dari pabrik Olefin.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

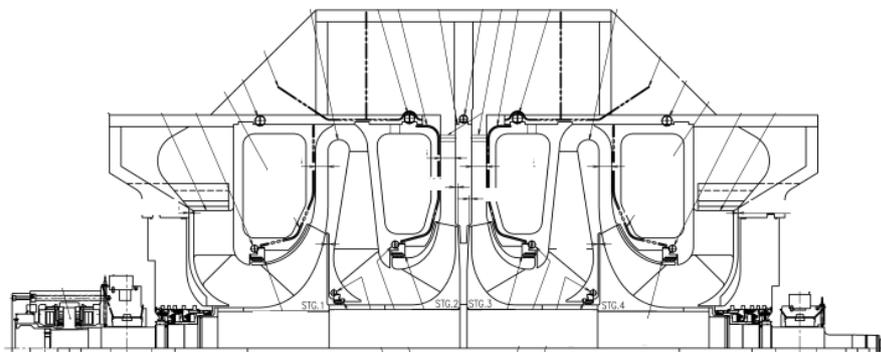
Analisa ini dilakukan dengan mengumpulkan literature dan referensi dari perusahaan lain dengan problem yang hampir sama. Kemudian dari data-data tersebut di analisa menggunakan why-why analisis untuk mengetahui possibility masalah yang terjadi. Alat bantu yang di gunakan untuk menganalisa data vibrasi disini adalah software PI (Process Information) dan System 1 yang terpasang di plant. Untuk mesin yang di analisa adalah rangkaian sentrifugal compressor dengan steam turbine sebagai penggeraknya dan gas yang di handle berupa hydrocarbon.

##### **3.2.1 Material Penelitian**

Mesin yag di analisa adalah rangkaian sentrifugal kompresor, dengan gas yang di handle adalah hydrocarbon.



**Gambar 3.1** Rangkaian CGC yang Dianalisa

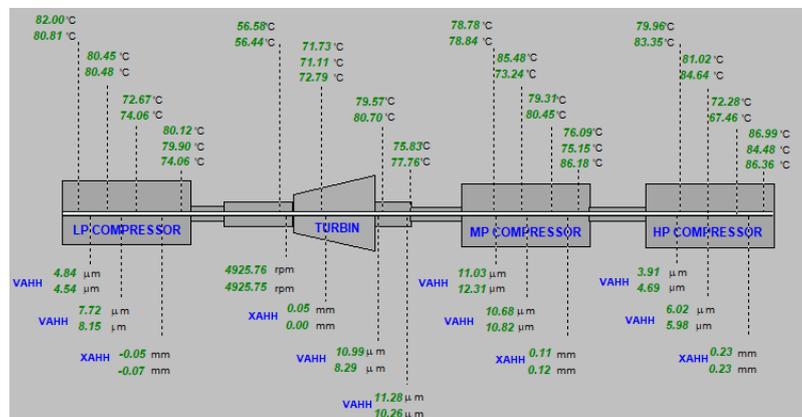


**Gambar 3.2** Sectional Drawing CGC yang Digunakan

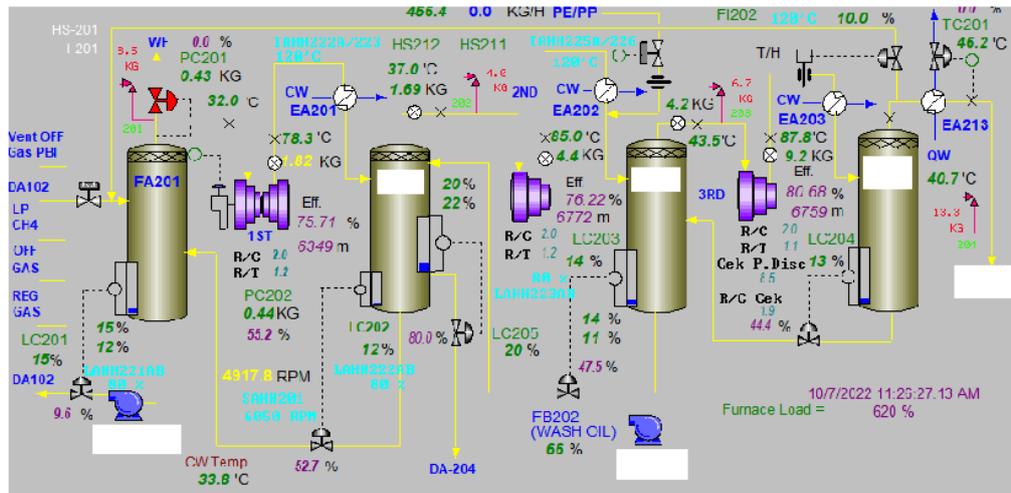
**3.2.2 Alat Penelitian**

**1. PI (Process Information)**

Process data yang di gunakan untuk membantu proses analisa sumber vibrasi di ambil data dari PI. Data di ambil dari PI pada tahun 2017-2018



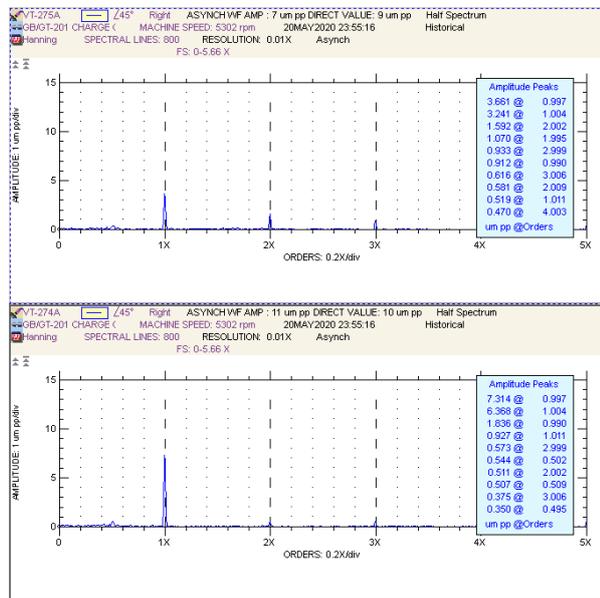
**Gambar 3.3** Contoh Tampilan PI Nilai Getaran di CGC



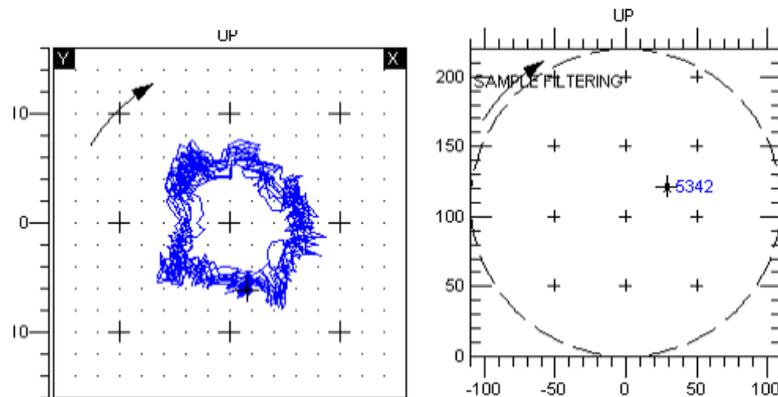
Gambar 3.4 Contoh Tampilan Proses Parameter di PI

## 2. System 1

Untuk mempermudah proses analisa getaran dengan merubah data vibrasi menjadi domain frekuensi dan juga orbit. Perusahaan petrokimia ini menggunakan software berupa system 1. Software keluaran dari Bentley Nevada.



Gambar 3.5 Contoh Tampilan Domain Frekuensi dari System 1



**Gambar 3.6** Contoh Tampilan Orbit dan Shaft Centerline di Syatem 1

### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah segala sesuatu yang berbentuk apa saja yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga diperoleh informasi tentang hal tersebut, kemudian ditarik kesimpulannya. Di dalam suatu variabel terdapat satu atau lebih gejala, yang mungkin pula terdiri dari berbagai aspek atau unsur sebagai bagian yang tidak terpisahkan. Dari pengertian di atas secara garis besar variabel dalam study kasus ini antara lain:

1. Perbandingan nilai getaran sebelum, saat dan sesudah start up, untuk membandingkan adanya perubahan.
2. Perbandingan orbit dan shaft centerline saat sebelum, saat dan sesudah start up, untuk membandingkan adanya perubahan.
3. Kajian tentang proses parameter saat terjadinya kenaikan getaran, untuk pembuktian possibility dari masalah getaran yang terjadi.

### 3.4 Langkah-Langkah Penelitian

Proses pelaksanaan penelitian analisis high vibration pada crack gas compressor di perusahaan petrochemical dengan system 1 dilakukan dengan beberapa tahap, diantara sebagai berikut:

1. Tahap Persiapan
2. Tahap Pengumpulan data
3. Tahap Analisa Data

### **3.4.1 Tahap Persiapan**

Pada tahap persiapan dilakukan process pengajuan permit untuk access system 1 di daerah CCR (Central Control Room). Dan permintaan support dari team operation untuk share beberapa data yang tidak bisa di ambil menggunakan PI

### **3.4.2 Tahap Pengumpulan Data**

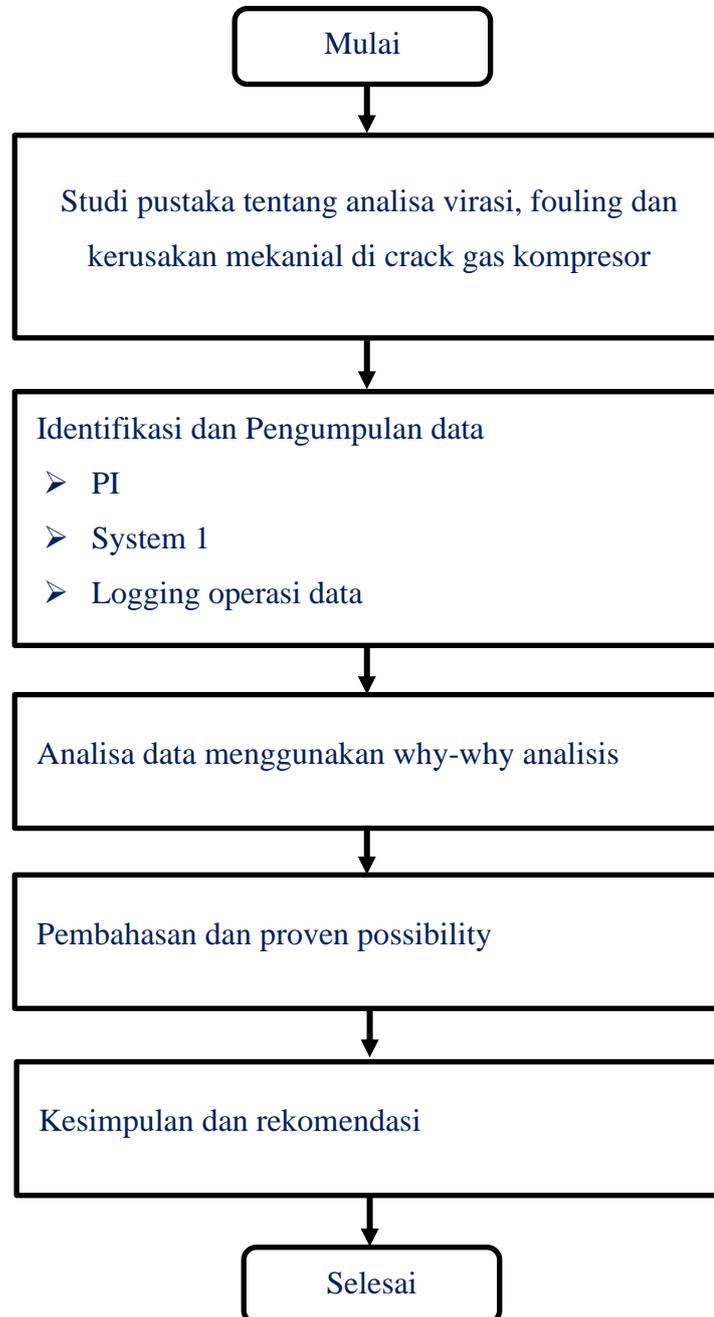
Pada tahap pengumpulan data diperlukan data-data untuk penelitian dari berbagai sumber yaitu System 1, PI serta beberapa data dari logging operation. Data yang di perlukan adalah sebagai berikut:

1. Trending data vibration dari 2017 – 2018
2. Data perubahan Orbit saat sebelum trip, saat start up dan sesudah start up (getaran naik tajam di LP casing)
3. Data perubahan shaft centerline saat sebelum trip, saat start up dan sesudah start up (getaran naik tajam di LP casing)
4. Data operation seperti speed compressor, pressure suction dan load compressor saat sebelum trip, saat start up dan setelah start up (high vibration)
5. Data injection wash oil ke dalam kompresor

### **3.4.3 Tahap Analisa Data**

Pada tahap analisa data, akan dijelaskan garis besar langkah – langkah dalam penyusunan laporan ini melalui diagram alir penelitian.

### 3.5 Diagram Alir



**Gambar 3.7** Diagram Alir Penelitian

## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

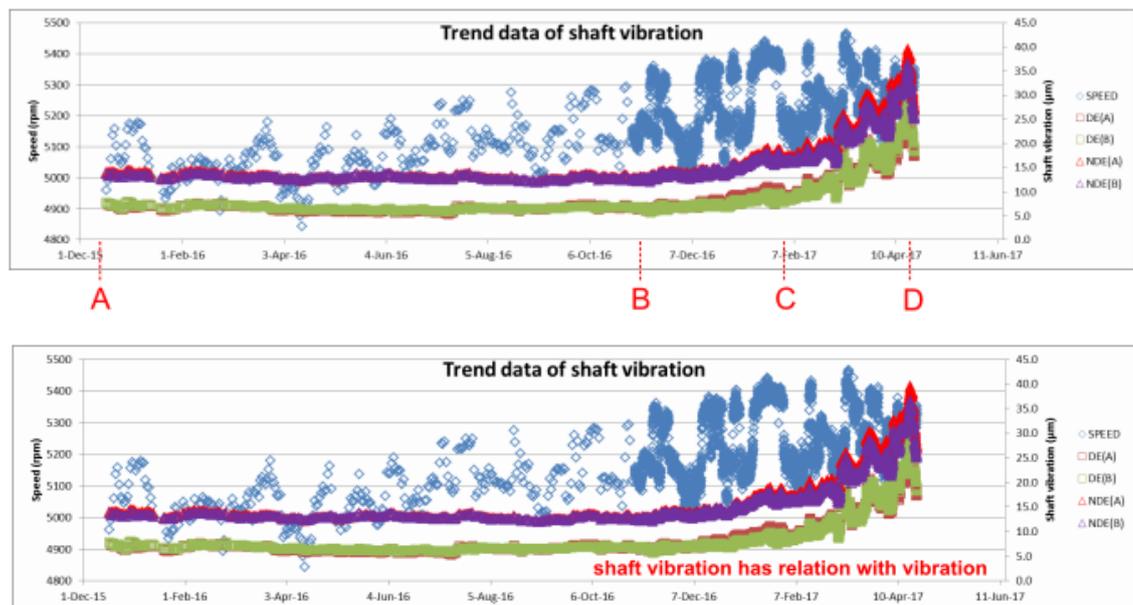
#### 4.1 Analisis Studi Kasus Kenaikan Vibrasi di MP Casing

Setelah installation rangkaian CGC compressor baru pada tahun 2015-2016. Kompresor berjalan dengan sangat baik dan getaran stabil sekitar 13-14  $\mu\text{m}$  di MP casing tapi mulai menunjukkan kenaikan vibrasi sampai 39.6  $\mu\text{m}$ . Berikut nilai getaran yang di monitoring setelah start up 2015.

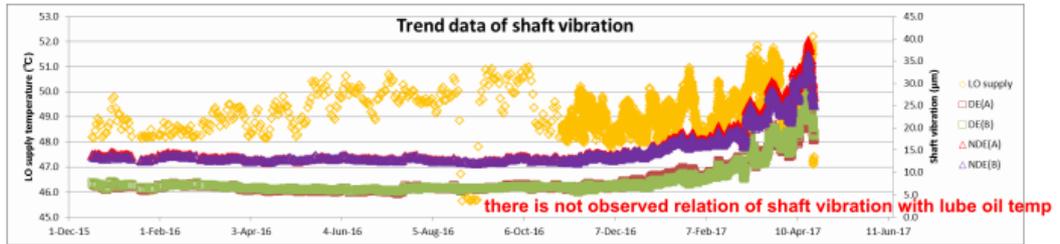
Berdasarkan Instruction Operating dan Maintenance manual mengacu pada API 617, untuk alarm limit (H) adalah sebesar 56  $\mu\text{m}$  dan trip (HH) sebesar 84  $\mu\text{m}$ .

Tabel 4.1 Data vibrasi 2015 – 2017 di MP Casing CGC

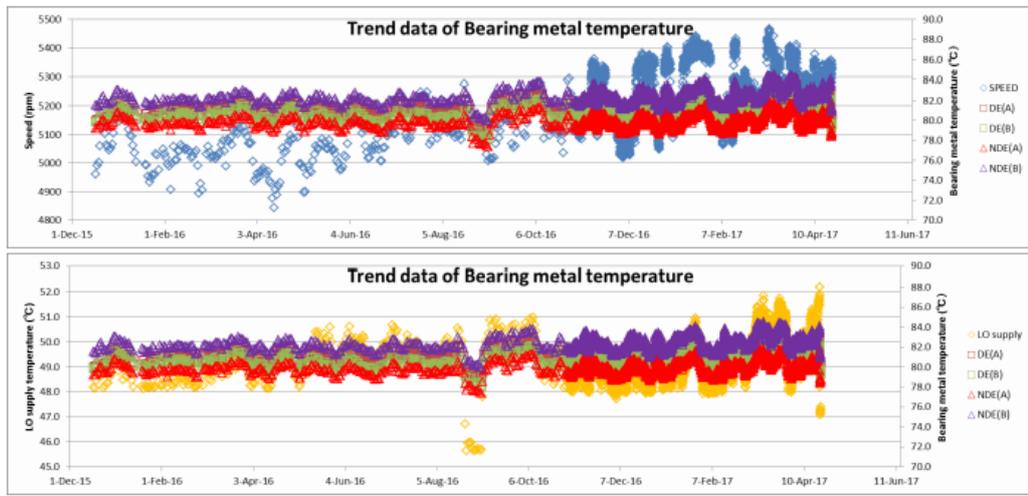
Measurement timing			Speed	DE		NDE	
				275A	275B	274A	274B
A	Commissioning	2015 December	4961 rpm	7.7 $\mu\text{m}$	7.8 $\mu\text{m}$	14.0 $\mu\text{m}$	13.8 $\mu\text{m}$
B	Start increasing shaft vibration	2016 November	5136 rpm	6.5 $\mu\text{m}$	6.6 $\mu\text{m}$	13.0 $\mu\text{m}$	12.7 $\mu\text{m}$
C	Meeting in Hiroshima	2017 February	5104 rpm	8.7 $\mu\text{m}$	8.3 $\mu\text{m}$	16.8 $\mu\text{m}$	16.1 $\mu\text{m}$
D	The highest shaft vibration	2017 April	5292 rpm	26.8 $\mu\text{m}$	28.3 $\mu\text{m}$	39.6 $\mu\text{m}$	36.6 $\mu\text{m}$



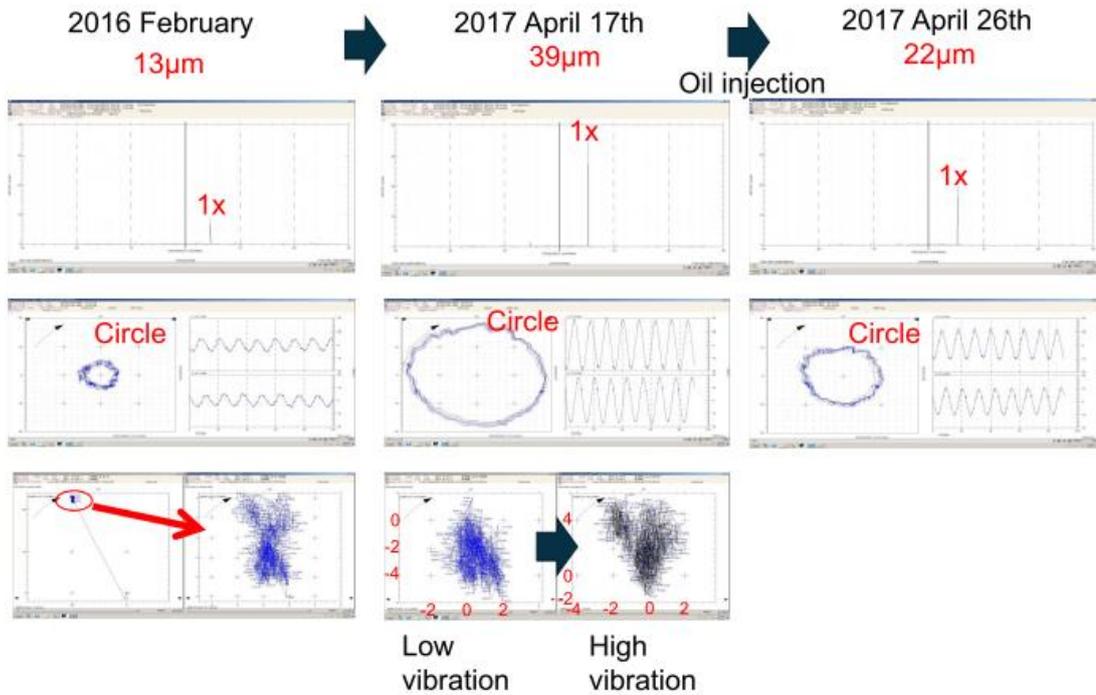
**Gambar 4.1** Trend Getaran vs Kecepatan



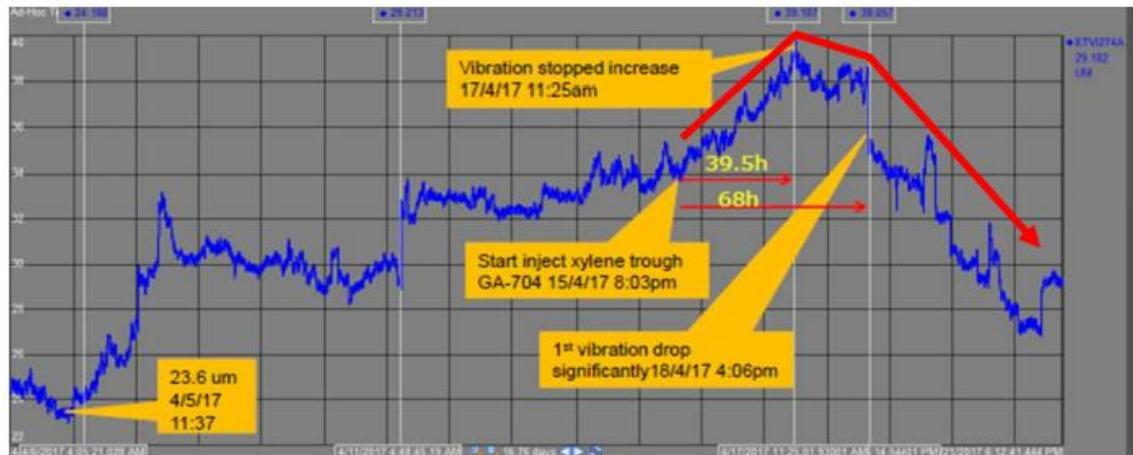
**Gambar 4.2** Trend Getaran vs Temperature Lube Oil



**Gambar 4.3** Trend Getaran vs Temperatur Bearing Metal



**Gambar 4.4** Observasi Data Getaran di MP Casing Sisi NDE



**Gambar 4.5** Trend Getaran Shaft Selama Inject Wash Oil

**Table 4.2** Fenomena dari getaran shaft (Rangkuman)

Item	Fenomena
Trend getaran shaft	Getaran shaft naik dari November 2016. NDE: 13 $\mu\text{m}$ $\rightarrow$ 39 $\mu\text{m}$ $\rightarrow$ 22 $\mu\text{m}$ dan inject oli dapat menurunkan level getaran shaft
Spectrum getaran shaft	Main spectrum menunjukkan dominant 1x speed
Orbit getaran	Bentuk orbit berupa lingkaran
Shaft center	Shaft center hampir sama antara getaran shaft tinggi dan saat getaran rendah

#### 4.1.1 Pembahasan

Dari beberapa gambar trending di bab 4.1 di buatlah why why analisis sebagai berikut

Tabel 4.3 Why Why analisis High vibrasi di MP Casing

Fenomena	Kemungkinan penyebab	Poin Pengecekan	Hasil Pengecekan	Kemungkinan
Getaran Shaft Tinggi	Rotor Unbalance	Spectrum dari getaran (1x)	Spectrum 1x	Tinggi
	Rubbing	Orbit shaft berbentuk flat	Orbit berbentuk lingkaran	Low
	Rotor support system tidak berfungsi	Bearing metal temperature	Bearing temperature masih dalam level yang bisa di terima	Low
		Shaft center bergerak	Shaft center hampir sama jika di bandingkan antara saat virasi tinggi dan rendah	Low
	Mis Alignment	Spektrum getaran 2X atau 3X	Spectrum 1x	Low
		Pengecekan kondisi Shim	1 shim tampak rusak, hanya dilihat dari shaft centerline kerusakan shim tidak	Low

			berefek ke getaran	
	Rotating stall	Spektrum vibrasi (0.2 – 0.3x)	Spectrum 1x	Low
	Surging	Spektrum vibrasi 0.1X	Spectrum 1x	Low
	Cairan masuk ke kompressor	Spektrum vibrasi Non Synchronous	Spectrum 1x	Low
	Self exciting vibration	Spektrum vibrasi Non Synchronous	Spectrum 1x	Low

Dari data di Tabel 4.3 di atas, getaran shaft yang terjadi di MP casing berhubungan dengan rotor unbalance. Dan berikut ini yang perlu di perhatikan berkaitan dengan rotor unbalance.

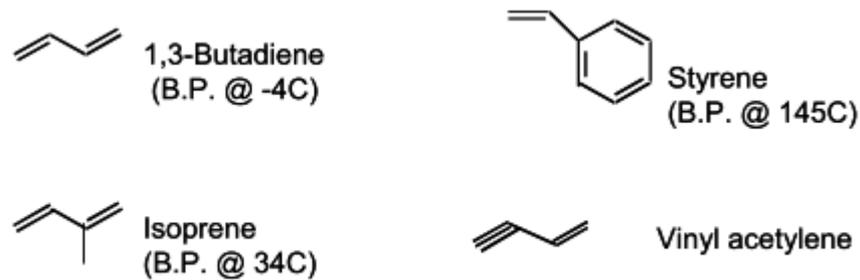
1. Impeller sliding or leaning
2. Rotor bengkok
3. Coupling unbalance
4. Terjadi polimerisasi di rotor
5. Kerusakan rotating part.

Berdasarkan gambar 4.5, di buktikan bahwa dengan penambahan wash oil vibrasi bisa di turunkan, melihat dari fenomena tersebut masalah di MP casing kemungkinan besar terjadi karena fouling di area impeller.

Mekanisme terjadinya fouling pada proses gas kompresor. Ada 3 mekanisme, polimerisasi radikal bebas, kondensasi Diels Alder dan penurunan suhu ke coke.

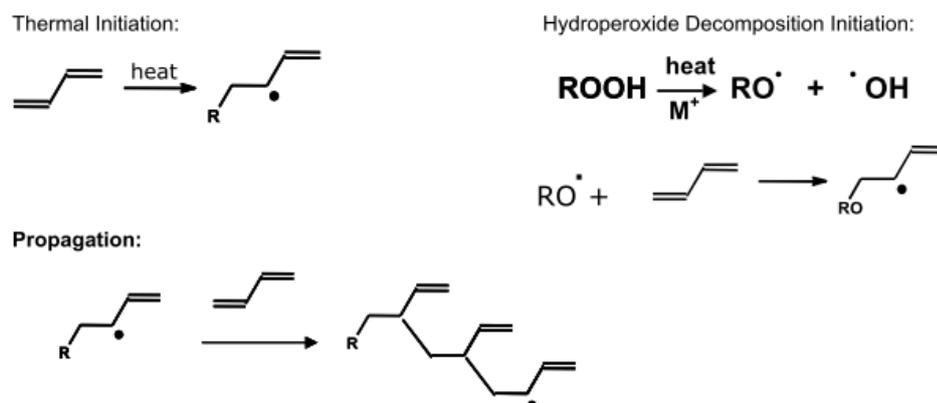
Dalam polimerisasi radikal bebas, monomer dengan ikatan rangkap reaktif, seperti butadiena, stirena, isoprena dan vinil asetilen (Gambar 4.6), bereaksi untuk membuat

polimer. Dalam kompresor, monomer reaktif dari fase gas larut (atau berdifusi) menjadi hidrokarbon cair yang mengembun selama kompresi. Begitu berada dalam fase cair, monomer reaktif dapat mengalami polimerisasi radikal bebas seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4.7.



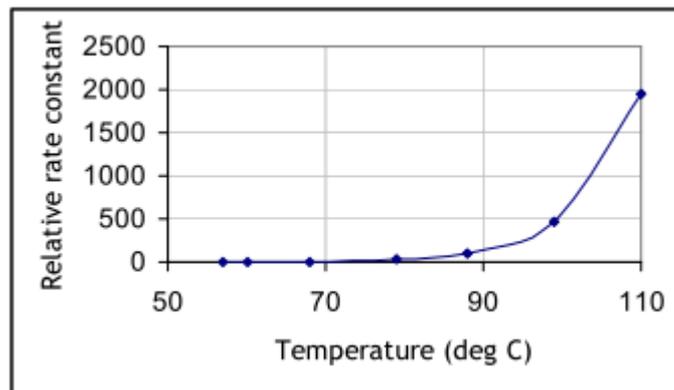
**Gambar 4.6** Monomer yang mengalami polimerisasi radikal bebas.

Polimerisasi radikal bebas, ditunjukkan pada Gambar 4.7, dimulai dengan langkah inisiasi, di mana radikal terbentuk melalui dekomposisi hidroperoksida (jika ada sumber oksigen, panas atau katalis logam) atau panas. Begitu radikal tidak stabil terbentuk, ia akan segera bereaksi dengan monomer, menghasilkan radikal baru. Radikal baru terus bereaksi dengan monomer (propagasi). Ketika rantai polimer tumbuh, berat molekul polimer meningkat sampai polimer menjadi tidak larut. Polimer kemudian terletak pada pemipaan dan peralatan proses (roda kompresor, pemipaan pelepasan, dll.), seperti yang telah dibahas sebelumnya.

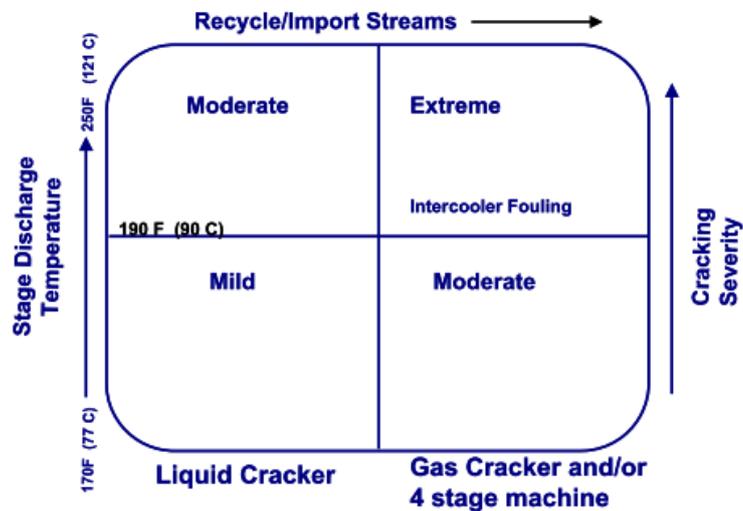


**Gambar 4.7** Polimerisasi Radikal Bebas — Langkah Inisiasi dan Propagasi

Penting untuk menekankan hubungan antara suhu dan laju polimerisasi. Konstanta laju relatif polimerisasi radikal bebas yang diinisiasi peroksida diilustrasikan pada Gambar 4.8. Perhatikan bahwa laju meningkat secara eksponensial dengan suhu. Ada potensi yang lebih besar untuk mengotori kompresor pada suhu pelepasan yang lebih tinggi.



**Gambar 4.8** Konstanta Laju Relatif Dekomposisi Peroksida Versus Suhu

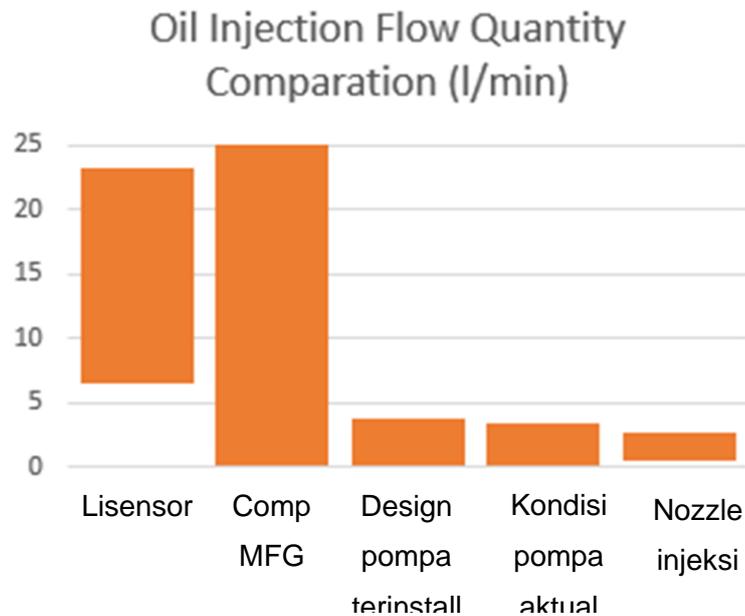


**Gambar 4.9** Nalco Fouling Severity Matrix

Dari penjelasan di atas untuk menghindari fouling ada 2 improvement yang bisa dilakukan di pabrik petrochemical tersebut.

1. Meningkatkan kapasitas wash oil injection

Setelah di lakukan pengecheckan kembali, kapasita wash oil yang terinstall di lapangan kapasitasnya masih kurang dari yang di butuhkan oleh lisensor. Dikarenakan saat revamping dilakukan tidak di lakukan kalkulasi ulang mengenai kebutuhan wash oil ini. Dengan comparison sebagai berikut.



**Gambar 4.10** kebutuhan Wash Oil Injection

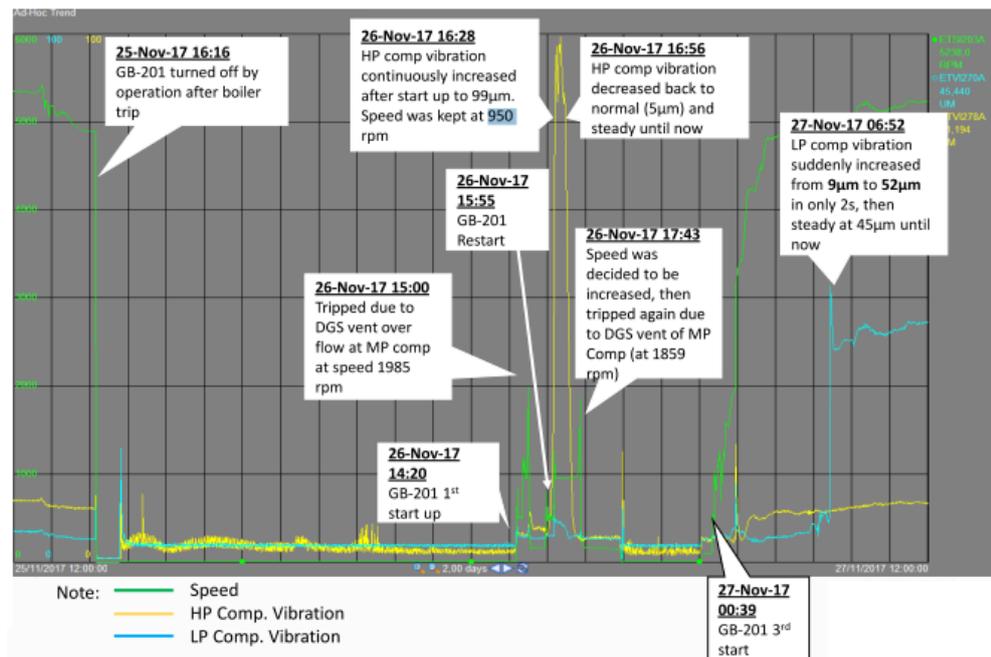
2. Menurunkan suhu discharge dengan menggunakan water injection.

Kompresor ini di lengkapi dengan fasilitas untuk inject water agar bisa menurunkan suhu gas. Hanya di perusahaan ini fasilitasnya belum terpasang. Sehingga temperature discharge stage 3 di atas 88 deg C dan menjadi penyebab mudahnya terjadi polimerisasi di MP casing.

#### **4.2 Analisis Studi Kasus Kenaikan Vibrasi di LP Casing Saat Start Up November 2017**

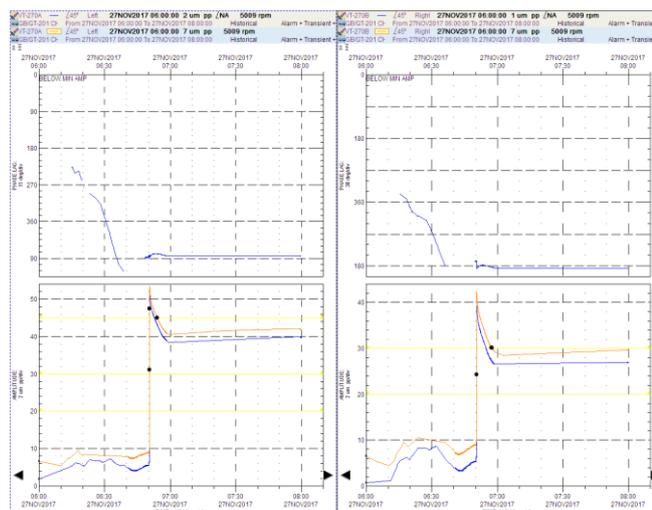
Pada November 2017 CGC d matikan oleh proses team karena ada masalah dengan boiler. Setelah problem selesai, CGC akan di jalankan kembali 1 hari setelah trip. Percobaan pertama saat speed turbine mencapai 1985 rpm compressor trip karena DGS vent flow melebihi alarmnya. Lalu di percobaan kedua compressor masih trip karena

masalah yang serupa, sehingga di putuskan untuk melakukan bypass di DGS vent flow karena hasil analisa kita vent flow tidak berbahaya jika di bypass dan kalau memang di speed normal flow masih over kami rekomendasikan untuk di matikan dan investigasi lebih lanjut. Start ke 3 compressor bisa di jalankan dengan baik hanya setelah 1 meit mencapai kecepatan normalnya, getaran di LP casing naik signifikan menjadi 52  $\mu\text{m}$ .

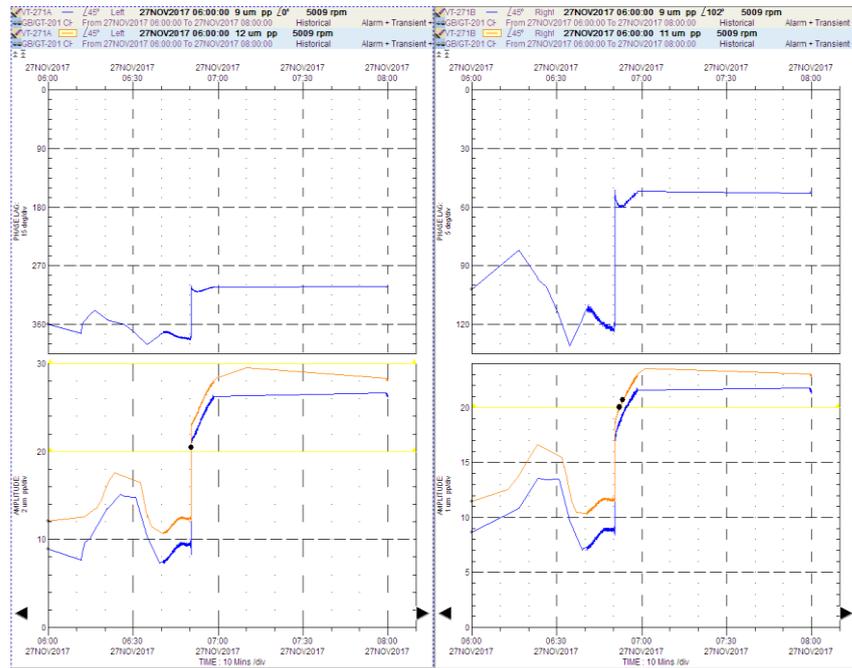


**Gambar 4.11** Kronologi Kenaikan Getaran LP Casing

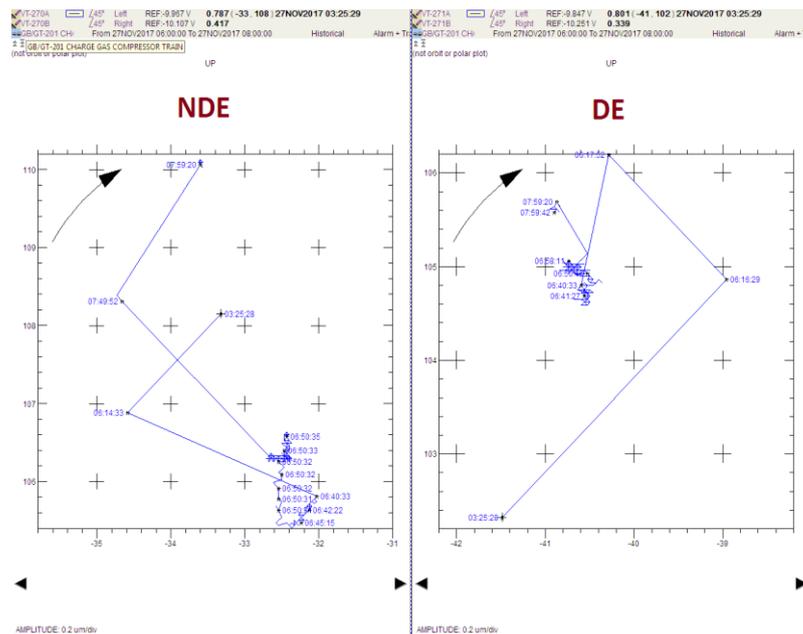
Data-data vbrasi yang bisa di kumpulan untuk investigasi LP casing adalah sebagai berikut



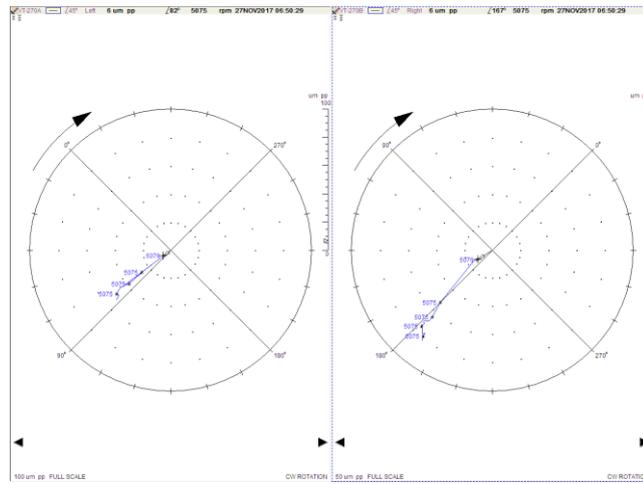
**Gambar 4.12** Trend Vibration dan Phase LP NDE Bearing



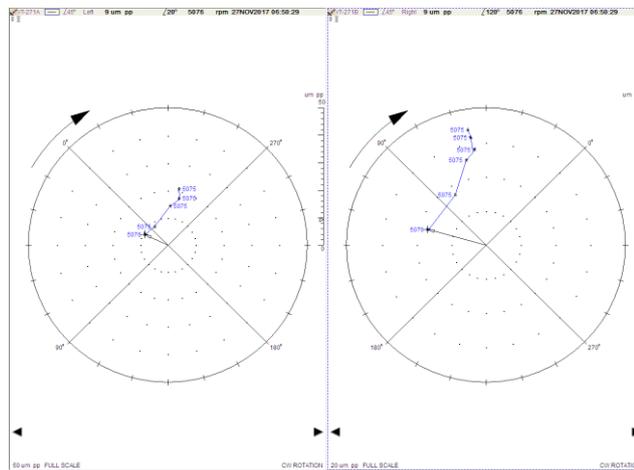
**Gambar 4.13** Trend Vibrasi dan Phase LP DE Bearing



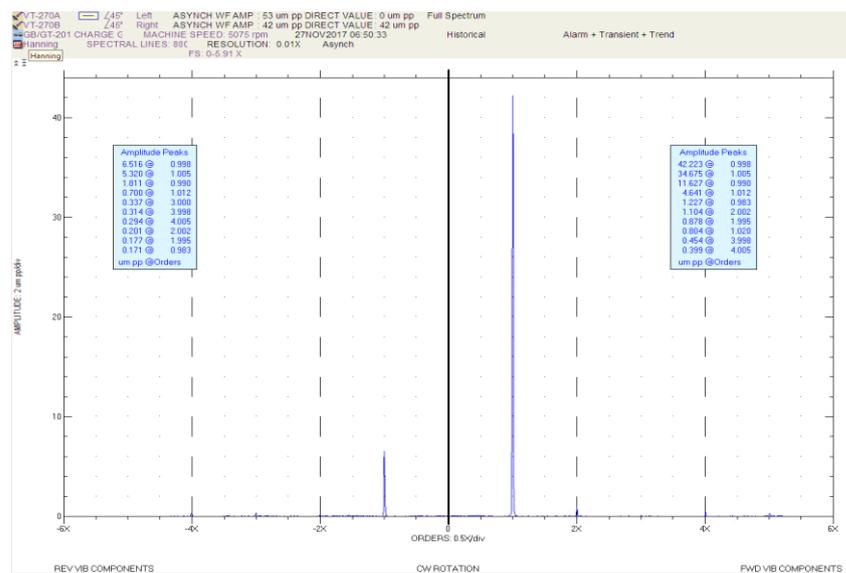
**Gambar 4.14** Rata-Rata Shaft Centerline



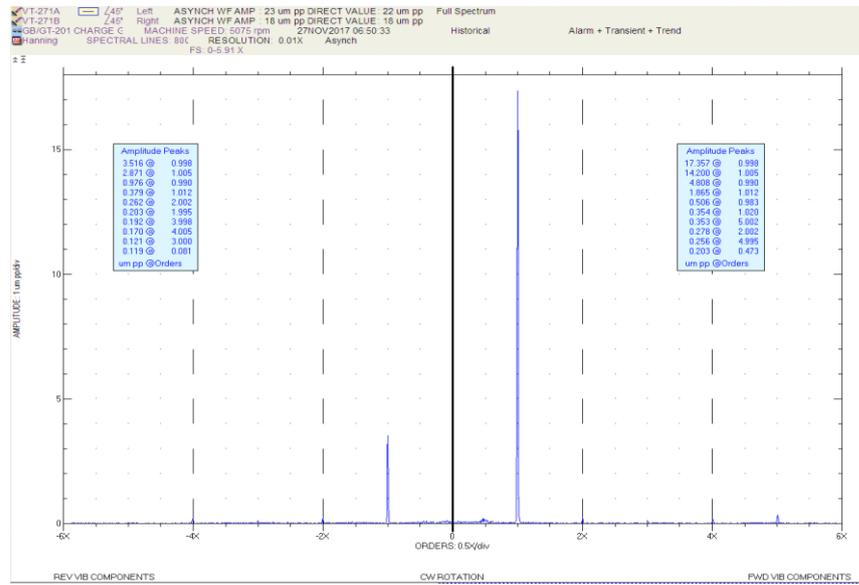
**Gambar 4.15** Polar Plot LP Casing Sisi NDE



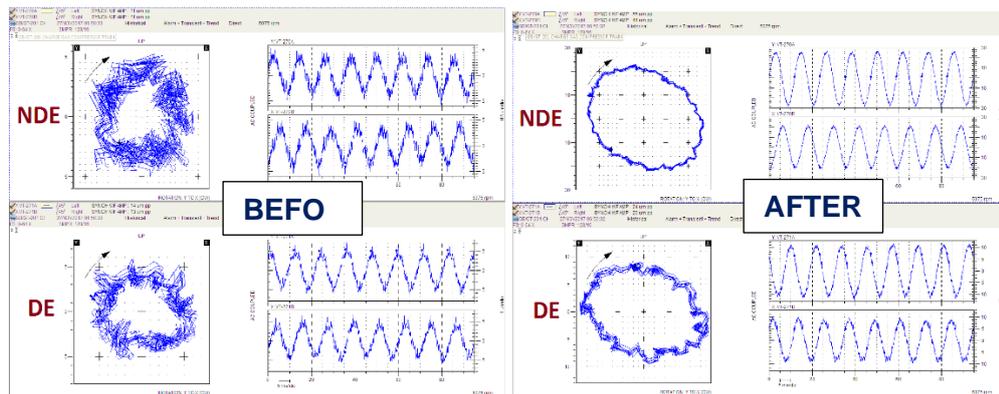
**Gambar 4.16** Polar Plot LP Casing Sisi DE



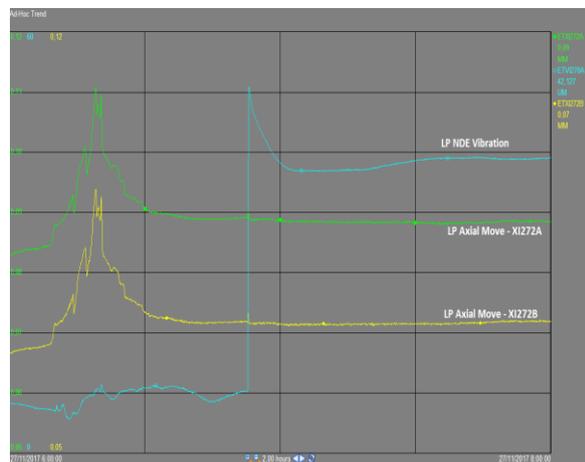
**Gambar 4.17** Spektrum LP Casing Sisi NDE



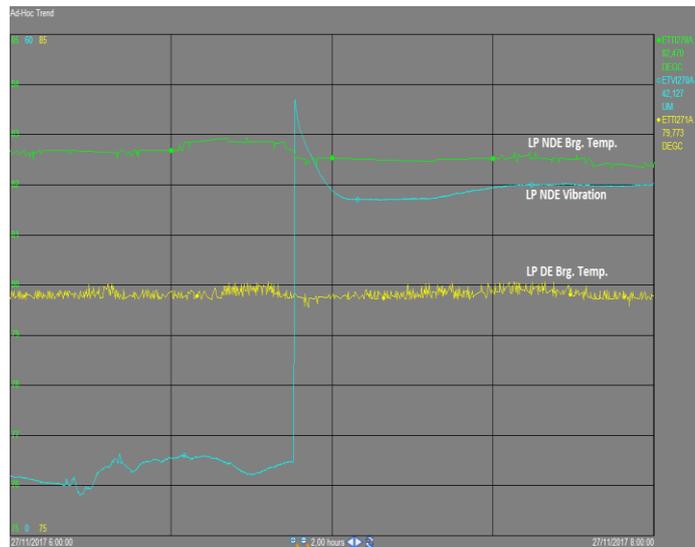
Gambar 4.18 Spektrum LP Casing Sisi DE



Gambar 4.19 Orbit dan Gelombang Waktu Sebelum dan Sesudah Getaran Tinggi



Gambar 4.20 Axial Movement LP Casing



**Gambar 4.21** Temperatur Bearing LP Casing

**4.2.1 Pembahasan**

Dari beberapa gambar trending di bab 4.2 di buatlah why why analisis sebagai berikut

Table 4.4 Why-Why Analysis Getaran Tinggi di LP Casing

Fenomena	Kemungkinan penyebab	Poin Pengecekan	Hasil Pengecekan	Kemungkinan
Getaran Shaft Tinggi	Rotor Unbalance	Spectrum dari getaran (1x)	Spectrum 1x	Tinggi
	Rubbing	Orbit shaft berbentuk flat	Orbit berbentuk lingkaran	Low
	Rotor support system tidak berfungsi	Bearing metal temperature	Bearing temperature masih dalam level yang bisa di terima	Low
		Shaft center bergerak	Shaft center hampir sama jika di	Low

			bandingkan antara saat virasi tinggi dan rendah	
	Mis Alignment	Spektrum getaran 2X atau 3X	Spektrum 1x	Low
		Pengecekan kondisi Shim	1 shim tampak rusak, hanya dilihat dari shaft centerline kerusakan shim tidak berefek ke getaran	Low
	Rotating stall	Spektrum vibrasi (0.2 – 0.3x)	Spektrum 1x	Low
	Surgling	Spektrum vibrasi 0.1X	Spektrum 1x	Low
	Cairan masuk ke kompressor	Spektrum vibrasi Non Synchronous	Spektrum 1x	Low
	Self exciting vibration	Spektrum vibrasi Non Synchronous	Spektrum 1x	Low

Dari data di Tabel 4.4 di atas, getaran shaft yang terjadi di LP casing berhubungan dengan rotor unbalance. Dan berikut item yang perlu di perhatikan berkaitan dengan rotor unbalance.

1. Impeller sliding or leaning
2. Rotor bengkok
3. Coupling unbalance
4. Terjadi polimerisasi di rotor
5. Kerusakan rotating part.

Dikarenakan kerusakan mendadak dan tidak ada korelasi dengan wash oil injection. Kemungkinan kerusakan masih ada 4 item di atas. Hanya saja untuk membuktikan kemungkinan kerusakan hanya bisa dilakukan saat TAM (turn Around Maintenance) 2019 mendatang. Sehingga untuk saat ini yang bisa direkomendasikan untuk menyiapkan beberapa part untuk pergantian di TAM 2019.

#### **4.3 Pembahasan Studi Kasus Etika Keprofesian Insinyur Terkait K3L**

Salah satu tanggung jawab profesi insinyur adalah selalu berpedoman pada Keselamatan, Kesehatan, Keamanan dan Lingkungan tempat insinyur itu bekerja. Pada Tahun 2017 sebelum start up CGC, team kami melakukan start propylene Refrigerant Compressor, hanya sebelum start up berlangsung ada dinding lube oil dari governor servo leakage dan membasahi insulation turbine, saat akan start up penulis meminta untuk disiapkan APAR karena mengingat lube oil adalah bahan yang mudah terbakar dan insulation dari turbine PRC menggunakan steam dengan temperature yang tinggi yang mungkin akan mengakibatkan terjadinya kebakaran. Tepat setelah steam masuk bekas lube oil terbakar dan akhirnya APAR kami gunakan untuk memadamkan api. Dan saat investigasi, dan melakukan pergantian insulasi, penulis meminta untuk dilakukan meeting JOHAN (Job Hazard Analysis) terlebih dahulu dan persiapan PPE untuk mitigasi mengingat tempat kerja adalah casing turbine yang panas, saya stop pekerjaan sebelum PPE suit anti panas dan sarung tangan anti panas bisa disediakan. Akhirnya pekerjaan bisa dilanjutkan setelah PPE disiapkan. Pada akhirnya pekerjaan berajalan aman dan lancar sampai setelah start up.

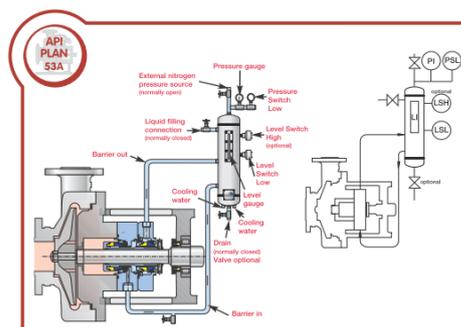
Kasus lain di tahun 2017, Quench Oil pump sering terjadi kerusakan terutama di mechanical seal yang sering leakage, karena pompa ini masih menggunakan single mechanical seal, sehingga jika terjadi leakage liquid nya akan langsung keluar dan

mencemari lingkungan. Perlu di ingat bahwa liquid dari pompa ini adalah quench oil pump (seperti asphalt).



**Gambar 4.22** Environment Issue karena Tumpahan Quench Oil Langsung ke Tanah

Untuk menanggulangi masalah lingkungan yang tercemar, berdasarkan API 682, untuk hydrocarbon dan toxic liquid seperti quench oil pump, saya berusaha proposed ke manajemen untuk improve seal menjadi double mechanical seal, agar tidak terjadi pencemaran lingkungan seperti sebelumnya. Karena dengan menggunakan double mechanical seal, jika terjadi leakage di mech seal ash ada secondary seal yang menahan sebelum keluar ke lingkungan dan equipment bisa di stop lalu di repair.



**Gambar 4.18** Double mecanical seal GA-101 (API plan 53)

Tahun 2015 proposal tersebut di approved dan di lakukan feasibility study dan pengaplikasian double mechanical seal complete di ahir tahun 2015. Sampai sekarang

dari 4 pompa sudah kita ganti semua dan tidak ada masalah mengenai environment untuk pompa quench oil di pabrik kimia ini.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Masalah high vibrasi di crack gas compressor di MP casing terjadi karena masalah fouling/polimerisasi yang terjadi di impeller/rotor.
2. Masalah high vibrasi di crack gas compressor di LP casing masih ada beberapa possibility yang di buktikan yaitu, Impeller sliding or leaning, Rotor bending/bengkok, Coupling unbalance, polimerisasi di rotor dan kerusakan rotating part (impeller, DGS, atau rotor)
3. Problem di MP casing akan di analisa lebih lanjut saat overhaul compressor di Turn Around Maintenance (TAM) Agustus 2019.
4. Untuk mencegah hal serupa terjadi di masa mendatang di harapkan untuk mempersiapkan fasilitas berupa
  - a. Wash oi injection sesuai rekomendasi dari lisensor untuk mengurangi fouling
  - b. Water injection untuk menurunkan discharge temperature kompresor

#### **5.2 Saran**

1. Untuk mengatasi masalah di MP casing, sebaiknya di siapkan improvement berupa:
  - a. Meningkatkan kapasitas wash oil injection sesuai rekomendasi dari lisensor untuk mengurangi fouling
  - b. Menurunkan discharge temperature dengan memasang fasilitas water injection ke dalam kompresor CGC.
2. Untuk mengatasi masalah di LP casing, karena kita belum tahu pasti masalah yang terjadi sebaiknya di siapkan spare part berikut untuk di ganti saat TAM
  - a. Rotor unit
  - b. DGS (Dry Gas Seal

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ir. Pudjanarsa, Astu, M.T., Prof. Ir. Nursuhud, Djati, MSME, Mesin Konversi Energi, ANDI Yogyaarta, 2006
- [2] Dietzel, Fritz, Sriyono, Dakso, Turbin, Pompa dan Kompresor, Erlangga, 1988
- [3] Mobley, R. Keith, An Introduction To Predictive Maintenance, Edition 2002.
- [4] Nevada Bently, Digital Asset Management Transformation, System 1, 2019
- [5] Snider, Sheri, TA 2002 Ethylene Plant Cracker Gas Compressor Fouling, 2006
- [6] Kolmetz, Karl, Ethylene Unit Cracked Gas Compressor Case Studies on Fouling, 2018
- [7] Nevada Bently, System 1 bently Performance Module, 2019
- [8] Mitsubishi Heavy Industries, Fundamentals of Centrifugal Compressor, 2014
- [9] Lab Dinamika, Pusat Rekayasa Industri ITB, Orbit dan Shaft Centerline, 2014
- [10] API617, Eight Edition, 2014

**RANCANG BANGUN MESIN *COCOPEAT* DAN *COCOFIBER*  
DENGAN KAPASITAS 15 KG/JAM**



**STUDI KASUS**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Insinyur pada  
Program Studi Profesi Insinyur**

**Oleh :**

**Nama : Suparno**

**NIM : 21000122210117**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN PROFESI INSINYUR  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG  
2022**

## LEMBAR PENGESAHAN

Laporan Karya Ilmiah Atas Nama :

Mahasiswa : Suparno  
Nim : 21000122210117  
Program Studi : Pendidikan Profesi Insinyur  
Judul : Rancang Bangun Mesin *Cocopeat* dan *Cocofiber*  
dengan Kapasitas 15 Kg/Jam

Telah memenuhi persyaratan kaidah Laporan Karya Ilmiah di Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Semarang

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Ing. Ir. Paryanto, S.T., M.T., IPM

NIP. 19850909 201808 1 001



Prof. Dr. Ir. Hadiyanto, S.T., M.Sc. IPU, ASEAN Eng

NIP. 19751028 199903 1 004

**LEMBAR PERSETUJUAN  
KARYA ILMIAH  
RANCANG BANGUN MESIN *COCOPEAT* DAN *COCOFIBER* DENGAN  
KAPASITAS 15 KG/JAM**

Disusun Oleh :  
**Suparno, ST., MT**  
21000122210117

**Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji  
Pada Tanggal : 31 Oktober 2022**

**Tim Penguji,**

Pembimbing I



**Dr. Ing. Ir. Paryanto, S.T., M.T., IPM  
NIP. 19850909 201808 1 001**

Pembimbing II



**Prof. Dr. Ir. Hadiyanto, S.T., M.Sc. IPU, ASEAN Eng  
NIP. 19751028 199903 1 004**

Penguji 1



**Prof. Dr. Widayat, ST., MT., IPM  
NIP. 19720609199803101**

Penguji 2



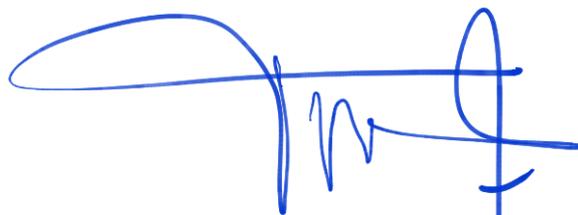
**Prof. Dr. Ir. Luqman Buchori, S.T, M.T., IPM  
NIP. 195901051987031002**

Karya Ilmiah ini telah diterima sebagai salah SatuPersyaratan untuk memperoleh gelar Insinyur

Tanggal : 1 November 2022

**Ketua Program Studi**

**Pendidikan Profesi Insinyur**



**Prof. Dr. Widayat, ST., MT., IPM  
NIP. 19720609199803101**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

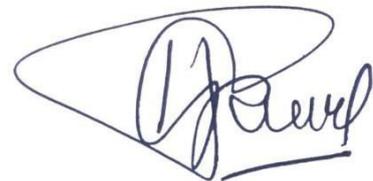
Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Suparno, ST., MT  
NIM : 21000122210117  
Jurusan : Teknik Mesin  
Program Studi : Teknik Mesin  
Jenjang : Profesi Insinyur  
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Mesin *Cocopeat* dan *Cocofiber*  
dengan Kapasitas 15 Kg/Jam

Saya dengan ini menyatakan bahwa tidak ada karya dalam karya akademik ini yang pernah diajukan untuk mendapatkan gelar sarjana, atau bahwa, sepengetahuan saya, karya atau pendapat apa pun telah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain. , kecuali secara tertulis sebagaimana tercantum dalam naskah ini dan dikutip dalam daftar pustaka.

Apabila di kemudian hari terbukti adanya plagiarisme dalam karya akademik ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Samarinda, 24 November 2022



**Suparno, ST., MT**  
21000122210117

## ABSTRAK

Kabupaten Kutai Kartanegara merupakan salah satu penghasil kelapa terbesar di Kalimantan Timur sudah barang tentu menghasilkan limbah yang sangat banyak terutama limbah sabut kelapa yang bisa menyebabkan bencana banjir bila sembarangan di aliran sungai maupun di bawa arus banjir. Limbah sabut kelapa yang sudah tidak terpakai dapat di olah Kembali menjadi beragam produk jadian setengah jadi yang memiliki nilai jual tinggi. Produk tersebut antara lain serat sabut (*Cocofibre*), serbuk sabut (*Cocopeat*), serbuk sabut padat (*Cocopeatbrick*) *cocomesh*, *cocopot*, *cocosheet*, *coco fiber board* (CFB) dan *cococoir*. Dalam dunia perkebunan serbuk sabut *cocopeat* juga dapat dimanfaatkan sebagai campuran media tanam yang sangat baik untuk kesuburan tanaman. Oleh sebab itu dalam kesempatan ini kami sangat tertarik sekali untuk dapat merencanakan dan membuat sesuatu mesin yang dapat mengolah sabut kelapa menjadi bahan baku produk turunanya seperti pembuatan kerajinan seperti keset dll yang barang tentu dapat meningkatkan ekonomi masyarakat menengah kebawah atau petani kelapa yang ada di Propinsi Kalimantan Timur daerah Tanah Merah Kec. Samarinda Utara. Didalam perencanaan dan perancangan mesin ini kami menggunakan *softwere solidwork* serta metode Analisa perhitunganya menggunakan panduan buku Elemen Mesin Sularso. Agar mesin yang kami rancang dapat menghasilkan suatu produk yang langsung dapat di manfaatkan maka mesin ini dilengkapi dengan ayakan sebagai pemisah otomatis antara serbuk *cocopeat* dengan serat *cocofibre* berbentuk silinder kerucut.

**Kata kunci Sabut kelapa; Mesin *cocopeat*; *cocofibre***

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>12</b>
1.1 Latar Belakang.....	12
1.2 Rumusan Masalah.....	13
1.3 Batasan Masalah .....	13
1.4 Tujuan Perencanaan.....	13
1.5 Manfaat Penelitian .....	14
1.6 Sistematika Penulisan .....	14
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>16</b>
2.1 Tinjauan Pustaka.....	16
2.2 Pemanfaatan Sabut Kelapa .....	16
2.2.1 Serat.....	16
2.2.2 Mesin Pengurai Sabut Kelapa .....	19
2.3 Mesin Pengurai Sabut Kelapa.....	20
2.4 Prinsip Kerja Mesin Pengurai Sabut Kelapa .....	22
2.5 Poros .....	22
2.5.1 Perhitungan Poros .....	25
2.5.2 Poros Dengan Beban Lentur Murni .....	28
2.5.3 Poros Dengan Beban Puntir dan Lentur.....	29
2.6 Besi Profil L.....	30
2.7 Pulli (Pulley).....	31
2.2.3 Perhitungan Pulli.....	32

2.8	Sabuk .....	34
	2.8.1. Perhitungan Sabuk .....	35
2.9	Bantalan .....	39
	2.9.1 Klasifikasi Bahan .....	39
	2.9.2 Perhitungan Bantalan .....	40
2.10	Pengelasan .....	42
	2.10.1 Perhitungan Pengelasan .....	46
2.11	Rumus Kapasitas .....	46
2.12	Dimmer .....	47
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>		<b>48</b>
3.1	Metode Penelitian .....	48
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian.....	48
	3.2.1 Tempat.....	48
	3.2.2 Waktu .....	48
3.3	Pelaksanaan Pembuatan Alat.....	48
3.4	Alat dan Bahan Yang Digunakan .....	49
3.5	Teknik Pengambilan Data.....	49
3.6	Proses Pembuatan .....	50
	3.6.1 Proses Pembuatan Rangka .....	50
	3.6.2 Proses Pembuatan Penutup Mata Pisau.....	51
	3.6.3 Proses Pembuatan Poros Mata Pisau.....	52
	3.6.4 Proses Pembuatan Mata Pisau.....	52
	3.6.5 Proses Pembuatan Puli .....	52
3.7	Proses Perakitan.....	53
3.8	Dasar Pengoperasian.....	54
3.9	Diagram Alir .....	55

<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>56</b>
4.1 Hasil Perancangan .....	56
4.2 Pemilihan Bahan .....	57
4.3 Pemilihan Bahan Rangka.....	58
4.4 Pemilihan Bahan Poros.....	58
4.5 Prinsip Kerja Alat .....	58
4.6 Proses Pengurai Sabut Kelapa .....	59
4.7 Kapasitas Efektif.....	59
4.8 Perhitungan Daya Motor Penggerak.....	60
4.8.1 Perhitungan Daya Motor Penggerak Tanpa beban.....	61
4.8.2 Perhitungan Daya Motor Penggerak Dengan beban.....	63
4.9 Sistem Transmisi Sabuk dan Pully .....	64
4.10 Kekuatan Poros .....	66
4.10.1. Menentukan Diameter Poros.....	67
4.11. Perhitungan Pasak.....	68
4.11.11. Menentukan Panjang Pasak.....	68
4.11.12. Pemeriksaan Panjang Pasak .....	68
4.11.13. Tegangan Geser yang diizinkan .....	68
4.11.14. Gaya Tangensial Yang Terjadi.....	68
4.11.15. Tegangan Geser Yang Terjadi Pada Pasak .....	69
4.12. Perhitungan Bantalin .....	69
4.12.1. Menentukan Gaya Aksial Pada Bantalan (F).....	69
4.12.2. Menentukan Beban Ekuivalen Dinamis (P).....	69
4.12.3. Menentukan beban ekuivalen statis (Po).....	69
4.12.4. Menentukan Faktor Kecepatan (fn) .....	69
4.12.5. Menentukan Faktor Umur (fh) .....	70
4.12.6. Menentukan Umur Nominal Bantalan (Lh) .....	70
4.13. Perlindungan Kekuatan Sambungan Las .....	70
4.13.1. Menghitung Tebal Las (t).....	70

4.13.2.	Menghitung Luas Area Las (A) .....	71
4.13.3.	Menghitung Beban Yang Mampu Ditahan (P).....	71
4.14.	Perhitungan Kapasitas .....	72
4.15.	Etika dan Keselamatan Kerja.....	73
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>75</b>
5.1	Kesimpulan .....	75
5.2	Saran .....	75
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>76</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>77</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kasur dan bantal Guling Sabutret (wordpress.com).....	18
Gambar 2. 2 Matras olah raga sebutret / <i>CoirMatrass</i> (wordpress.com).....	18
Gambar 2. 3 Jok sabutret untuk Pesawat, mebelair dankapal (wordpress.com).....	18
Gambar 2. 4 Cocopot (wordpress.com).....	19
Gambar 2. 5 . langkah pemasangan <i>Cocomesh</i> (media.neliti.com).....	19
Gambar 2. 6 Serbuk (shopee.co.id).....	20
Gambar 2. 7 Mesin pengurai Sabut Kelapa.....	22
Gambar 2. 8 Poros (Sumber Solidwoks).....	23
Gambar 2. 9 Poros Beban Puntir (Sumber wawan-mesin.blogspot.com).....	24
Gambar 2. 10 Poros Beban Lentur Murni (Sumber:keluargasepuh86.blogspot.com)....	24
Gambar 2. 11 Poros Beban Puntir dan Lentur (Sumber keluargasepuh86.com).....	25
Gambar 2. 12 Ukuran diameter poros dalam satuan milimeter.....	27
Gambar 2. 13 Gandar ( <i>Sumber gambar</i> : <a href="http://www.123dok.com">www.123dok.com</a> ).....	29
Gambar 2. 14 Pulli (sumber : <a href="https://masmukti.files.wordpress.com">https://masmukti.files.wordpress.com</a> ).....	32
Gambar 2. 15 Diagram Pemilihan Sabuk-V (Sumber: Sularso).....	34
Gambar 2. 16 Ukuran Penampang Sabuk-V (sumber:Sularso).....	35
Gambar 2. 17 Jarak Sumbu Poros.....	36
Gambar 2. 18 Jarak Sumbu Poros.....	36
Gambar 2. 19 Jenis-Jenis Bantalan.....	40
Gambar 2. 20 Jenis Bantalan, Kapasitas Nominal Dinamis dan Statis.....	40
Gambar 2. 21 Jenis-Jenis Sambungan Dasar.....	43
Gambar 2. 22 Macam-Macam Sambungan T.....	44

Gambar 2. 23 Sambungan Tumpang .....	44
Gambar 2. 24 Sambungan Sisi .....	45
Gambar 2. 25 Sambungan Dengan Penguat .....	45
Gambar 2. 26 Dimmer .....	47
Gambar 3. 1 Diagram Alir .....	55
Gambar 4. 1 Keselamatan Kerja.....	74

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penggolongan Bahan Poros ( <i>Sularso, 2004</i> ) .....	24
Tabel 2. 2 Faktor-faktor koreksi daya yang ditransmisikan, $f_c$ ( <i>Sumber : (Sularso &amp; Suga, 2002) Elemen Mesin.....Hal 7</i> ) .....	25
Tabel 2. 3 Bahan Poros dan Kekuatan Tarik ( <i>Sumber : Sularso dan Kiyokatsu Suga, Elemen Mesin..... Hal 3</i> ).....	26
Tabel 2. 4 Faktor Tambahan Tegangan Pada Gambar.....	29
Tabel 2. 5 Spesifikasi ASTM A283 Steel, Grade D .....	31
Tabel 2. 6 Diameter minimum pully yang diizinkan dan dianjurkan .....	32
Tabel 2. 7 Faktor Koreksi ( $K\theta$ ).....	37
Tabel 2. 8 Penyetelan Jarak Sumbu Poros.....	38
Tabel 2. 9 Panjang Sabuk V Standar .....	38
Tabel 4. 1 Pengujian Alat .....	60

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dinamika teknologi tumbuh dan berkembang pesat sejalan dengan perkembangan modern melalui promosi teknologi yang cocok, serbaguna dan ekonomis. Hal ini ditandai dengan terciptanya produk-produk baru di berbagai daerah. Terutama sektor pertanian merupakan salah satu sektor utama dan menopang sebagian besar mata pencaharian masyarakat Indonesia. Kita perlu mengembangkan alat yang dapat mendukung peningkatan produksi pertanian pra dan pasca panen.

Salah satu tanaman yang paling penting adalah kelapa. Kelapa adalah salah satu tanaman yang paling banyak ditanam di kotamadya karena kekuatan ekonominya yang besar. Apalagi penggunaannya dalam industri makanan (food manufacturing) sangat luas. Selain itu, kelapa memiliki nilai tambah karena cangkangnya.

Kelapa yang oleh sebagian orang dibuang dan dianggap sampah, sebenarnya merupakan nilai tambah yang sangat bermanfaat bagi seluruh umat manusia Sementara kelapa yang sudah tua sedikit manfaatnya, kelapa sawit yang telah disuling dan diproses, atau lebih dikenal dengan minyak sawit, dianggap limbah dari tanaman kelapa, banyak digunakan oleh petani dan masyarakat di perkebunan kelapa Kelapa biasanya dimanfaatkan hanya untuk air, daging dan batok kelapa, namun pemanfaatan batok kelapa tidak begitu menarik dan memiliki nilai ekonomis bagi petani kelapa yaitu kelapa sebagai substrat tumbuh kelapa. Manfaat gambut kelapa adalah kemampuannya menyerap dan menahan air serta menetralkan keasaman tanah Dengan demikian, sabut kelapa dapat digunakan sebagai media tanam yang sangat baik untuk menanam tanaman

pekarangan dan tanaman lainnya.

Jika kita melihat negara tetangga, mereka menjadikan kakao sebagai produk ekspor, yang pada tahun 1990 memenuhi kebutuhan dunia sekitar 75,7 ribu ton Seiring meningkatnya permintaan ayam, diharapkan industri ini mampu mengembangkan unggas olahan, khususnya industri dalam negeri.

Kelapa dapat digunakan sebagai bahan kerajinan kasur, karpet, pelapis jok mobil, bantal dan serat karet prospek cerah di masa depan Ada keterbatasan dalam industri untuk menghasilkan produk berkualitas tinggi Hal ini dikarenakan mesin pencacah manual menghasilkan serat yang kasar, kotor dan pendek, sehingga produk yang dihasilkan kurang baik Tujuan pembuatan alat ini adalah untuk membuat mesin batok kelapa yang dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas produksi secara lebih efisien dan ekonomis Mesin yang dihasilkan berupa tube counter yang menggunakan motor listrik Di dalamnya ada pisau bedah di seberang pintu, saluran untuk kulit yang ditusuk untuk masuk dan keluar. Produk yang didapat dari alat penghancur kelapa ini lebih berkualitas, serat lebih halus sehingga harga jual lebih murah.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Masalah yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah bagaimana merancang Mesin *Cocopeat* Dan *Cocofiber* Dengan Kapasitas 15kg/Jam.

## **1.3 Batasan Masalah**

Pada pembuatan mesin pengurai sabut kelapa. Penulis perlu membatasi masalah agar tidak meluas. Batasannya adalah komponen-komponen yang berhubungan dengan alat tersebut meliputi sabuk, puli, poros, pasak, bantalan

## **1.4 Tujuan Perencanaan**

Adapun tujuan dari perancangan ini adalah untuk bagaimana merancang Mesin

*Cocopeat Dan Cocofiber Dengan Kapasitas 15kg/Jam.*

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Dalam pembuatan ini terdapat beberapa manfaat, diantaranya adalah :

1. Bagi Penulis :

Sebagai inovasi untuk menambah pengetahuan dan wawasan seorang Insinyur

2. Bagi Masyarakat :

Memanfaatkan serat sabut kelapa menjadi barang yang berguna dengan menggunakan mesin pengurai sabut kelapa ini.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Untuk lebih memudahkan para pembaca mengetahui isi laporan ini, maka penulis menguraikan beberapa bab sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini akan diuraikan tentang Latar Belakang, Rumusan Masalah, Batasan Masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, dan Sistematika Penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini akan meninjau kembali literatur-literatur yang terkait dengan penelitian ini, serta memberikan penjelasan mengenai konsep dan teori-teori yang digunakan untuk merencanakan dalam pembuatan alat.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Pada bab ini diuraikan tentang tempat dan waktu perencanaan, jadwal perencanaan, alat dan bahan yang digunakan, perencanaan, pembuatan dan pengoperasian alat, diagram alir (flow chart).

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini menjelaskan tentang perencanaan dan perancangan alat. Serta membahas

tentang hasil pengujian dari alat yang sudah di rencanakan.

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisikan kesimpulan dan saran berdasarkan hasil dari penelitian dan pengujian alat.

## **DAFTAR PUSTAKA**

Bagian ini berisi tentang beberapa data-data refrensi yang digunakan dalam proses penelitian dan tinjauan pustaka.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Coir adalah lapisan permukaan serabut kasar yang menutupi permukaan luar batok kelapa. Sebagian orang beranggapan bahwa kelapa hanyalah limbah yang tidak berguna. Namun seiring berkembangnya waktu dan teknologi, penggunaan sabut mulai meluas. Dengan bantuan ilmu pengetahuan, buah kelapa dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan sehari-hari. Pupuk organik bisa diramu dari pohon kelapa, digunakan sebagai bahan dasar briket, aneka kerajinan dan lainnya. Ini pasti akan meningkatkan kegunaan limbah sabut.

Saat ini, teknologi otomasi pabrik berkembang pesat. Semua teknologi tersebut digunakan sebagai alat manusia untuk memudahkan pekerjaan manusia. Manusia bahkan dapat mengkalinya dengan menciptakan mesin sebagai alat untuk menghilangkan berbagai masalah mudah lelah, tumpul, dan sering tidak aktif.

Mesin Penghancur Kelapa adalah alat yang digunakan untuk menghancurkan kulit luar (batok kelapa) kelapa menjadi serabut halus (serat) atau yang dikenal dengan coir. Bisa juga dihaluskan untuk membuat rangka kelapa. Coir adalah sabut bagian luar dari kelapa (kelapa), yang biasanya terurai menjadi rambut-rambut panjang keemasan atau coklat. Sebaliknya, coco peat adalah hasil sampingan dari pengolahan coco peat, biasanya berbentuk bubuk/butiran dan berwarna coklat tua. Produk coco peat ini sangat berguna untuk nampan dekoratif, nampan untuk organik dan hidroponik.

#### **2.2 Pemanfaatan Sabut Kelapa**

##### **2.2.1 Serat**

Inovasi konstan dalam penggunaan serat sabut kelapa terus berlanjut. Salah

satunya adalah karet sabut kelapa. Produk ini benar-benar buatan Indonesia. China merupakan penghasil terbesar bisnis kelapa emas ini dan sudah saatnya menjadi andalan Indonesia. Di Indonesia, nama generik produk ini adalah Sebutre (serat kelapa). Perpaduan karet kelapa dan karet alam menghasilkan produk yang berkualitas tinggi.

Sebutret terbuat dari kelapa atau kelapa yang digulung, cetakan kawat dengan ukuran yang diinginkan disemprot atau disemprot dengan campuran karet alam dan dipanggang dalam oven dengan suhu tertentu.

Aplikasi Sebutret digunakan di banyak produk Sebutret seperti Coir Matrass (Coconut Mattress) atau Cocomatras, Coir Sheet atau Cocosheet untuk jok mobil mewah dan pelapis furnitur terapung, jok kapal bahkan jok pesawat. Kegunaan lain dari Squirt adalah sebagai atenuasi studio musik, dengan hasil yang sebanding dengan atenuasi sintetik. Keunggulan Sebutret adalah bobotnya yang ringan dan pori-pori yang besar. Kain kafan memungkinkan sirkulasi udara yang baik, sehingga Anda tidak kepanasan saat sibuk atau tidur larut malam. Dalam kondisi ini, produk seperti Cocomatra bisa sangat membantu dalam meningkatkan kualitas tidur dan mencegah sakit punggung kronis.

Sirkulasi udara kasur kelapa yang baik sangat baik untuk kasur bayi, juga sangat berguna untuk menyerap bau pesing bayi. Kelenturan semprotan membuat produk ini begitu istimewa sehingga tahan lama dan tidak akan melemah atau rusak selama tidak dipanaskan hingga lebih dari 900°C. Keistimewaan lainnya adalah dengan menggunakan produk ini akan memantul di tubuh dan terasa seperti dipijat karena serat keriting yang digunakan. Beberapa produk utamanya adalah:



Gambar 2. 1 Kasur dan bantal Guling Sabutret (wordpress.com).



Gambar 2. 2 Matras olah raga sebutret / CoirMatrass (wordpress.com).



Gambar 2. 3 Jok sabutret untuk Pesawat, mebelair dankapal (wordpress.com)

Akhir-akhir ini penggunaan dan permintaan kelapa pot sebagai media tanam semakin meningkat di pasaran. Pot kelapa adalah pohon palem dan pot lainnya, ada juga yang terbuat dari plastik, semen, tanah liat, dll. Cocopot sangat bermanfaat untuk mencegah kerusakan tanaman, serta kegunaan Cocopot lainnya seperti :

1. Memproteksi akar didalam permukaan lapisan tanah.
2. Keseimbangan suhu dan kelembaban konstant pada tanah.
3. Proteksi ekologi dari hama.
4. 100% dapat didaur ulang dan mempermudah proses pemindahan tanaman.
5. Hemat didalam penggunaan konsumsi air untuk tanaman.

6. Memperpanjang umur tanaman dengan pertumbuhan akar tanaman yang baik.



**Gambar 2. 4 Cocopot (wordpress.com)**

Pemanfaatan cocopot sebagai penanam sangat cocok untuk lahan gersang atau terdegradasi. Tanah kritis seperti bekas tambang sangat cocok untuk ditanami kelapa pot. Sifat cocopot adalah biodegradable (mudah terurai), yang meningkatkan kesuburan tanah dan menambah unsur hara, Dimana cocopot ditanam, penggunaannya akan menyebabkan tumbuhnya tanaman baru, seperti terlihat pada Gambar 2.4.



**Gambar 2. 5 . langkah pemasangan Cocomesh (media.neliti.com)**

### **2.2.2 Mesin Pengurai Sabut Kelapa**

Kecenderungan penggunaan kompos organik berkembang pesat dan semakin disukai untuk tanaman pangan dan tanaman hias karena dapat meningkatkan kesuburan

tanah. Kacang polong merupakan pengganti tanah yang baik bagi pecinta tanaman hias. Kacang polong juga semakin populer sebagai komoditas. Keunggulan sabut kelapa gambut adalah dapat menahan pupuk dan air tiga kali lebih banyak daripada tanah, menjadikan coco peat sebagai pengganti media yang baik.

Untuk menggunakan coco peat, biasanya Anda perlu mencampurnya dengan pupuk. Namun kini cocopeat tersedia dalam bentuk campuran siap pakai berupa Pupuk Organik Cocopeat. Pupuk Organik Cocopeat merupakan campuran dari cocopeat (serbuk kelapa), mist, EM, sekam bakar, pulp kertas dan bekatul molase. Itu dibuat oleh Berbagai campuran pupuk coquette organik memperkaya substrat dengan nutrisi. Nutrisi individu dalam pupuk ini tidak diketahui, tetapi digunakan untuk menanam tanaman tambang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Serbuk (shopee.co.id)

### 2.3 Mesin Pengurai Sabut Kelapa

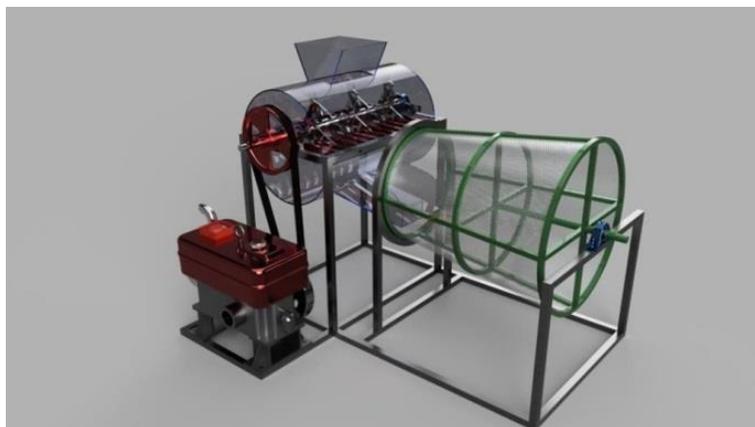
Mesin Pengurai Sabut Kelapa adalah mesin yang menguraikan atau memisahkan serabut kelapa dari lapisan spons atau bubuk, sehingga dihasilkan dua produk yang dapat digunakan sesuai keinginan. Prinsip kerja Alat Penghancur Kelapa ini adalah mencacah serabut dan serbuk dari buah kelapa, yang dimasukkan ke dalam hopper

## Penghancur Kelapa.

Proses dekomposisi pada pengolahan sabut bertujuan untuk memisahkan serat sabut dari cangkang sabut (coir), dan setiap jenis bahan memiliki fungsi dan nilai jual tersendiri. Produk olahan keluar dengan daging ayam dan kulit yang sudah didegradasi, tetapi ini dicampur dan memiliki fungsi dan outletnya sendiri. Artefak berupa telapak tangan dan mangkok bagian luar, namun masih bercampur baur. Mesin tempurung kelapa terbagi menjadi tiga jenis yaitu penggerak utama mesin bensin, sumber tenaga mesin diesel, dan sumber tenaga motor listrik:

1. Sumber tenaga mesin bensin. Mesin kerupuk kelapa bertenaga bensin adalah mesin yang menggunakan bahan bakar bensin untuk memulai operasi penggerak utama. Mesin seperti itu juga dapat digunakan di tempat-tempat di mana pabrik tidak memiliki listrik.
2. Sumber tenaga mesin diesel. Mesin pamarut kelapa yang mesin utamanya menggunakan mesin bensin adalah mesin yang menggunakan bahan bakar solar untuk memulai operasi penggerak utamanya. Mesin seperti itu juga dapat digunakan di tempat-tempat di mana pabrik tidak memiliki listrik. Hanya saja mesin ini lebih besar dan lebih berat dari mesin bensin.
3. Penggunaan utama motor listrik. Mesin pembusuk sabut yang mesin utamanya menggunakan listrik adalah mesin yang tidak menggunakan bahan bakar untuk menghidupkan motor penggeraknya tetapi menggunakan listrik (energi listrik) untuk menghidupkan mesinnya. Mesin seperti ini bekerja secara otomatis dan tidak memerlukan tenaga tambahan untuk menyalakannya. Namun, mesin tersebut bergantung pada listrik dan tidak dapat digunakan di tempat tanpa listrik.

Tingkat kebisingan lebih rendah daripada mesin bensin dan diesel, dan tidak seperti mesin bensin dan diesel, mesin ini tidak menghasilkan asap knalpot, sehingga mesin bebas polusi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Mesin pengurai Sabut Kelapa

## 2.4 Prinsip Kerja Mesin Pengurai Sabut Kelapa

Kerupuk kelapa beroperasi sedemikian rupa sehingga poros penggerak utama (motor) dihubungkan ke pulley dan V-belt untuk menggerakkan poros kerupuk. Bahan baku yang diproses oleh mesin akan keluar secara alami setelah diproses. Bahan baku keluar dengan sendirinya karena tekanan angin, dan putaran kisi-kisi bilah di ruang dekomposisi menghasilkan angin yang mendorong bahan mentah melalui filter berputar yang dipasang di dalamnya. Segi enam berbentuk kerucut memanjang. Keluaran crusher dimaksudkan untuk menghasilkan lebih banyak bubuk kelapa yang dicuci terpisah dari sabut kelapa.

## 2.5 Poros

Poros adalah elemen mekanis yang digunakan untuk mengirimkan daya dari satu tempat ke tempat lain. Poros juga merupakan bagian tetap yang berputar. Poros biasanya memiliki penampang melingkar di mana elemen-elemen seperti roda gigi, katrol, roda gila, roda gigi dan elemen lainnya dipasang.



Gambar 2. 8 Poros (Sumber Solidwoks)

Poros biasanya tunduk pada tekukan, ketegangan, tekanan, atau torsi, bertindak secara individual atau dalam kombinasi. Di bawah ini adalah karakteristik gelombang, jenis gelombang, dan jumlah gelombang.:

a) Sifat gelombang yang harus diperhatikan

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam mendesain poros yaitu:

1. Kekuatan Poros

Poros transmisi tunduk pada beban puntir dan lentur, sehingga kekuatan harus direncanakan terlebih dahulu untuk menahan beban ini. Terlalu banyak defleksi poros yang mengakibatkan ketidakakuratan atau getaran dan kebisingan. Oleh karena itu, kekuatan poros juga harus diperhitungkan dan disesuaikan dengan mesin.

2. Terjemahan Kritis

Untuk alasan keamanan, siklus kerja poros harus lebih kecil dari kecepatan kritis karena getaran sangat besar ketika kecepatan poros dinaikkan ke nilai kecepatan kritis.

3. Koridor

Untuk poros yang sering tidak digunakan dalam jangka waktu yang lama, poros yang terbuat dari bahan tahan korosi harus dipilih dan secara teratur dilindungi dari korosi.

Poros yang biasanya digunakan pada motor terbuat dari baja dengan kandungan karbon yang berbeda.. Klasifikasi bahan poros ditunjukkan pada Tabel 2.1.

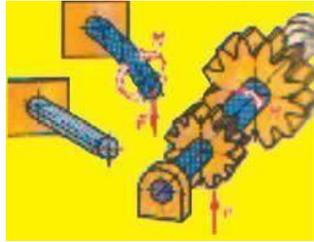
Tabel 2. 1 Penggolongan Bahan Poros (*Sularso, 2004*)

Golongan	Kadar C (%)
Baja Lunak	-0,15
Baja Liat	0,2-0,3
Baja Agak Keras	0,3-0,5
Baja Keras	0,5-0,8
Baja Sangat Keras	0,8-1,2

b) Jenis-jenis poros yang memiliki tugas beban utama

1. Poros dengan Beban Puntir

Sumbu bermuatan puntir adalah sumbu yang memiliki gaya puntir untuk memutar benda lain sesuai dengan fungsinya.



Gambar 2. 9 Poros Beban Puntir (Sumber wawan-mesin.blogspot.com)

2. Poros dengan Beban Lentur Murni

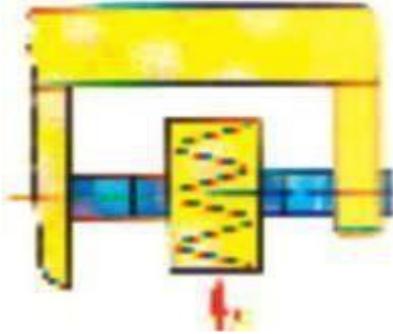
Sumbu fleksi murni adalah sumbu yang menghubungkan gerakan satu mesin tangan dengan mesin tangan lainnya, nah sumbu fleksi murni yang dimaksud adalah persendian tulang-tulang tubuh kita.



Gambar 2. 10 Poros Beban Lentur Murni (Sumber:keluargasepuh86.blogspot.com)

### 3. Poros Beban Puntir dan Lentur

Sumbu beban puntir dan lentur adalah sumbu yang menghubungkan gaya puntir pada benda lain sehingga benda lain tersebut ikut bergerak. Contoh sumbu beban puntir fleksibel adalah rantai mesin, kipas angin, karet.



Gambar 2. 11 Poros Beban Puntir dan Lentur (Sumber keluargasepuh86.com)

#### 2.5.1. Perhitungan Poros

##### a. Menentukan Faktor Koreksi

Tabel 2. 2 Faktor-faktor koreksi daya yang ditransmisikan,  $f_c$  (Sumber : (Sularso & Suga, 2002) *Elemen Mesin.....Hal 7*)

Daya yang akan ditransmisikan	$f_c$
Daya rata-rata yang di perlukan	1,2 – 2,0
Daya maksimum yang diperlukan	0,8 – 1,2
Daya normal	1,0 – 1,5

##### b. Menentukan Daya Rencana ( $P_d$ )

$$P_d = f_c \cdot P \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

$P_d$  = Daya rencana ( $kW$ )

$f_c$  = Faktor koreksi

$P$  = Daya motor penggerak ( $kW$ )

(Sumber. Sularso dan Kiyokatsu Suga *Elemen Mesin... Hal 7*)

c. Menghitung putaran pada poros yang digerakkan ( $n_2$ )

$$d_1 \times n_1 = d_2 \times n_2 \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

$d_1$  = diameter pulley penggerak (mm)  $n_1$  = putaran mesin penggerak (rpm)

$d_2$  = diameter pully yang di gerakan (mm)  $n_2$  = putaran yang di gerakan (rpm)

(sumber : sularso 1987 dasar perencanaan dan pemilihan elemen mesin..hal 166)

d. Menentukan Momen Rencana (T)

$$T_1 = 9,74 \cdot 10^5 \cdot Pd \dots \dots \dots (2.3)$$

$$T_2 = 9,74 \cdot 10^5 \cdot Pd \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

$T_1, T_2$  = Momen rencana

(kg.mm)Pd =

Daya rencana (kW)

$n_1$  = Putaran Poros Penggerak (rpm)

$n_2$  = Putaran Poros yang digerakkan (rpm)

(Sumber. Sularso dan Kiyokatsu Suga Elemen Mesin.....Hal 7)

e. Menentukan Bahan Poros dan Kekuatan Tarik Tabel 2.3 Bahan Poros dan Kekuatan Tarik

Tabel 2. 3 Bahan Poros dan Kekuatan Tarik (Sumber : Sularso dan Kiyokatsu Suga, Elemen Mesin..... Hal 3)

Standar danMacam	Lambang	Perlakuan panas	Kekuatan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Keterangan
Baja karbon konstruksi mesin (JIS G 4501)	S 30 C	Penormalan	48	
	S 35 C	Penormalan	52	
	S 40 C	Penormalan	55	
	S 45 C	Penormalan	58	
	S 50 C	Penormalan	62	
	S 55 C	Penormalan	66	
Batang baja yang	S 35 C – D	-	53	Ditarik, digerinda, dibaut,
	S 45 C – D	-	60	

difinish dingin	S 55 C - D	-	72	atau gabungan antara hal-hal tersebut
-----------------	------------	---	----	---------------------------------------

f. Menentukan Tegangan Geser Yang Diizinkan ( $r_a$ )

$$r_n = \frac{\sigma_B}{Sf_1 \cdot Sf_2} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

$r_a$  = Tegangan gesr yang diizinkan ( $kg/mm^2$ )

$\sigma_B$  = Kekuatan Tarik ( $kg/mm^2$ )

$Sf_1$  = Faktor keamanan untuk bahan

$Sf_2$  = Faktor keamanan untuk kosentrasi tegangan alur pada poros

g. Menentukan Diameter Poros ( $d_s$ )

**1.3 Poros Dengan Beban Puntir**

**Tabel 1.7 Diameter poros.** (Satuan mm)

4	10	*22,4	40	100	*224	400
		24		(105)	240	
		25	42	110	250	420
4,5	*11,2	28	45	*112	260	440
	12	30		120	280	450
5	*12,5	*31,5	48	125	*315	480
		32	50	130	320	500
		35	55	140	340	530
*5,6	14	*35,5	56	150	*355	560
	(15)		60	160	360	600
6	16	38	60	160	380	600
	(17)		63	170		
*6,3	18			180		630
	19			190		
	20			200		
7	22		65	220		
*7,1			70			
			71			
8			75			
			80			
9			85			
			90			
			95			

*Keterangan:* 1. Tanda \* menyatakan bahwa bilangan yang bersangkutan dipilih dari bilangan standar.  
2. Bilangan di dalam kurung hanya dipakai untuk bagian dimana akan dipasang bantalan gelinding.

Gambar 2. 12 Ukuran diameter poros dalam satuan milimeter

$$d_{s1} = \left[ \frac{5,1}{ra} \times Kt \times B \times x_1 \right]^{1/3} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$d_{s2} = \left[ \frac{5,1}{ra} \times Kt \times B \times x_2 \right]^{1/3} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana:

$d_{s1}, d_{s2}$  = diameter poros (mm)

$r_a$  = Tegangan geser ( $kg/mm^2$ )

$K_t$  = Faktor koreksi tumbukan

$C_B$  = Faktor koreksi kelenturan

T = Momen rencana (kg.mm)

(Sumber : Sularso dan Kiyokatsu Suga, *Elemen Mesin..... Hal 8*)

Diameter poros harus dipilih dari Table 2.3. pada tempat dimana akan dipasang bantalan gelinding, pilihlah suatu diameter yang lebih besar dari harga yang cocok didalam Table 2.3 untuk menyesuaikan dengan diameter dalam dari bantalan.

### 2.5.2. Poros Dengan Beban Lentur Murni

As roda tambang dan gerbong tidak mengalami torsi tetapi hanya fleksibel. Jika beban pada suatu sumbu ditentukan oleh berat kendaraan dengan beban tertinggi II2 dikurangi berat sumbu dan roda, maka dapat dihitung besarnya momen lentur  $M_1$  (kg'mm) yang terjadi pada kedudukan roda. - l Tegangan tekuk yang diizinkan oo (kg/menit) dapat ditentukan dari bahan yang dipilih. Momen lentur tahanan poros dengan diameter 4 (--) adalah  $z : (n132)dl \text{ lmm}t;$ , diameter  $d''$  yang dibutuhkan diperoleh dari:

$$\sigma_b = \frac{M_1}{z} - \frac{M_1}{32 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot C_s^3} - \frac{10,2 M_1}{d_s^3}$$

$$d_s = \left[ \frac{10,2}{\sigma_b} M_1 \right]^{\frac{1}{3}}$$

Padahal, selain beban statis, beban dinamis juga bekerja pada poros. Jika perhitungan  $d''$  dilakukan hanya untuk menangkap beban dinamis, faktor keamanan yang lebih besar dapat digunakan untuk menentukan oo dalam persamaan (1.8). beban dinamis arah dan horizontal harus ditambahkan. Untuk beban statis, bagian poros tempat roda hub dipasang disebut kursi roda. Tambahan beban vertikal dan horizontal menciptakan momen di kursi. Poros yang digunakan oleh motor penggerak juga

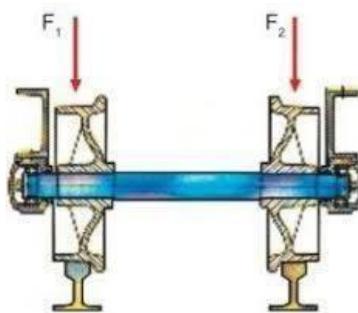
mengalami beban torsi. Akan tetapi, sumbu ini dapat diperlakukan sebagai sumbu pendukung dengan mengalikan ketiga momen di atas (yang disebabkan oleh gaya statis, vertikal, dan horizontal) dengan faktor tambahan (faktor m) dari tabel.

Tabel 2. 4 Faktor Tambahan Tegangan Pada Gambar

Pemakaian gandar	Faktor tambahan tegangan m
Gandar pengikut (tidak termasuk gandar lengan rem cakera)	1,0
Gandar yang digerakkan; ditumpu pada ujungnya	1,1-1,2
Gandar yang digerakkan; lenturan silang	1,1-1,2
Gandar yang digerakkan; lenturan terbuka	1,2-1,

Lambang dari masing-masing bagian perangkat roda diberilcan dalam Gambar

2.12. Rumus perencanaan gandar diberikan dalam JIS 84501. Tata cara perencanaan dengan menggunakan rumus-rumus tersebut ditunjukkan dalam suatu diagram aliran.



Gambar 2. 13 Gandar (Sumber gambar : [www.123dok.com](http://www.123dok.com))

### 2.5.3. Poros Dengan Beban Puntir dan Lentur

Poros mentransmisikan daya melalui sabuk, roda gigi, dan rantai. Dengan cara ini, beban puntir dan lentur diterapkan pada poros, menyebabkan gaya geser  $r$  ( $=T/Zr$ ) akibat torsi  $T$  dan tegangan  $\sigma$  ( $= M/Z$ ) akibat torsi  $T$  pada permukaan poros. Momen klimaks. Untuk material keras seperti poros, teori tegangan geser maksimum dapat digunakan.

$$r_{max} = \frac{\sqrt{\sigma^2 + 4r^2}}{2}$$

Pada poros yang pejal dengan penampang bulat,  $\sigma = 32 M / \pi d^3$  dan  $r = 16 T / \pi d s^3$  sehingga

$$r_{max} = \left(\frac{5,1}{d_s^3}\right) \sqrt{M^2 + T^2}$$

Beban yang bekerja pada poros umumnya merupakan beban siklik. Jika poros dirancang untuk mentransmisikan gaya besar, akan ada guncangan besar selama start dan putaran. Mempertimbangkan sifat beban, sifat bahan, dll., ASME mengusulkan rumus sederhana untuk menghitung diameter poros yang memperhitungkan efek lelah dari beban siklik. Koefisien koreksi momen puntir  $K_r$  yang termasuk dalam persamaan (1.6) juga digunakan di sini. Perhitungan ini tidak menggunakan faktor bending  $C_b$ , melainkan faktor koreksi momen bending yang dihitung dengan  $K_r$ . Untuk sumbu putar dengan beban momen lentur tetap, faktor  $K_r$  adalah sekitar 1,5. Untuk beban kejut ringan  $K_r$  adalah antara 1,5 dan 2,0 dan untuk beban kejut berat  $K_r$  adalah antara 2 dan 3.

## 2.6 Besi Profil L

Profil-L atau besi siku adalah dua jenis persegi panjang: busur sama kaki dan busur tidak sama kaki. Baja siku ini biasanya dijual dalam bentuk batangan yang panjangnya enam meter. Profil ini tersedia dalam berbagai ukuran mulai dari lebar 3 hingga 15 cm. Baja siku cocok untuk aplikasi teknik mesin, seperti membuat rangka mesin, membangun tangga, menara, dan membuat rak. Kelemahan besi bentuk ini adalah kekuatannya dalam menahan beban besar karena cenderung bengkok, sehingga kurang akurat menahan beban desain yang tinggi. Jenis baja siku yang tersedia di pasaran biasanya profil L dengan kode JIS SS00 (ASTM A283). Berikut akan

dijelaskan pada Tabel 2.5. mengenai spesifikasi dari profil L.

**Tabel 2. 5 Spesifikasi ASTM A283 Steel, Grade D**

Spesifikasi Besi Siku ASTM A283	
<i>Density</i>	7,80 g/cc (7800 kg/m <sup>3</sup> )
<i>Tensile Strength</i>	60.200 – 74.700 Psi
<i>Yield Strength</i>	33.400 Psi (230,28 N/mm <sup>2</sup> )

## 2.7 Pulli (Pulley)

Katrol adalah mekanisme yang terdiri dari roda pada proses batang dengan alur di antara dua pelek. Tali, kabel, atau sabuk biasanya digunakan untuk mentransmisikan daya di alur katrol. Jumper digunakan untuk mengubah arah penggunaan, meneruskan gerakan, memutar, dan memindahkan beban berat.

Sweater adalah salah satu dari enam mesin sederhana. Sistem katrol terdiri dari dua atau lebih katrol yang dihubungkan dengan sabuk. Sistem ini memungkinkan daya, torsi, dan kecepatan ditransmisikan melalui diameter katrol yang berbeda, sehingga lebih mudah untuk memindahkan beban berat.

### a. Fungsi pulli

Pulli memiliki fungsi antara lain :

1. Mentransmisikan daya dari penggerak menuju komponen yang digerakkan
2. Mereduksi putaran
3. Mempercepat putaran
4. Memperbesar torsi
5. Memperkecil torsi

### b. Macam-macam Pulli

Ada berbagai macam pulli yang telah dikembangkan. Berikut beberapa macam pulli yang ada dipasaran :

1. Pulli rata (Flat Pulley)

2. Pulli V (V Pulley)
  3. Pulli Poly-V
  4. Pulli sychhromus, dll.
- c. Material pulli

Selain jenisnya yang beragam, material yang digunakan pada pulli juga beragam.

Berikut beberapa material yang digunakan untuk membuat pulli :

1. Baja (Steels)
2. Baja tuang (Cast iron)
3. Allumunium (aluminium)
4. Plastik, dll.



Gambar 2. 14 Pulli (sumber : <https://masmukti.files.wordpress.com>)

### 2.2.3 Perhitungan Pulli

- a. Menentukan Diameter Minimum Pully

Tabel 2. 6 Diameter minimum pully yang diizinkan dan dianjurkan

Penampang		A	B	C	D	E
Di	Ameter minimal yang diizinkan	65	115	175	300	450

(Sumber : Sularso dan Kiyokatsu Suga, Elemen Mesin..... Hal 169)

- b. Menentukan Diameter lingkaran jarak bagi pully ( $d_P, D_P$ ), Diameter luar pully ( $d_K, D_K$ ), dan Diameter naf ( $d_B, D_B$ )

$$d_P = d_{min} \quad (2.12)$$

$$D_P = d_P \cdot I. \quad (2.13)$$

$$d_k = d_P + 2 \cdot K. \quad (2.14)$$

$$D_k = D_p - 2 \cdot K. \quad (2.15)$$

$$d_B \geq \frac{5}{3} x \sigma_{s1} + 10 \quad (2.16)$$

$$d_B \geq \frac{5}{3} x \sigma_{s2} + 10 \quad (2.17)$$

Dimana :

$d_{min}$  = Diameter minimum pully yang diizinkan (mm)

$d_p,$  = Diameter lingkaran jarak bagi pully (mm)

$d_k,$  = Diameter luar pully (mm)

$d_B,$  = Diameter naf (mm)

$d_{s1,2}$  = Diameter poros (mm)

$K$  = Lebar pully bagian luar

$i$  = Perbandingan putaran

(Sumber : Sularso dan Kiyokatsu Suga, *Elemen Mesin..... Hal 177*)

c. Perbandingan putaran yang telah di reduksi (  $i$  )

$$i = \frac{n1}{n2} \quad (2.18)$$

Dimana :

$n1$  = Putaran pully penggerak (rpm)

$n2$  = Putaran pully yang digerakkan (rpm)

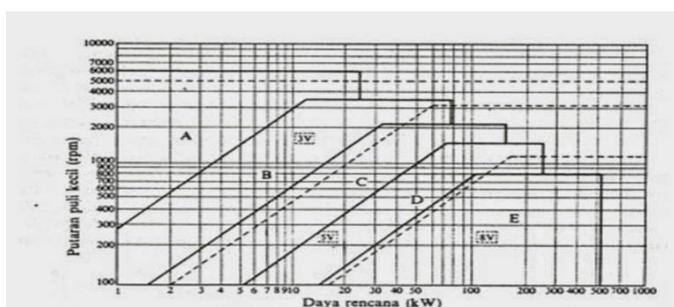
(sumber : sularso 1987 dasar perencanaan dan pemilihan elemen mesin. hal 166)

## 2.8 Sabuk

Fungsi sabuk adalah menghubungkan dua poros yang terpisah dan dapat menggunakan transmisi langsung seperti roda gigi. Salah satu persyaratan utama sabuk adalah koefisien gesekan yang tinggi. Hal ini ditentukan oleh material sabuk (belt) dan material puli. Ikat pinggang terbuat dari bahan yang kuat, lentur dan tahan lama. Transmisi dengan elemen fleksibel dapat diklasifikasikan sebagai transmisi sabuk, transmisi rantai, transmisi kabel atau transmisi tali. Sabuk transmisi daya yang umum digunakan mengambil berbagai bentuk tergantung pada bagaimana mereka digunakan. Di bawah ini adalah deskripsi dari sabuk transmisi:

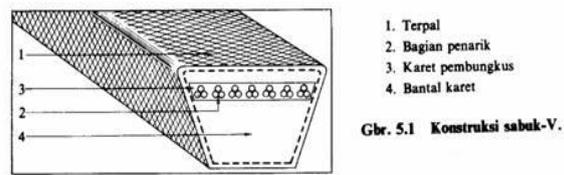
### 1. Transmisi sabuk V

V-belt terbuat dari karet dengan penampang tapesium. Kain Tetran digunakan untuk bahan inti sabuk, dan dapat menahan ketegangan dalam jumlah besar. Umumnya digunakan untuk V-belt cross-sectional karena mudah digunakan dan tidak mahal. Dibandingkan dengan penggerak roda gigi atau rantai, V-belt bekerja dengan tenang dan senyap. Beberapa V-belt dapat digunakan berdampingan untuk meningkatkan daya yang dapat ditransmisikan.

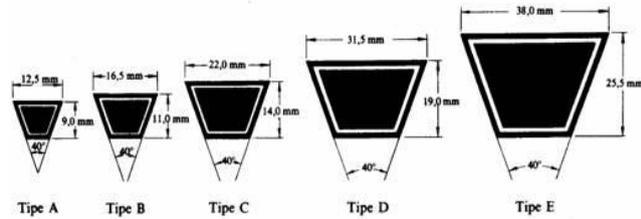


Gambar 2. 15 Diagram Pemilihan Sabuk-V (Sumber: Sulargo)

Ada dua cara untuk menentukan ukuran V-belt: kekuatan desain dan putaran kecil puli yang termasuk dalam desain. Mengetahui kedua hal ini, kita dapat menentukan bagian V-belt yang lebih kecil, seperti yang ditunjukkan pada diagram di bawah ini.



Gbr. 5.1 Konstruksi sabuk-V.



Gambar 2. 16 Ukuran Penampang Sabuk-V (sumber:Sularso)

### 2.8.1. Perhitungan Sabuk

#### a. Kecepatan sabuk

$$V = \frac{n \cdot d_p \cdot n_1}{60 \cdot 1000} \quad (2.19)$$

Dimana:

$V$  = Kecepatan sabuk-V (m/s)

$d_p$  = Diameter pully penggerak (mm)

$n_1$  = Putaran motor penggerak (rpm)

#### b. Panjang keliling sabuk

$$L = 2C + \frac{\pi}{2} (d_p + D_p) + \frac{1}{4C} (D_p + d_p) \quad (2.20)$$

Dimana:

$L$  = Panjang keliling sabuk (mm)

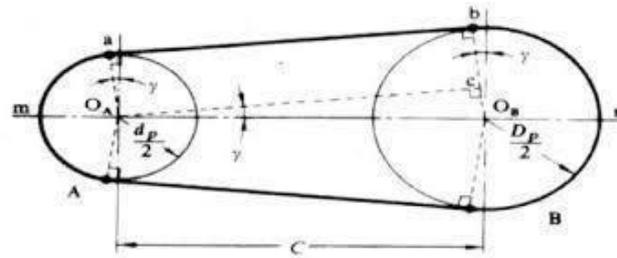
$D_p$  = Diameter pully yang digerakkan

$d_p$  = Diameter pully penggerak

$C$  = Jarak sumbu poros

(Sumber : Sularso dan Kiyokatsu Suga, Elemen Mesin..... Hal 170)

c. **Jarak Sumbu Poros Sebenarnya (C)**



Gambar 2. 17 Jarak Sumbu Poros

$$C = \frac{b + \sqrt{b^2 - 8(D_p - d_p)^2}}{8} \quad (2.21)$$

$$b = 2L - 3,14(D_p + d_p) \quad (2.22)$$

Dimana:

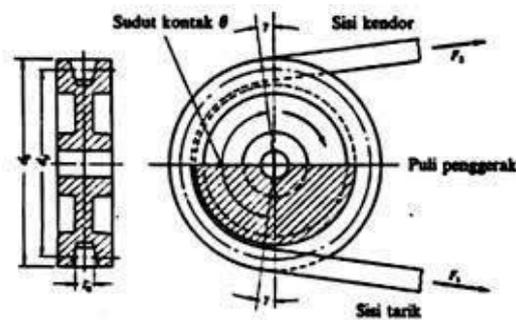
C = Jarak sumbu sebenarnya (mm)

$D_p$  = Diameter pully yang digerakkan (mm)

$d_p$  = Diameter pully penggerak (mm)

(Sumber : Sularso dan Kiyokatsu Suga, Elemen Mesin..... Hal 17)

d. **Menentukan Sudut Kontak Sabuk (□)**



Gambar 2. 18 Jarak Sumbu Poros

$$\theta = 180^\circ - \frac{57(D_P - d_p)}{c} \quad (2.23)$$

Dimana :

$\theta$  = Sudut kontak sabuk ( $^{\circ}$ )

$d_p$  = Diameter Puly penggerak (mm)

$D_p$  = Diameter puly yang digerakkan (mm)

$C$  = Jarak sumbu poros (mm)

(Sumber : Sularso dan Kiyokatsu Suga, Elemen Mesin..... Hal 173)

**e. Menentukan Jumlah Sabuk (N)**

$$N = \frac{P_d}{P_0 \cdot K_{\theta}} \quad (2.24)$$

Dimana :

N = Jumlah sabuk

$P_d$  = Daya rencana (kW)

$P_0$  = Daya yang ditransmisikan dari satu sabuk (kW)

$K_{\theta}$  = Faktor koreksi

(Sumber : Sularso dan Kiyokatsu Suga, Elemen Mesin... Hal 173)

**f. Menentukan  $K_{\theta}$**

**g. Daerah penyetelan jarak sumbu poros**

**Tabel 2. 7 Faktor Koreksi ( $K_{\theta}$ )**

$D_p - d_p$ (C)	Sudut kontak puli kecil ( $^{\circ}$ )	Faktro koreksi ( $K_{\theta}$ )
0,00	180	1,00
0,10	174	0,99
0,20	169	0,97
0,30	163	0,96
0,40	157	0,94
0,50	151	0,93
0,60	145	0,91
0,70	139	0,89
0,80	133	0,87
0,90	127	0,85
1,00	120	0,82
1,10	113	0,80

1,20	106	0,77
1,30	99	0,73
1,40	91	0,70
1,50	83	0,65

Tabel 2. 8 Penyetelan Jarak Sumbu Poros

Nomor Nominal sabuk	Panjang keliling Sabuk	Ke sebelah dalam letak dari standar ▲ci					Ke sebelah luar dari letak standar ▲ci (namun untuk semua tipe)
		A	B	C	D	E	
11-38	280-970	20	25				25
38-60	970-1500	20	25	40			40
60-90	1500-2200	20	35	40			50
90-120	2200-3000	20	25	40			60
120-158	3000-4000	20	35	40	50		70

Tabel 2. 9 Panjang Sabuk V Standar

Nomor nominal		Nomor nominal		Nomor nominal		Nomor nominal	
(inch)	(mm)	(inch)	(mm)	(inch)	(mm)	(inch)	(mm)
10	254	45	1143	80	2032	115	2921
11	279	46	1168	81	2057	116	2946
12	305	47	1194	82	2083	117	2972
13	330	48	1219	83	2108	118	2997
14	356	49	1245	84	2134	119	3023
15	381	50	1270	85	2159	120	3048
16	406	51	1295	86	2184	121	3073
17	432	52	1321	87	2210	122	3099
18	457	53	1346	88	2235	123	3124
19	483	54	1372	89	2261	124	3150
20	508	55	1397	90	2286	125	3175
21	533	56	1422	91	2311	126	3200
22	559	57	1448	92	2337	127	3226
23	584	58	1473	93	2362	128	3251
24	610	59	1499	94	2388	129	3277

25	635	60	1524	95	2413	130	3302
26	660	61	1549	96	2413	130	3302
27	686	62	1575	97	2464	132	3353
28	711	63	1600	98	2489	133	3378
29	737	64	1626	99	2515	134	3404
30	762	65	1651	100	2540	135	3429
31	787	66	1676	101	2565	136	3454
32	813	67	1702	102	2591	137	3480
33	838	68	1727	103	2616	138	3505
34	864	69	1753	104	2642	139	3531
35	889	70	1778	105	2667	140	3556

## 2.9 Bantalan

Bantalan adalah elemen mekanis yang menopang poros di bawah beban sehingga gerakan rotasi atau bolak-baliknya lurus, aman, dan tahan lama. Jika bantalan tidak berfungsi dengan baik, seluruh sistem akan menurun atau tidak berfungsi.

### 2.9.1 Klasifikasi Bahan

Bantalan dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

#### 1. Atas Dasar Gerakan Bantalan Terhadap Poros

##### a. Bantalan luncur.

Pada bantalan ini terjadi gesekan luncur antara poros dan bantalan karena permukaan poros ditumpu oleh permukaan bantalan dengan perantara lapisan pelumas.

##### b. Bantalan Gelinding.

Pada bantalan ini terjadi gesekan gelinding antara bagian yang berputar dengan yang diam melalui elemen gelinding seperti bola (peluru), rol atai rol jarum dan rol bulat.

#### 2. Atas Dasar Arah Beban Terhadap Poros

##### a. Bantalan radial.

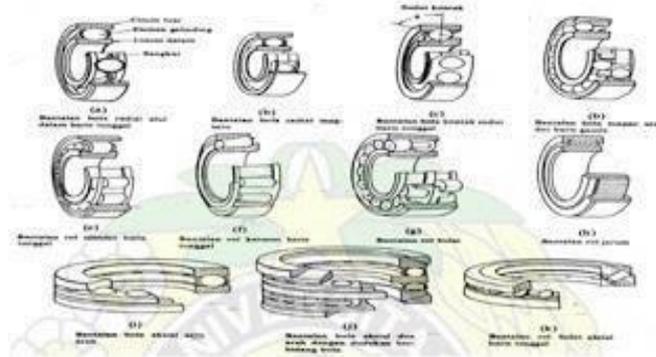
Arah beban yang ditumpu bantalan ini adalah tegak lurus sumbu poros.

b. Bantalan Aksial.

Arah beban bantalan ini sejajar dengan sumbu poros.

c. Bantalan gelinding khusus.

Bantalan ini dapat menumpu beban yang arahnya sejajar dan tegak lurus sumbu poros.



Gambar 2. 19 Jenis-Jenis Bantalan

Saat menentukan bantalan, dapat ditentukan dari diameter poros yang akan digunakan.

Jika diameter poros diketahui, nomor bantalan, jenis bantalan, dan peringkat beban dinamis spesifik dapat ditentukan menggunakan Tabel 2.11 sebagai berikut:

Nomor bantalan			Ukuran luar (mm)				Kapasitas nominal dinamis spesifik C (kg)	Kapasitas nominal statis spesifik C <sub>0</sub> (kg)
Jenis terbuka	Dua sekat	Dua sekat tanpa kontak	d	D	B	r		
6000			10	26	8	0,5	360	196
6001	6001ZZ	6001VV	12	28	8	0,5	400	229
6002	02ZZ	02VV	15	32	9	0,5	440	263
6003	6003ZZ	6003VV	17	35	10	0,5	470	296
6004	04ZZ	04VV	20	42	12	0,5	530	330
6005	05ZZ	05VV	25	47	12	1	735	465
6006	6006ZZ	6006VV	30	55	13	1,5	790	530
6007	07ZZ	07VV	35	62	14	1,5	1030	740
6008	08ZZ	08VV	40	68	15	1,5	1250	915
6009	6009ZZ	6009VV	45	75	16	1,5	1310	1010
6010	10ZZ	10VV	50	80	16	1,5	1640	1320
							1710	1430
6200	6200ZZ	6200VV	10	30	9	1	400	236
6201	01ZZ	01VV	12	32	10	1	535	305
6202	02ZZ	02VV	15	35	11	1	600	360
6203	6203ZZ	6203VV	17	40	12	1	750	460
6204	04ZZ	04VV	20	47	14	1,5	1000	635
6205	05ZZ	05VV	25	52	15	1,5	1100	730
6206	6206ZZ	6206VV	30	62	16	1,5	1530	1050
6207	07ZZ	07VV	35	72	17	2	2010	1430
6208	08ZZ	08VV	40	80	18	2	2380	1690
6209	6209ZZ	6209VV	45	85	19	2	2570	1880
6210	10ZZ	10VV	50	90	20	2	2750	2100
6300	6300ZZ	6300VV	10	35	11	1	635	365
6301	01ZZ	01VV	12	37	12	1,5	760	450
6302	02ZZ	02VV	15	42	13	1,5	895	545
6303	6303ZZ	6303VV	17	47	14	1,5	1070	660
6304	04ZZ	04VV	20	52	15	2	1250	785
6305	05ZZ	05VV	25	62	17	2	1610	1080
6306	6306ZZ	6306VV	30	72	19	2,5	2090	1440
6307	07ZZ	07VV	35	80	20	2,5	2520	1840
6308	08ZZ	08VV	40	90	23	2,5	3200	2300
6309	6309ZZ	6309VV	45	100	25	2,5	4150	3100
6310	10ZZ	10VV	50	110	27	3	4850	3650

Gambar 2. 20 Jenis Bantalan, Kapasitas Nominal Dinamis dan Statis

2.9.2 Perhitungan Bantalan

a. Menentukan jari-jari bantalan dalam

$$Db = \frac{d}{2} \quad (2.25)$$

Dimana:

$d$  = Diameter dalam bantalan (mm)

$Db$  = Jari-jari bantalan dalam (mm)

**b. Menentukan Gaya Radial**

$$T = Fr \cdot Db \dots (2.26)$$

Dimana:

$T$  = Momen rencana (kg.mm)  $Fr$  = Beban radial (kg)

$Db$  = Jari-jari bantalan dalam (mm)

**c. Menentukan Gaya Aksial**

$$F_a = 0 \dots \dots \dots (2.27)$$

**d. Menentukan beban ekuivalen dinamis**

$$(Pr)P = xvf_r + yf_a \quad (2.28)$$

Dimana :

$Pr$  = Beban ekuivalen dinamis (kg)

$X, Y$  = Konstanta

$f_r$  = Beban radial yang dibawah bantalan (kg)  $f_a$  = Beban aksial yang dibawah bantalan (kg)

**e. Menentukan factor kecepatan bantalan**

$$f_n = \left( \frac{33.3}{n} \right)^{1/3} \quad (2.29)$$

Dimana:

$f_n$  = Faktor kecepatan bantalan

$n$  = Putaran poros (rpm)

**f. Menentukan factor umur bantalan**

$$f_h = f_n \frac{c}{p} \quad (2.30)$$

Dimana:

$f_h$  = Faktor umur bantalan

$f_v$  = Faktor kecepatan bantalan

$c$  = Kapasitas nominal dinamis specific (kg)  
 $p$  = Beban ekivalen dinamis (kg)

**g. Menentukan umur nominal bantalan**

$$L_h = 500 f_h^3 \dots \dots \dots (2.31)$$

Dimana:

$L_h$  = Umur nominal bantalan  
 $f_h$  = Faktor umum bantalan

**2.10 Pengelasan**

Pengelasan, menurut definisi German Industrial Standard (DIN), adalah sambungan metalurgi ke sambungan logam atau paduan logam yang dibuat dalam keadaan cair atau cair. Dari definisi ini, pengelasan dapat dijelaskan lebih lanjut sebagai sambungan lokal beberapa batang logam menggunakan energi panas.

Dalam pengertian lain, pengelasan adalah penyambungan dua logam sejenis atau tidak sejenis dengan cara memanaskan (melebur) pada suhu di bawah atau di atas titik leburnya, dengan atau tanpa tekanan, dengan atau tanpa logam pengisi. Tiga kelas utama cetakan adalah pengelasan cair, pengelasan tekanan dan mematri.

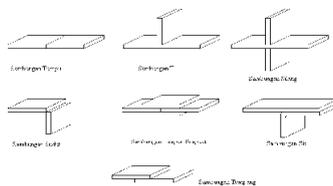
1. Pengelasan cair adalah metode pengelasan dimana bagian yang akan disambung dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik ataupun busur gas.
2. Pengelasan tekan adalah metode pangalasan dimana bagian yang akan disambung dipanaskan sampai lumer (tidak sampai mencair), kemudian ditekan hingga menjadi satu tanpa bahan tambahan.
3. Pematrian adalah cara pengelasan dimana bagian yang akan disambung diikat

dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair yang rendah.

Klasifikasi las berdasarkan sambungan dan bentuk alurnya antara lain:

### 1. Sambungan Las Dasar

Sambungan las pada struktur baja pada dasarnya dibagi menjadi sambungan butt, sambungan tee, sambungan sudut dan sambungan pangkuan. Sebagai perluasan dari sambungan dasar di atas, akan terlihat sambungan lateral, sambungan dengan tulangan, dan sambungan samping, seperti terlihat pada Gambar 2.17 di bawah ini:



Gambar 2. 21 Jenis-Jenis Sambungan Dasar

### 2. Sambungan Tumpul

Sambungan tumpul adalah jenis sambungan las yang paling efisien, sambungan ini terbagi menjadi dua yaitu :

- a. Sambungan penetrasi penuh
- b. Sambungan penetrasi sebagian

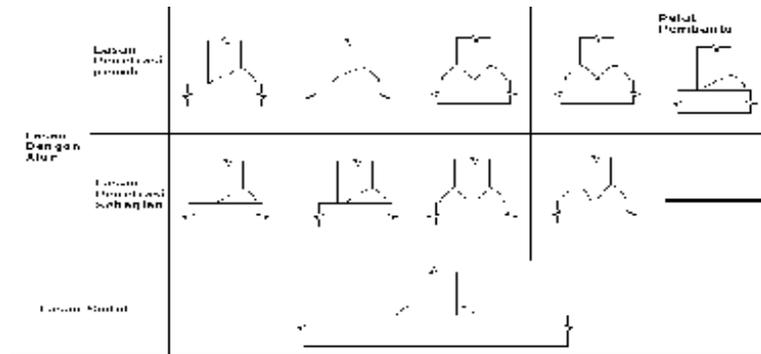
Sambungan penetrasi penuh dibagi lagi menjadi sambungan tanpa panel tambahan dan sambungan dengan panel tambahan. Bentuk alur butt joint sangat mempengaruhi efisiensi kerja dan keamanan sambungan. Pada dasarnya, ketika memilih geometri alur, perhatian harus diberikan untuk mengurangi masukan panas dan logam las ke nilai minimum yang tidak mempengaruhi kualitas sambungan.

### 3. Sambungan Bentuk T dan Bentuk Silang

Sambungan bentuk T dan bentuk silang ini secara garis besar terbagi menjadi dua jenis (seperti pada gambar 2.18), yaitu :

- a) Jenis las dengan alur datar
- b) Jenis las sudut

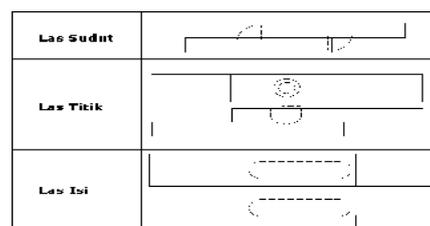
Dalam pelaksanaan pengelasan mungkin ada bagian batang yang menghalangi, hal ini dapat diatasi dengan memperbesar sudut alur.



Gambar 2. 22 Macam-Macam Sambungan T

#### 4. Sambungan Tumpang

Tautan duplikat dibagi menjadi tiga jenis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9. Sambungan pangkuan Jenis sambungan ini kurang efisien dan jarang digunakan untuk sambungan bangunan utama.



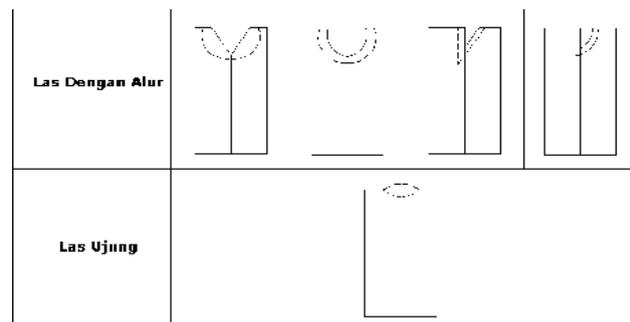
Gambar 2. 23 Sambungan Tumpang

#### 5. Sambungan Sisi

Sambungan sisi dibagi menjadi dua (seperti ditunjukkan pada gambar 2.10), yaitu :

- a) Sambungan las dengan alur : Untuk jenis sambungan ini platnya harus dibuat alur terlebih dahulu.

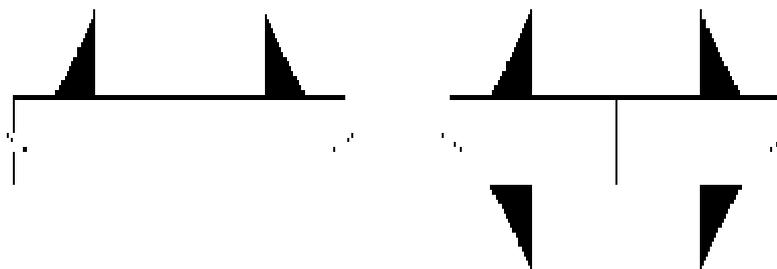
- b) Sambungan las ujung : Sedangkan untuk jenis sambungan ini pengelasan dilakukan pada ujung plat tanpa ada alur. Sambungan las ujung hasilnya kurang memuaskan, kecuali jika dilakukan pada posisi datar dengan aliran listrik yang tinggi. Oleh karena itu, maka pengelasan jenis ini hanya dipakai untuk pengelasan tambahan ataupun pengelasan sementara pada pengelasan plat-plat yang tebal.



Gambar 2. 24 Sambungan Sisi

## 6. Sambungan Dengan Plat Penguat

Sambungan ini dibagi dalam dua jenis yaitu sambungan dengan plat penguat tunggal dan sambungan dengan plat penguat ganda seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11. Sambungan jenis ini mirip dengan sambungan tumpang, maka sambungan jenis ini pun jarang digunakan untuk penyambungan konstruksi utama.



Gambar 2. 25 Sambungan Dengan Penguat

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan las, oleh karena itu penyambungan dalam proses pengelasan harus memenuhi beberapa syarat, antara lain:

- a) Benda yang dilas tersebut harus dapat cair atau lebur oleh panas

- b) Bahwa antara benda-benda padat yang disambungkan tersebut terdapat kesesuaian sifat lasnya sehingga tidak melemahkan atau meninggalkan sambungan tersebut.

Cara-cara penyambungan harus sesuai dengan sifat benda padat dan tujuan dari penyambungannya.

### 2.10.1 Perhitungan Pengelasan

#### a. Menentukan ketebalan las (t)

$$t = s \cdot \sin 45 \quad (2.3)$$

Dimana:

s = lebar lasan (mm)

#### b. Menentukan luas penampang (A)

$$A = t \cdot \ell \dots\dots\dots (2.33)$$

Dimana:

t = Tebal las (mm)

$\ell$  = Panjang benda yang dilas (mm)

#### c. Menentukan kekuatan las (P)

$$P = \sigma \cdot A \dots\dots\dots (2.34)$$

Dimana:

$\sigma$  = Tegangan Tarik bahan kawat las  
A = Luas penampang (mm)

### 2.11 Rumus Kapasitas

$$n_p = \frac{Q}{m \cdot z} \times \frac{1 \text{ jam}}{60 \text{ menit}} \quad (2.35)$$

Dimana:

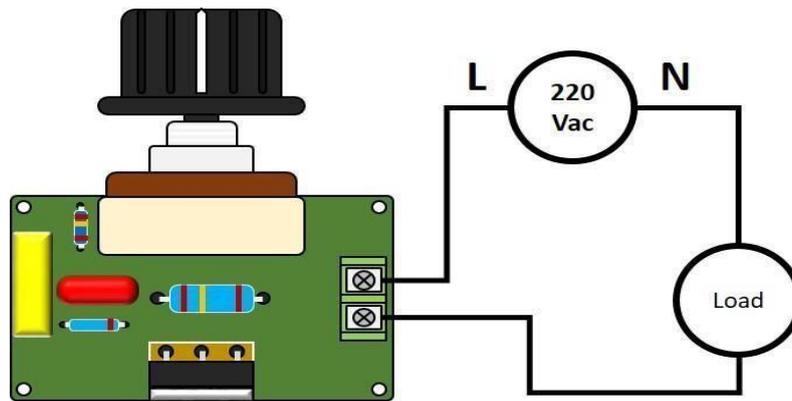
Q = direncanakan

z = direncanakan

m = hasil output

## 2.12 Dimmer

Dimmer adalah sebuah rangkaian komponen elektronika dari input sinyal AC kemudian sinyal tersebut diproses Menjadi sinyal AC Phase maju dari pada sinyal AC inputan, yang menyebabkan Penurunan Daya (Watt).



Gambar 2. 26 Dimmer

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian terdiri dari serangkaian langkah-langkah yang dilakukan secara sistematis untuk memperoleh jawaban atas pertanyaan-pertanyaan tersebut. Selain itu, metodologi penelitian menjadi kerangka logis bagi pengembangan penelitian ini untuk menarik kesimpulan.

#### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

##### 3.2.1 Tempat

Lokasi pembuatan mesin pembuat ampas sabut kelapa ini terletak di bengkel kursus teknik mesin. Politeknik Negeri Samarinda.

##### 3.2.2 Waktu

Tabel 3.1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No	Uraian	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni
1	Penyusunan Proposal	■	■	■			
2	Observasi		■	■	■	■	■
3	Perhitungan			■	■	■	■
4	Rancang Bangun Mesin			■	■	■	■
5	Pengujian Alat						■
6	Pembuatan Laporan			■	■	■	■
7	Pengesahan						■

#### 3.3 Pelaksanaan Pembuatan Alat

Pembuatan perencanaan mesin pengurai sabut kelapa mulai dari penyusunan skripsi sampai dengan selesai membutuhkan waktu kurang lebih  $\pm$  4 bulan.

### 3.4 Alat dan Bahan Yang Digunakan

Tabel 3. 2 Alat Dan Bahan Yang Digunakan

No.	Alat	Bahan
1.	Mesin las	Mesin Diesel 8 Pk
2.	Kunci ring	Dimmer
3.	Roll meter	Pully 8 inch
4.	Kapur	Pully kecil
5.	<i>Cutting wheel</i>	Pillow block UCP 208
6.	Jangka sorong	Ball bering
7.	Apron	Sabuk v
8.	Topeng las	Spring
9.	Sarung tangan las	Plat 5mm
10.	Hammer	Plat 2mm
11.	Gerinda besi	Besi siku 5x5mm
12.	Kuas	Poros S45C
13.	Kunci L	Pasak
14.	Palu	Baut, mur, dan ring

### 3.5 Teknik Pengambilan Data

Langkah – langkah yang digunakan untuk prosedur pengambilan dan pengumpulan data adalah sebagai berikut :

1. Metode observasi langsung

Dalam produksi dan penelitian, faktor keamanan tidak dapat dipisahkan dari benda yang diproduksi dan diperiksa dalam praktek dengan pengamatan langsung. Saat pengumpulan data diperoleh melalui pengamatan langsung dari proses produksi hingga pemeriksaan benda kerja.

2. Metode Literature

Metode pengumpulan data terdiri dari membaca dan mempelajari buku-buku tentang topik yang dibahas dan mengumpulkan beberapa artikel atau majalah dari internet.

### **3.6 Proses Pembuatan**

Suatu proses manufaktur mencakup langkah-langkah yang diambil untuk mencapai suatu hasil. Proses manufaktur menjelaskan bagaimana bahan yang diproduksi diproduksi sesuai dengan desain dan dimasukkan ke dalam Coco Crusher.

#### **3.6.1 Proses Pembuatan Rangka**

Proses pembuatan rangka utama mesin pengurai sabut kelapa antara lain sebagaiberikut.

1. Sediakan besi siku dengan panjang 700 mm sebanyak 4 potong untuk kaki rangka.
2. Sediakan besi siku panjang 1100 mm sebanyak 2 potong untuk konstruksi rangka.
3. Sediakan besi siku dengan panjang 500 mm sebanyak 5 potong untuk tulang rangka bawah dan juga rangka bagian atas agar rangka dapat berbentuk persegi.
4. Selanjutnya lubangin 2 potong besi siku bagian atas sebanyak 2 lubang di sisi kiri dan 2 lubang disisi kanan sebagai baut pengikat pillow block.
5. Sediakan besi siku dengan panjang 600 mm sebanyak 2 potong untuk rangka bagian atas dan buat lubang sebanyak 4 lubang untuk baut pengunci penutup mata pisau.
6. Lalu hubungkan besi siku yang telah di potong tersebut dengan di lakukan pengelasan sehingga rangka berbentuk persegi.
7. Setelah rangka utama sudah terbentuk selanjutnya sediakan besi siku sepanjang 550 mm sebanyak 2 potong untuk dudukan motor. Lalu potong bagian tengah besi siku sepanjang 200 mm dengan lebar 10 mm untuk tempat baut pengunci dan penyetelan motor.

8. Lakukan pengelasan kembali untuk menghubungkan besi siku tersebut ke bagian ujung rangka sebagai tempat dudukan motor.

### **3.6.2 Proses Pembuatan Penutup Mata Pisau**

Berikut ini merupakan langkah-langkah membuat penutup mata pisau:

1. Sediakan Plat besi sepanjang 650 mm dan lebar 550 mm dengan ketebalan plat yang di pakai 2 mm.
2. Sediakan baja siku dengan panjang 600 mm sebanyak 2 potong sebagai penghubung penutup mata pisau dengan rangka, lakukan pengeboran di keduanya sebanyak 4 lubang sebagai tempat baut pengikat.
3. Potong di bagian ujung plat berbentuk persegi dengan panjang 180 mm dan lebar lubang 150 mm sebagai lubang masuk sabut kelapa.
4. Sediakan plat besi dengan panjang 200 mm dan lebar 100 mm, potong plat besi tersebut menjadi 4 bagian sebagai corong masuk. Lalu lakukan pengelasan 4 bagian plat besi tersebut pada lubang yang telah dibuat di plat penutup mata pisau.
5. Sediakan baja Karbon AISI 4340 sepanjang 515 mm sebanyak 34 potong yang berfungsi sebagai tempat keluarnya cocopeat dan pelindung mata pisau. Lakukan pengelasan baja karbon tersebut dibagian rangka atas. Disusun dengan jarak tiap besi selebar 10 mm.
6. Sediakan plat besi sepanjang 633 mm dan dan lebar 50 mm yang berfungsi sebagai penahan dalam pembuangan cocopeat tersebut agar tidak telempar berantakan. Lakukan pengelasan di bagian bawah rangka.
7. Potong plat dengan panjang 470 mm dan lebar 633 mm sebagai penahan cocopeat.

8. Potong plat dengan berbentuk trapezium sebanyak 3 buah yang nantinya sebagai penahan cocopeat dan pemisah antara serabut dan cocopeat.
9. Pembuatan plat besi pengaman mata pisau ini berguna untuk menahan sabut kelapa agar tidak terlempar keluar dan pemisah antara cocopeat dan serabut kelapa agar tidak tercampur.

### **3.6.3 Proses Pembuatan Poros Mata Pisau**

Berikut ini adalah langkah langkah pembuatan poros mata pisau:

1. Sediakan baja AS S45C berdiameter 40 mm sepanjang 560 mm untuk poros mata pisau.
2. Sediakan bearing pillow block diameter 40 mm.
3. Lakukan pembubutan dibagian kanan poros dengan diameter 30 mm sepanjang 160 mm. Lubangi 7 mm di bagian ujung poros sebagai spi dudukan pully sebagai penghubung motor listrik penggerak. Pasang bearing pillow block dibagian kanan dan kiri poros as yang telah selesai dikerjakan.
4. Kemudian pasang poros mata pisau dirangka yang telah selesai.

### **3.6.4 Proses Pembuatan Mata Pisau**

Berikut adalah langkah-langkah pembuatannya:

1. Sediakan baja strip yang nantinya sebagai mata pisau. Potong baja karbon yang telah disediakan dengan panjang 240 mm dan lebar 70 mm sebanyak 15potong.
2. Sediakan plat dengan tebal 5 mm dengan panjang 200 mm dan lebar 140mm sebanyak 3 potong untuk kipas pembuangan sabut kelapa.

### **3.6.5 Proses Pembuatan Puli**

Langkah langkah pembuatan puli

1. Sediakan pully tipe 2 inchi dan 3 inchi

2. Lakukan pembubutan pully 3 inchi tersebut dengan berdiameter 30 mm sesuai dengan poros, dan pully 2 inchi tersebut dengan diameter 19 mm sesuai dengan poros motor penggerak
3. Dan gunakan v-belt tipe A52 panjang 1550 yang berfungsi sebagai penghubung puli penggerak motor dengan puli penggerak poros mata pisau.

### **3.7 Proses Perakitan**

Perakitan adalah tahap akhir dalam proses perancangan dan pembuatan mesin atau alat, dengan menggunakan prosedur atau tindakan untuk mengatur dan memasang bagian-bagian mesin yang telah disatukan dari satu kesatuan menurut pasangannya hingga terciptalah perakitan. Jika Anda siap menggunakannya sesuai dengan fungsi yang direncanakan, harap perhatikan hal-hal berikut sebelum perakitan:

1. Komponen-komponen yang akan dirakit telah selesai dikerjakan dan ukurannya telah sesuai dengan perencanaan awal.
2. Komponen-komponen standart siap pakai atau pun dipasangkan.
3. Mengetahui jumlah yang akan dirakit dan mengetahui cara pemasangannya
4. Mengetahui tempat dan urutan pemasangan dari masing-masing komponen yang akan digunakan.
5. Mempersiapkan semua alat-alat bantu untuk proses perakitan.

Komponen-komponen dari mesin ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin Diesel 8 Pk
2. Pisau pengurai
3. Puli
4. Mur & baut
5. Pillow block

Langkah-langkah perakitan mesin pengurai sabut kelapa adalah sebagai berikut:

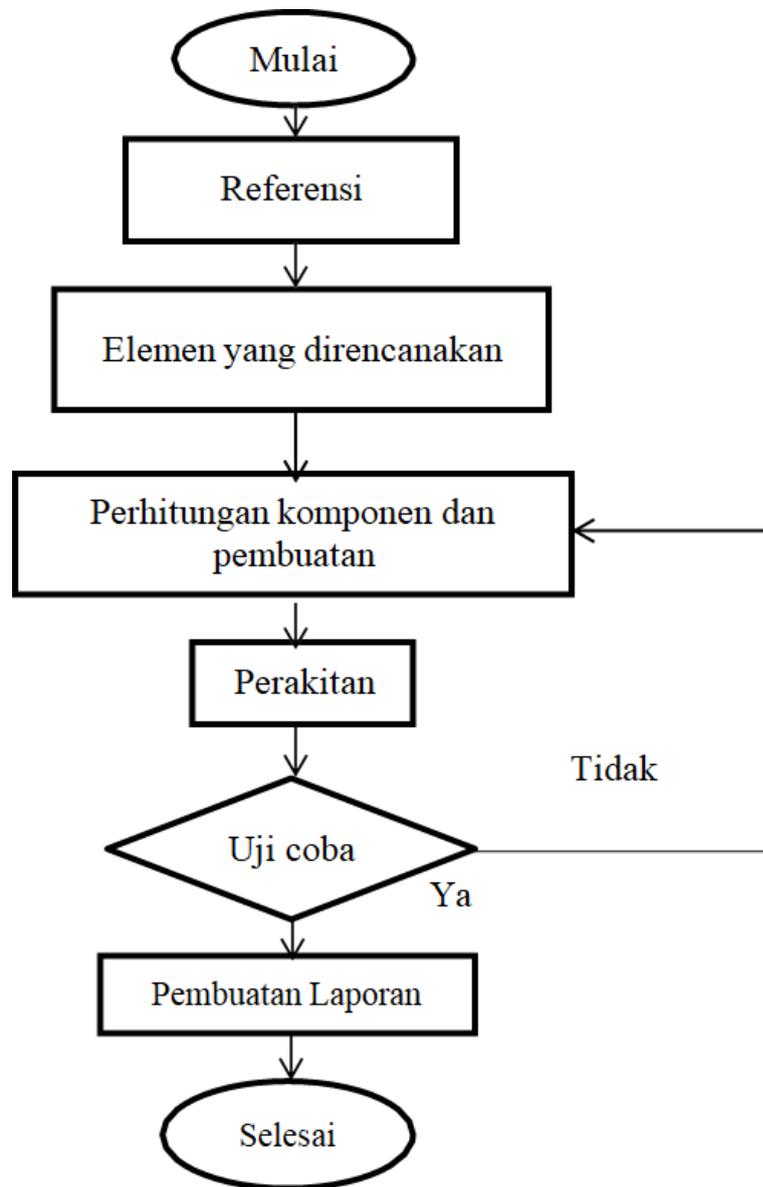
1. Pasang pisau pengurai dibearing lalu dipasang dibagian rangka paling atas kemudian dikencangkan dengan menggunakan mur dan baut
2. Mesin Penggerak dipasang dibagian rangka paling bawah dan sesuaikan denganudukannya, kemudian kencangkan dengan menggunakan mur dan baut dan Puli pada bagian mesin diesel dan puli poros dipasang
3. V-belt dipasang pada pully mesin penggerak dan dihubungkan dengan *pully*
4. pada poros mata pisau
5. Menghidupkan motor listrik

### **3.8 Dasar Pengoperasian**

Dasar pengoperasian mesin pengurai sabut kelapa :

1. Keringkan sabut kelapa sampai kadar air  $\pm 20\%$ .
2. Pastikan peralatan yang akan digunakan telah tersedia dan siap untuk digunakan.(Dianjurkan operator menggunakan masker).
3. Hidupkan mesin pengurai dengan cara menyalakan motor penggerak terlebih dahulu.
4. Masukkan sabut kelapa ke mesin pengurai melalui hopper input secara perlahan.
5. Sabut kelapa akan terurai menjadi cocopeat dan cocofiber.
6. Cocofiber akan keluar melalui hopper keluaran cocofiber dan cocopeat akan keluar melalui hopper keluaran cocopeat setelah melalui penyaring.
7. Setelah proses penguraian selesai, matikan motor penggerak, bersihkan mesin dan letakkan ditempat yang aman.

### 3.9 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Hasil Perancangan**

Perancangan dan pembuatan mesin coir coir ini merupakan hasil penelitian penulis di salah satu Desa Tanah Merah Kecamatan Samarinda Utara Kota Samarinda Kalimantan Timur. Metode penghancuran tradisional masih digunakan saat menghancurkan batok kelapa. Diharapkan dengan menggunakan mesin ini dapat memecahkan kulit luar kelapa untuk meningkatkan kualitas kelapa dan buah kelapa.

Selain itu, alat ini telah dirancang untuk bekerja secara optimal untuk alat ini sesuai dengan desain sebelumnya. Mesin coir dan coir yang dirancang dan diproduksi pada penelitian ini memiliki beberapa bagian penting yang mendukung fungsi kerjanya. Yaitu, H. Motor penggerak, ikat pinggang, katrol, bantalan, poros, dan pisau rol. Ukuran mesin jadi adalah tinggi 107cm, panjang 110cm dan lebar 60cm. Pemilihan alat pemecah batok kelapa dan spesifikasinya mempengaruhi kinerja alat yang dirancang. Bahan yang digunakan dalam perancang dimaksudkan untuk membantu dan mendukung keefektifan alat, tetapi juga untuk membuat bahan baku dalam jumlah besar tersedia. Alat pemecah batok kelapa terdiri dari beberapa bagian:

1. Rangka, pada alat ini terbuat dari besi siku. Fungsi dari rangka untuk menyokong bagian alat yang lain. Rangka alat memiliki dimensi Panjang 110 cm, lebar 60 cm, tinggi 107 cm.
2. Penggerak Mesin Diesel berfungsi sebagai tenaga penggerak. Mesin yang digunakan memiliki daya 8 Pk. dan kecepatan putaran 3000 rpm. Sabuk pada

alat ini menggunakan 1 sabuk. antara mesin penggerak dan poros pengurai menggunakan sabuk type A No. 52.

3. Pulley, pada alat ini menggunakan 2 pulley. pada motor penggerak menggunakan pulley Ø2 inch, pada poros pengurai menggunakan pulley Ø3 inch.
4. Bearing, pada alat ini menggunakan 2 bearing dengan tipe *UCP 208* dengan nomor UC208.
5. Setelan pemisah, untuk mengatur jarak poros pisau dengan dinding setelan pemisah sesuai ukuran rata rata agar *cocopeat* dan *cocofiber* terpisa secara optimal.
6. Poros pisau pengurai *cocopeat* dan *cocofiber*, memiliki panjang 560 mm dan diameter 40 mm.
7. Corong *input*. Berfungsi sebagai tempat penampung kulit luar kelapa. Yang memiliki dimensi Panjang 150 mm, lebar 150 mm, dan tinggi 220mm.
8. Saluran output *cocopeat*, berfungsi untuk outlet pengeluaran hasil serbuk dari sabut kelapa yang telah diurai. Yang memiliki dimensi panjang 350 mm, dan lebar 283 mm
9. Saluran output *cocofiber*, berfungsi untuk outlet pengeluaran hasil serabut kelapa dari sabut kelapa yang telah diurai. Yang memiliki dimensi panjang 400 mm, dan lebar 253 mm ditambah dengan saringan yang terdapat pada pintu saluran output berbentuk selinden mengerucut.

#### **4.2 Pemilihan Bahan**

Memilih bahan yang tepat untuk tujuan tertentu pada dasarnya adalah kombinasi dari berbagai sifat, lingkungan, dan aplikasi sejauh sifat bahan tersebut sesuai dengan

persyaratan. Beberapa karakteristik teknis yang perlu diperhatikan saat memilih bahan. (Ambiyar, 2008: 72).

### **4.3 Pemilihan Bahan Rangka**

Frame adalah komponen yang sangat penting dari coco copyr karena berfungsi sebagai penopang semua komponen yang ada. Berdasarkan persyaratan tersebut, digunakan besi profil L berukuran 50x50x3mm sebagai bahan dasar rangka. Besi berbentuk L terbuat dari baja untuk kekuatan dan daya tahan. Keuntungan dari baja ini termasuk kemampuan las, daya tahan, ketahanan tegangan kontak, ketahanan aus dan ketahanan korosi.

### **4.4 Pemilihan Bahan Poros**

Poros merupakan bagian dari alat penghancur kelapa yang berperan penting dalam sistem transmisi tenaga. Poros ini berfungsi sebagai alat untuk membongkar gulungan dan poros juga berfungsi sebagai transmisi daya untuk rotor distributor. Poros distribusi berbentuk silinder dengan diameter 0 mm dan panjang 560 mm. Poros bongkar dipasang pada dua bantalan simetris. Bahan porosnya adalah baja dan struktur mekanisnya adalah S5C/AISI105/BS970080M0. Berdasarkan nilai kekerasan Brinell di bawah ini, nilai HB untuk baja S5C diperkirakan sebesar 160 kg/mm<sup>2</sup>. Selanjutnya, tegangan tarik material berpori:

$$\begin{aligned}\sigma_B &= 0,345 \times \text{HB} \\ &= 0,345 \times 167 \\ &= 57,6 \rightarrow 58 \text{kg/mm}^2\end{aligned}$$

### **4.5 Prinsip Kerja Alat**

Prinsip kerja alat pengupas kelapa ini adalah pada saat penggerak dihidupkan, motor terus berputar melalui silinder pisau penghancur menuju poros pengupas, dan

putaran ini diteruskan ke poros distributor melalui sabuk dan puli. Tentukan pengaturan pembagian untuk mengatur lebar atau sempitnya batok kelapa.

#### **4.6 Proses Pengurai Sabut Kelapa**

Proses pembongkaran koil dimulai dengan menambahkan koil pada hopper. Setelah kelapa masuk ke dalam corong, proses penghancuran dilakukan dengan cara meniupkan pisau di antara kelapa dan gagang penghancur. Selama penghancuran, pemisahan serat-bubuk terjadi, bubuk dikeluarkan dari rongga melalui saluran keluar depan, serat mengikat pisau penghancur dan dikeluarkan melalui saluran keluar belakang ke filter silinder berbentuk kerucut. Tingkat redaman tergantung pada kecepatan putaran poros difusi, dan tingkat redaman dapat disesuaikan dengan dimer. Kecepatan yang lambat dapat menyebabkan kelapa hancur kurang optimal, dan putaran yang lebih cepat dapat membuat kelapa lebih hancur.

Proses penguraian kelapa dilakukan dua kali dengan kecepatan yang berbeda. Tes pertama menjalankan 1kg coco dengan kecepatan rendah selama 13 menit. Percobaan lain dilakukan dengan berat kelapa yang sama, hanya kecepatan dekomposisi yang berbeda.

#### **4.7 Kapasitas Efektif**

Kapasitas efektif didefinisikan sebagai kemampuan alat untuk menghasilkan satu produk (kg) per satuan waktu (menit). Kapasitas efektif alat dapat dihitung dengan membandingkan waktu dekomposisi dan laju pengupasan koil. Fungsi alat ini ditunjukkan pada Tabel

Tabel 4. 1 Pengujian Alat

Kecepatan	Berat Sabut Kelapa (kg)	Waktu (menit)	cofiber(kg)	copeat(kg)	Sampel
Rendah	1	13	0,5	0,2	
Tinggi	1	10	0,5	0,2	

#### 4.8 Perhitungan Daya Motor Penggerak

Tenaga mesin yang digunakan untuk menggerakkan poros pemotongan harus dipertimbangkan. Tenaga mesin dari poros pemotongan adalah tenaga yang dibutuhkan oleh motor penggerak dibagi dengan efisiensi mekanisme. Sesuai dengan spesifikasi yang direncanakan, kapasitas mesin (m) adalah 15 kg/jam, kecepatan putaran poros mesin bongkar adalah 1400 rpm, dan kecepatan rotor dapat dihitung.:

$$n_2 = \frac{d_1 n_1}{d_2}$$

Dimana:

$n_2$  = Putaran mata pisau (mm)

$d_1$  = diameter puli penggerak (mm)

$n_1$  = putaran mesin (rpm)

$d_2$  = diameter puli mata pisau (mm)

$$n_2 = \frac{50,8 \text{ mm} \cdot 1400 \text{ rpm}}{76,2}$$

$n_2 = 933 \text{ rpm} =$  Mengingat adanya kemungkinan adanya keterbatasan pada sistem maka putarannya ditingkatkan menjadi 1000 rpm.

#### 4.8.1 Perhitungan Daya Motor Penggerak Tanpa beban

Untuk menentukan daya motor penggerak yang dibutuhkan untuk menggerakkan perangkat mesin yang terdiri dari :

1. Daya motor untuk menggerakkan perangkat tanpa beban
2. Daya motor untuk menggerakkan perangkat dengan beban
3. Perhitungan daya motor penggerak tanpa beban

$$P_{tb} = I \cdot \alpha \cdot \omega \quad (2.1)$$

##### a. Menentukan momen inersia pada poros

Di mana diameter poros yang digunakan ditentukan dan diameter 40 mm, hal ini memacu pada bantalan yang digunakan pada mesin ini semuanya berdiameter dalam sebesar 40 mm. sedangkan panjang poros terdiri dari satu bagian, dengan panjang 800 mm, bahan baja dengan massa jenis  $7,93 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ , ditentukan sebagai berikut:

$$I = \frac{1}{32} \cdot \rho \cdot d$$

Dimana:

$\rho$  = Massa jenis poros

$d$  = Diameter poros

$I$  = Panjang poros

$$I = \frac{1}{32} 7,93 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3} \times 40 \text{ mm} \times 560 \text{ mm}$$

$$I = 7,93 \times 10^{-3} \text{ kg/mm}^3$$

##### b. Menentukan momen inersia pully

Pully dianggap 50 % pejal, diameter rata-rata puli adalah  $[(+18) : 2] \times 50 \% = 7 \text{ mm}$ , tebal puli rata-rata adalah 20 mm, sementara jumlah puli sebanyak 2 buah maka tebal total adalah  $(2 \times 20 \text{ mm}) \times 50\% = 20 \text{ mm}$  maka :

$$I = \frac{1}{32} \times \rho \times d$$

$$I = \frac{1}{32} \times 7,93 \times 10^{-6} \frac{kg}{mm^3} \times 7 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$$

$$I = 3,46 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^2$$

**c. Maka momen inersia total**

$$7,93 \times 10^{-6} \frac{kg}{mm^2} + 3,46 \times 10^{-6} \frac{kg}{mm^2} = 11,39 \times 10^{-6} \frac{kg}{mm^2}$$

**d. Menentukan besar  $\alpha$**

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_0}{t}$$

Dimana :

$\omega_f$  = kecepatan sudut akhir

$\omega_0$  = kecepatan sudut awal

T = waktu yang dibutuhkan agar motor berputar pada kondisi konstan ditetapkan selama 5 detik.

Maka:

$$\alpha = \frac{2 \cdot \pi \cdot n/60 - 0}{5}$$

$$\alpha = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1000 \text{ rpm}/60 - 0}{5}$$

$$\alpha = 20,94 \text{ (rad/s)}$$

Sehingga daya penggerak tanpa beban adalah :  $P_{tb} = 11,39 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^2 \cdot (20,94) \cdot ($

$2 \cdot \pi \cdot 1000) / 60 = 0,025 \text{ (kw)} = 25 \text{ watt}$ . Daya motor yang digunakan pada saat tidak

terdapat beban adalah 25 watt.

#### 4.8.2 Perhitungan Daya Motor Penggerak Dengan beban

Untuk mengetahui Daya motor Penggerak dengan beban harus diketahui besar gaya yang dibutuhkan. Kulit luar kelapa yang di masukan ke dalam kotak pengumpan  $\pm$  250 gram, sedang beban penekanan diasumsikan sebesar 3,75 kg. maka gaya yang pada ujung pisau ketika melakukan penguraian adalah sama dengan masa bahan pengumpan ditambah beban penekanan yaitu 4 kg. Pada spesifikasi perencanaan, kapasitas mesin adalah 15 kg/jam sedangkan putaran poros pengurai 1400 rpm. Untuk menentukan daya penggerak yang dibutuhkan adalah:

$$P_b = T \cdot \omega$$

$$T = F \cdot d$$

Dimana

F = Gaya yang bekerja (N)

T = Torsi (N.m)

D = Diameter = 40 mm = 0,04 m (m)

Maka didapat gaya yang bekerja adalah:

$$\begin{aligned} F &= \text{Gaya yang bekerja} = 4 \text{ kg} \times 25,4 \\ &= 101,6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$T = 101,6 \text{ N} \times 0,04 = 4,064 \text{ Nm}$$

Dengan kecepatan sudut putaran adalah:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$$

$$\omega = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1400}{60} = 146,5$$

Maka didapat daya motor penggerak dengan beban:

$$P_b = 4,064 \text{ Nm} \times 146,5 \text{ rad/s}$$

$$P_b = 595,376 \text{ watt} \rightarrow \frac{595,376}{1000} = 0,595 \text{ Kw}$$

Dari hasil perhitungan diatas, diperoleh daya penggerak sebesar 0,59 Kw. Untuk 1 HP = 0,746 Kw, kemudian jika daya yang didapat (Kw) dikonversikan menjadi(HP) maka akan didapat daya sebesar :

$$\frac{0,59 \text{ Kw}}{0,746 \text{ Kw}} = 0,8 \text{ HP}$$

Jadi, Daya Mesin Penggerak (P) yang dibutuhkan adalah 0,8 HP.

#### 4.9 Sistem Transmisi Sabuk dan Pully

Sistem transmisi pada mesin pengurai sabut kelapa adalah dengan pully, dengan putaranmotor 1400 rpm. Data-data pada mesin yang dirancang :

1. Pully motor penggerak Ø 2 inch ( 50,8 mm )
2. Pully yang digerakan Ø 3 inch ( 76,2 mm )

Dengan mengabaikan slip pada sabuk maka jumlah putaran pada masing-masing puli adalah sebagai berikut:

$$d_{p1}n_1 = d_{p2}.n_2$$

$$n = n_1 \times \frac{d_1}{d_2}$$

Dimana:

$d_1$  = diameter pully penggerak

$n_1$  = putaran pully penggerak

$d_2$  = diameter pully yang digerakkan

$n_2$  = putaran pully yang digerakkan

Putaran pada pully pengiris adalah :

$$n_2 = n_1 \times \frac{d_1}{d_2} = 1400 \times \frac{50,8}{76,2} = 933,3$$

Diameter puli diatas merupakan ( $d_k$ ) diameter luar puli, maka untuk menentukan diameter nominal puli ( $d_p$ ) adalah :

$$d_{p1} = d_{k1} - t = 50,8 - 9,5 = 41,3 \text{ mm}$$

$$d_{p2} = 76,2 - 9,5 = 66,7 \text{ mm}$$

Kecepatan linear sabuk dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$V = \frac{d_1 \times n_1}{60 \times 1000}$$

Dimana :

$d_{p1}$  = Diameter puli penggerak

n = Putaran motor penggerak

v = Kecepatan linear sabuk

$$V = \frac{50,8 \text{ mm} \times 1400 \text{ rpm}}{60 \times 1000} = 3,72 \text{ m/s}$$

Panjang sabuk rencana (L) dapat dihitung sebagai berikut:

$$L = 2 \times c_1 + \frac{\pi}{2} (d_{p1} + D_{p1}) + \frac{1}{4c} (D_{p1} - d_{p1})^2$$

Dimana :

C = jarak antara sumbu kedua poros (mm)

$D_{p1}$  = diameter puli penggerak (mm)

$D_{p2}$  = diameter puli yang di gerakkan (mm)

$$L = 2 \times 560 \text{ mm} + \frac{3,14}{2} (50,8 \text{ mm} + 76,2 \text{ mm}) + \frac{1}{4.560 \text{ mm}} (76,2 \text{ mm} - 50,8 \text{ mm})^2$$

$$L = 1319,67 \text{ mm} \rightarrow 1319 \text{ mm (A52)}$$

Jadi, hasil perhitungan panjang *v-belt* (sabuk) yang didapat adalah 1319,67mm sehingga dipilih yang mendekati hasil tersebut adalah tipe *v-belt* (sabuk) A52 dengan panjang 1319 mm sesuai dengan tabel pemilihan nomor sabuk. maka jarak sumbu poros dapat

dihitung sebagai berikut :

$$b = 2 \times L - 3,14 (D_p - d_p)$$

$$C = \frac{b + \sqrt{b^2 - 8 \times (D_p - d_p) \times 2}}{8}$$

$$b = 2.1319 \text{ mm} - 3,14 (76,2 \text{ mm} - 50,8 \text{ mm})$$

$$b = 2558,244 \text{ mm}$$

$$C = \frac{2558,244 + \sqrt{2558,244^2 - 8 \times (76,2 \text{ mm} - 50,8 \text{ mm}) \times 2}}{8}$$

$$C = 639,434 \text{ mm}$$

#### 4.10 Kekuatan Poros

Poros pada pully yang digerakan adalah poros pemutar pisau berdiameter 30mm. Bahan poros diperkirakan dari baja karbon S45C dengan kekuatan tarik ( $\sigma_B$ ) = 58 kg/mm<sup>2</sup>, maka  $ra$  adalah :

$$ra = \frac{\sigma_B}{sf_1 \times sf_2}$$

Dimana :  $ra$  = Tegangan Geser Izin ( kg.mm )

$\sigma_B$  = Kekuatan tarik ( kg / mm<sup>2</sup> )

$Sf_1$  = Faktor keamanan bahan,

SF = 5,6

S-C = 6,0 bila pengaruh masa dan baja paduan

$Sf_2$  = Faktor keamanan akibat alur pasak (1,3 / 3,0)

$$ra = \frac{58 \text{ kg/mm}^2}{6 \times 2} = 4,8 \text{ kg/mm}^2$$

Untuk daya perencana (Pd) adalah:

$$P_d = f_c \cdot P$$

Dimana :

$f_c$  = Faktor koreksi terlihat pada Tabel 2.1 diambil 1

$P$  = Daya Mesin Penggerak = 8 Pk = 5,88 Kw

$$P_d = 5,88 \times 0,595 = 3,47 \text{ Kw}$$

Torsi (kg.mm) adalah :

$$T = \frac{Pd}{\omega}$$

$$T = \frac{Pd \times 102 \times 60 \times 1000}{2\pi n}$$

$$T = 9,74 \times 10^5 \times \frac{P_d}{2\pi n}$$

Dimana:

$$\omega = \text{kecepatan sudut} = \frac{2\pi n}{60} \text{ rad/s}$$

$P$  = Daya ( kw )

$T$  = Torsi ( kg.mm )

Maka didapat Torsi adalah :

$$T = 9,74 \times 10^5 \times \frac{0,595}{1400} = 413,9 \text{ Kg.mm}$$

Tegangan geser yang timbul :

$$r = \frac{5,1 T}{d_s} = \frac{5,1 \times 413,9 \text{ kg.mm}}{40^3} = 0,03 \text{ kg/mm}^2$$

#### 4.10.1. Menentukan Diameter Poros

$$d_s = \left[ \frac{5,1}{4,8} \times 3 \times 2,3 \times 413,9 \right]^{1/3} = 14,4 \text{ mm}$$

Dari perhitungan diatas, didapat diameter poros adalah 14,4 mm, namun dengan

pertimbangan ukuran diameter bearing yang digunakan 40 mm, maka diameter poros yang akan digunakan yaitu 40 mm.

#### 4.11. Perhitungan Pasak

Data-data yang di ketahui dalam perhitungan pasak adalah sebagai berikut : Diameter

poros = 14,4 mm

Lebar pasak = 7 mm (dipilih dari tabel)

$\sigma_B$  = 20 kg/mm<sup>2</sup>

Faktor keamanan ( $sfk_1$ ) = 6

Faktor keamanan ( $sfk_2$ ) = 1.5

##### 4.11.11. Menentukan Panjang Pasak

Berdasarkan persamaan 2.28 Maka dapat dihitung sebagai berikut :

$$l = 0,8 \times d_s$$

$$l = 0,8 \times 14,4 \text{ mm}$$

$$l = 11,52 \text{ mm}$$

##### 4.11.12. Pemeriksaan Panjang Pasak

Berdasarkan persamaan 2.29 Maka dapat dihitung sebagai berikut :

$$0,75 \leq \frac{l}{d_s} \leq 1,5 = 0,78 \text{ (memenuhi syarat)}$$

##### 4.11.13. Tegangan Geser yang diizinkan

$$\sigma_k = \frac{\sigma_B}{sfk} = \frac{20}{61,5} = 2,2 \text{ kg/mm}^2$$

##### 4.11.14. Gaya Tangensial Yang Terjadi

$$F_t = \frac{T}{d} = \frac{413,9}{\frac{14,4}{2}} = 57,48 \text{ kg/mm}^2$$

#### 4.11.15. Tegangan Geser Yang Terjadi Pada Pasak

Berdasarkan persamaan 2.32 Maka dapat dihitung sebagai berikut :

$$\sigma_p = \frac{Ft}{b.i} = \frac{57,48}{7 \times 11,52} = 0,712 \text{ kg/mm}^2$$

#### 4.12. Perhitungan Bantalin

##### 4.12.1. Menentukan Gaya Aksial Pada Bantalan (F)

Berdasarkan persamaan (2.27) menentukan gaya aksial bantalan (F) Diketahui :

$$F_a = C_o \times 0,056 = 1650 \times 0,056 = 92,4 \text{ kg}$$

$$F_r = \frac{F_a}{v \times e} = \frac{92,4}{2 \times 0,26} = 177,692 \text{ kg}$$

$$F = \frac{F_a}{F_r} = \frac{92,4}{177,692} = 0,520 \text{ kg}$$

##### 4.12.2. Menentukan Beban Ekuivalen Dinamis (P)

Berdasarkan persamaan (2.28) menentukan beban ekuivalen dinamis (P).

Diketahui :

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

$$= (0,56 \cdot 177,692) + (1,71 \cdot 92,4)$$

$$= 257,51 \text{ Kg}$$

##### 4.12.3. Menentukan beban ekuivalen statis (Po)

Berdasarkan persamaan (2.29) menentukan beban ekuivalen statis (Po) Diketahui :

$$P_o = X_o \cdot F_r + Y_o \cdot F_a$$

$$P_o = (0,6 \times 177,692) + (0,5 \times 92,4) = 152,81 \text{ kg}$$

##### 4.12.4. Menentukan Faktor Kecepatan (fn)

Berdasarkan persamaan (2.30) menentukan faktor kecepatan (fn).Diketahui :

$$f_n = \left(\frac{33,3}{n^2}\right)^{1/3} = \left(\frac{33,3}{933,3}\right)^{1/3} = 0,329$$

#### 4.12.5. Menentukan Faktor Umur (fh)

Berdasarkan persamaan (2.31) menentukan faktor umur bantalan (fh)

$$f_h = f_n \cdot \frac{c}{p} = 0,329 \cdot \frac{2380}{257,51} = 3,040$$

#### 4.12.6. Menentukan Umur Nominal Bantalan (Lh)

Berdasarkan persamaan (2.32) menentukan umur nominal bantalan (L<sub>h</sub>) Diketahui :

$L_h = 500 \cdot (f_h)^3 = 500 \cdot (3,040)^3 = 14.047 \text{ jam}$  1 tahun 6 bulan umur bearing dapat bertahan apabila maintenance preventivenya rutin.

### 4.13. Perlindungan Kekuatan Sambungan Las

Untuk menyambung rangka, digunakan jenis sambungan tetap (pengelasan). Jenis las yang digunakan yaitu las SMAW (*shielded Metal Arc Welding*) dengan menggunakan elektroda merek *kobe steel* RB-26 size 2,6mm. Adapun Analisa perhitungan untuk menentukan kekuatan pengelasan pada rangka menggunakan rumus pada halaman 56 adalah sebagai berikut:

#### 4.13.1. Menghitung Tebal Las (t)

Berdasarkan persamaan (2.33) tebal las pada bagian dudukan mesin (t<sub>1</sub>)

Diketahui :

Lebar Pengelasan dudukan mesin (s<sub>1</sub>) : 7 mm

$$\begin{aligned} t_1 &= 0,707 \times s_1 \\ &= 0,707 \times 7 \\ &= 4,949 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan (2.33) tebal las pada bagian rangka mesin (t<sub>2</sub>)

Diketahui :

Kekuatan elektroda RB-26 size 2,6 mm : 42 kg/mm<sup>2</sup>

Lebar Pengelasan rangka mesin (s<sub>2</sub>) : 5 mm

$$t_2 = 0,707 \times s_2$$

$$= 0,707 \times 5$$

$$= 5,535 \text{ mm}$$

Jadi, tebal pengelasan pada dudukan mesin ( $t_1$ ) = 4,949 mm dan tebal lasuntuk bagian rangka mesin ( $t_2$ ) = 5,535 mm.

#### **4.13.2. Menghitung Luas Area Las (A)**

Berdasarkan persamaan (2.34) luas area las pada bagian dudukan mesin( $A_1$ )

Diketahui :

Tebal pengelasan ( $t_1$ ) : 4,949 mm

Panjang pengelasan dudukan mesin ( $I_1$ ) : 850 mm

$$A_1 = t_1 \times I_1$$

$$= 4,949 \times 850$$

$$= 4\,206,65 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan persamaan (2.34) luas area las pada bagian rangka mesin( $A_2$ )

Diketahui :

Tebal pengelasan ( $t_2$ ) : 5,535 mm

Panjang pengelasan rangka mesin ( $I_2$ ) : 3 550 mm

$$A_2 = t_2 \times I_2$$

$$= 5,535 \times 3\,550$$

$$= 19\,649,25 \text{ mm}^2$$

Jadi, luas area las pada bagian dudukan mesin ( $A_1$ ) = 4 206,65  $mm^2$  dan luas area las pada bagian rangka mesin ( $A_2$ ) = 19 649,25  $mm^2$ .

#### **4.13.3. Menghitung Beban Yang Mampu Ditahan (P)**

Berdasarkan persamaan (2.35) beban ditahan pada bagian dudukan mesin( $P_1$ )

Diketahui :

Kekuatan elektroda RB-26 size 2,6 mm ( $\sigma_b$ ) :  $\frac{42}{6} \text{ kg/mm}^2$

Luas area las dudukan mesin ( $A_1$ ) : 4 206,65 mm<sup>2</sup>

$$P_1 = \sigma_b \times A_i = \frac{42}{6} \times 4\,206,65 = 29\,446,55 \text{ kg (satu titik pengelasan)}$$

Dikarenakan terdapat 17 titik pengelasan pada bagian dudukan mesin, maka untuk mengetahui kekuatan seluruhnya yaitu :

$$P_{all} = P \times 17$$

$$= 29\,446,55 \text{ kg} \times 17 = 500\,591,35 \text{ kg}$$

Berdasarkan Analisa perhitungan diatas, beban yang dapat ditahan oleh hasil pengelasan pada bagian dudukan mesin ( 17 titik las ) adalah sebesar 500 591,35 kg.

Berdasarkan persamaan (2.35) beban ditahan pada bagian rangka mesin( $P_2$ )Diketahui :

Kekuatan elektroda RB-26 size 2,6 mm ( $\sigma_b$ ) : 42 kg/mm<sup>2</sup> Luas area las rangka mesin ( $A_2$ ) : 19 649,25 mm<sup>2</sup>

$$P_2 = \sigma_b \times A_2 = \frac{42}{6} \times 19\,649,25 = 137\,544,75 \text{ (satu titik pengelasan)}$$

Dikarenakan terdapat 71 titik pengelasan pada bagian sambungan rangka, maka untuk mengetahui kekuatan seluruhnya yaitu :

$$p_{all} = p \times 71$$

$$= 137\,544,75 \text{ kg} \times 71 = 9\,765\,677,25 \text{ kg}$$

Berdasarkan Analisa perhitungan diatas, beban yang dapat ditahan oleh hasil pengelasan pada sambungan rangka (71 titik las) adalah sebesar 9 765 677,25 kg.

#### 4.14. Perhitungan Kapasitas

Waktu total dari pengujian putaran tinggi sabut kelapa adalah 10 menit. Untuk menghitung kapasitas produksi digunakan persamaan:  $K_a = B_k / t$  dengan kapasitas = 1

kg / 10 menit, kapasitas = 0,1 kg/menit. Dan kapasitas = 6 kg/jam. Waktu total dari pengujian putaran rendah sabut kelapa adalah 13 menit. Untuk menghitung kapasitas produksi digunakan persamaan:  $K_a = B_k / t$  dengan kapasitas = 1 kg / 13 menit, kapasitas = 0,08 kg/menit, dan kapasitas = 4,8 kg/jam. Berdasarkan hasil pengujian mesin pengurai sabut kelapa di atas maka hasil pengujian mesin ini mampu menguraikan sabut kelapa dengan sangat baik, mesin pengurai sabut kelapa ini mampu menguraikan sabut seberat 1 kg dengan waktu 13 menit pada putaran rendah, 10 menit pada putaran tinggi. Jadi jika kita jumlahkan hasil pengujian mesin ini waktu rata-rata yang didapat adalah 11:30 menit dengan kapasitas rata-rata mesin ini adalah 5,4 kg/jam. Kondisi mesin pada saat percobaan dilakukan mesin mengalami getaran, sehingga berpengaruh terhadap kualitas hasil penguraian sabut kelapa. Hal tersebut disebabkan dudukan mesin yang tidak dipasang secara permanen. Kemudian untuk mendapatkan kualitas serat yang bagus maka harus dilakukan 2 kali proses penguraian. Kemudian, karena penggerak menggunakan listrik maka penggunaannya harus diestimasi.

#### **4.15. Etika dan Keselamatan Kerja**

Salah satu cara pencegahan terjadinya kecelakaan kerja yakni dengan membangun kesadaran serta pemahaman yang baik terkait dengan Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3). Sudah menjadi kewajiban instansi pendidikan untuk dapat menumbuhkan budaya K3, budaya bersih, indah dan tertib sehingga tercipta lingkungan yang kondusif bagi peserta didiknya. Untuk mendukung implementasi K3 yang baik, perlu perencanaan guna mencapai hasil yang optimal dalam mendukung kegiatan belajar mengajar. Oleh karena itu, disusunlah buku Belajar dan Bekerja yang Aman – Edukasi Keselamatan Kerja di SMK Permesinan dan Konstruksi sebagai salah satu panduan tambahan bagi sekolah, khususnya di bidang Permesinan dan konstruksi untuk

menerapkan perilaku keselamatan kerja. Tidak hanya bagi pengajar, para pengelola diharapkan dapat memahami hal tersebut, baik saat masih menjalani pendidikan di SMK maupun setelahnya. Apabila K3 terlaksana dengan baik maka kasus kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja dapat ditekan sehingga dapat tercapai suasana kerja yang aman, nyaman, sehat dan meningkatnya produktivitas kerja, pertumbuhan ekonomi nasional dan daya saing global.(AWK1980)

Dalam proses pembuatan mesin Cocopeat dan Cocofiber selalu mengutamakan keselamatan kerja seperti gambar berikut:



**Gambar 4. 1 Keselamatan Kerja**

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Mesin yang tertera di atas merupakan mesin pemecah kelapa yang telah berhasil diproduksi dan memiliki beberapa spesifikasi. Mesin yang berhasil diproduksi memiliki motor listrik dengan tenaga 8Pk dan kecepatan 1400 rpm, kecepatan maksimum mixer 1000 rpm, serta pulley dan V-belt sebagai transmisi tenaga. Tambang sabut kelapa 15 kg/jam dan memiliki 15 bilah. Mengenai dimensi alat yaitu panjang 1110mm, lebar 600mm dan tinggi 1067mm. Perancangan Mesin Kerupuk Kelapa memberikan informasi sebagai berikut :

- a. Dari pengujian putaran tinggi sabut kelapa adalah 10 menit. Untuk menghitung kapasitas produksi digunakan persamaan:  $Ka = Bk / t$  dengan kapasitas = 1 kg / 10menit, kapasitas = 0,1 kg/menit. Dan kapasitas = 6 kg/jam.
- b. Dari pengujian putaran rendah sabut kelapa adalah 13 menit. Untuk menghitung kapasitas produksi digunakan persamaan:  $Ka = Bk / t$  dengan kapasitas = 1 kg / 13 menit, kapasitas = 0,08 kg/menit, dan kapasitas = 4,8 kg/jam. Berdasarkan hasil pengujian mesin pengurai sabut kelapa di atas maka hasil pengujian mesin ini mampu menguraikan sabut kelapa dengan sangat baik.

#### **5.2 Saran**

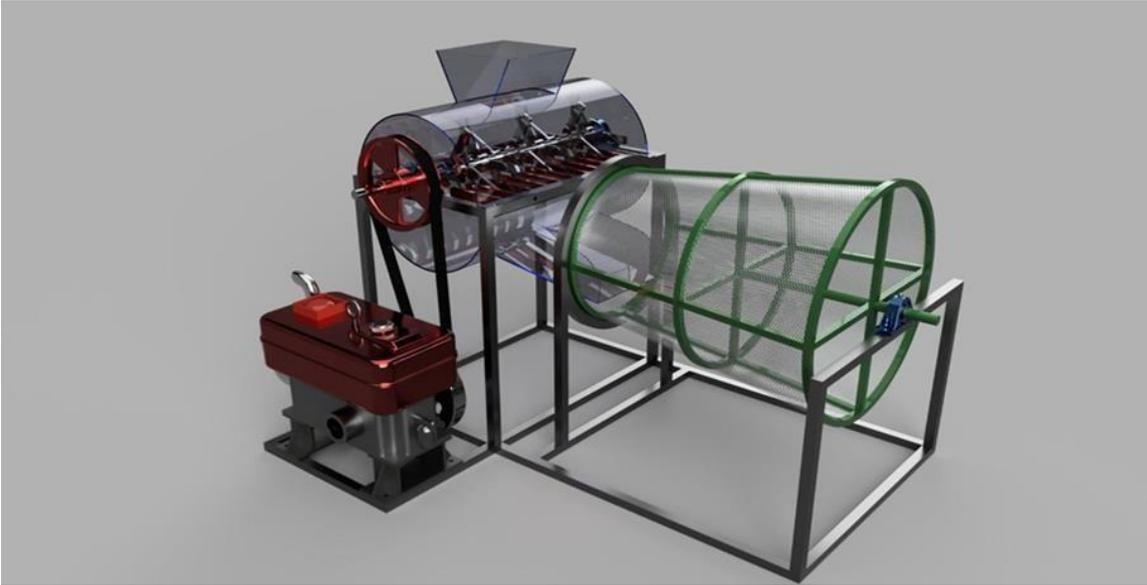
Adapun beberapa saran yang dapat diberikan untuk mengembangkan mesin *cocopeat* dan *cocofiber* ini dengan segala pertimbangannya, agar lebih menyempurkan alat tersebut :

1. Perlunya penutup atau pelindung pada bagian transmisi, agar keamanan pekerja lebih terjamin.
2. Membuatkan roda bagian pada bagian bawah rangka dan bagian bawah pada dudukan mesin agar lebih mudah saat ingin berpindah tempat.
3. Perlunya penampung bak atau wadah agar *cocopeat* dan *cocofiber* tidak berserakan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ferdian.,(2009)Perencanaan Dan Pembuatan Mesin Pengurai Sabut Kelapa.Laporan Tugas Akhir: Fakultas Teknik Mesin, Surabaya :Universitas Petra Cristiani Universitas Surabaya.
- Hendra Mardian, dan Agus Sentana, DS and Endang Ahdi, DS (2013) ModifikasiMesin Pengurai Sabut Kelapa. Laporan Tugas Akhir: Fakultas Teknik Mesin,Universitas Pasunda.
- Hari Purnomo dan Dian Janari.(2015) Rancang Bangun Mesin Pengupas,Penghancur Dan Pengayak Sabut Kelapa. Laporan Tugas Akhir: Fakultas Teknik Industri. Universitas Islam Indonesia.
- Ingeneta Wille Cicilia. (2018)Perancangan Mesin Pengupas Sabut Kelapa.. Laporan Tugas Akhir. Fakultas Teknik Industri Surabaya:Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya.
- Listiana ambrawati,(2016)Perancangan Dan Pembuatan Simulasi 3D Mesin Sabut Kelapa Diperusahaan Wartono Mesin.Laporan Tugas Akhir,Yogyakarta: Fakultas Teknik Informatika,Universitas AMIKOM Yogyakarta.
- Nuriyadi,Yohanes.(2017)Perancangan Mesin Pengurai Sabut Kelapa Berbasiskan Metode Quality Function Deployment(QFD).Laporan Tugas Akhir,PekanBaru: Universitas Riau.
- Sularso dan Kiyotsu Suga, (2008)Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

## LAMPIRAN



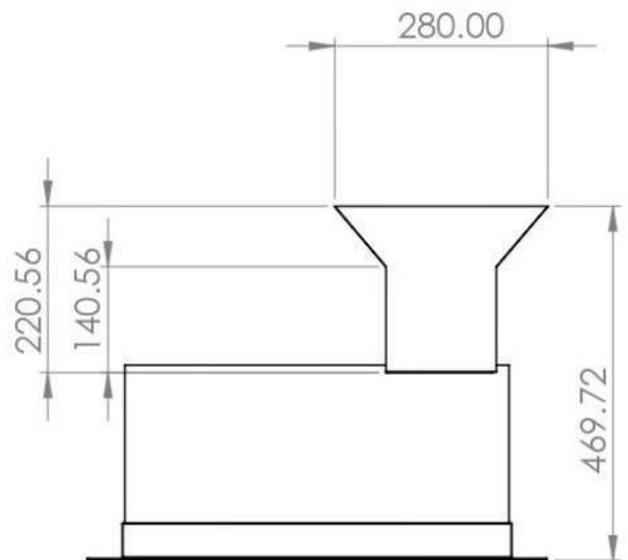
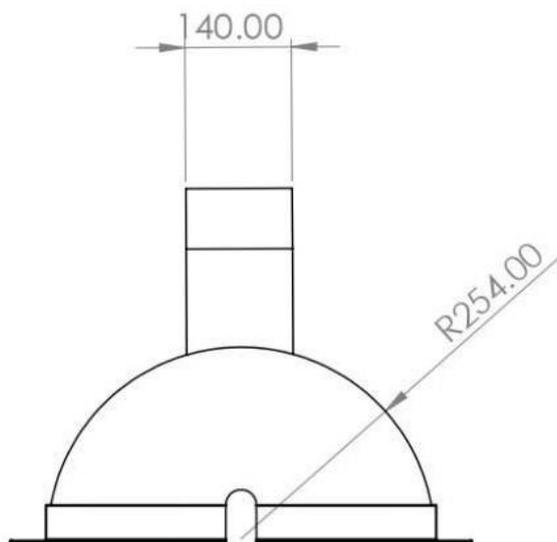
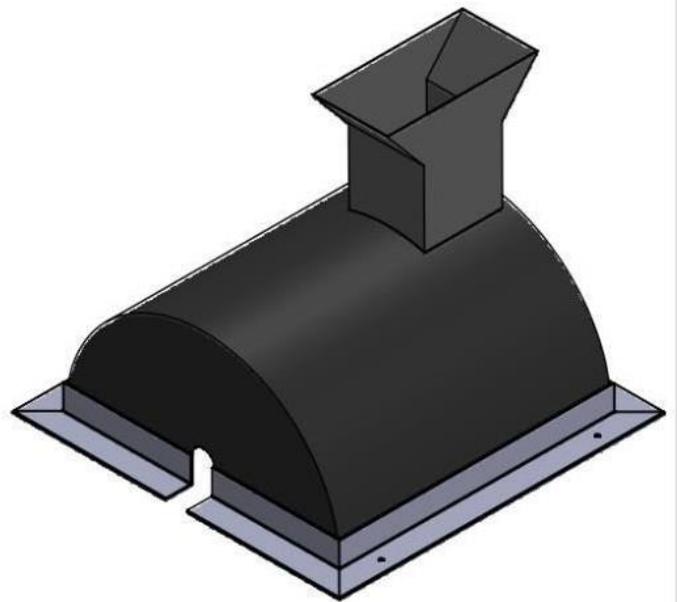
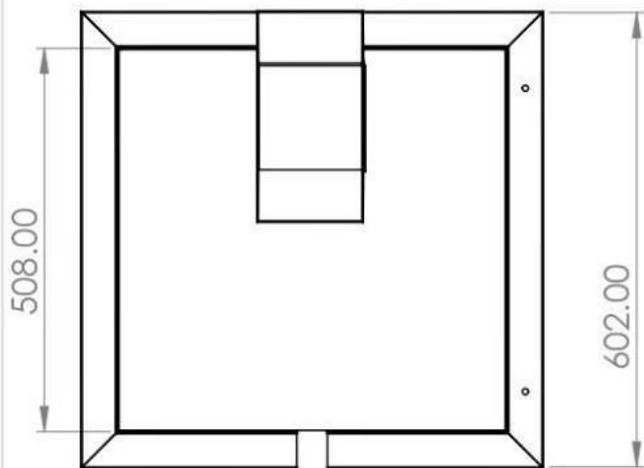
Pengelasan kerangka



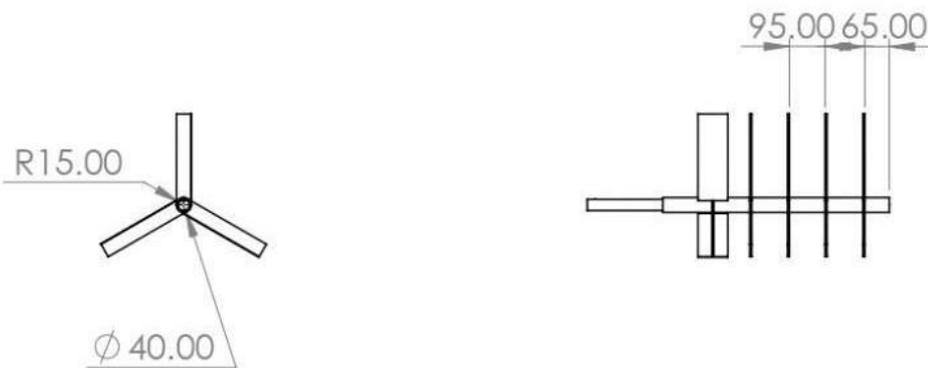
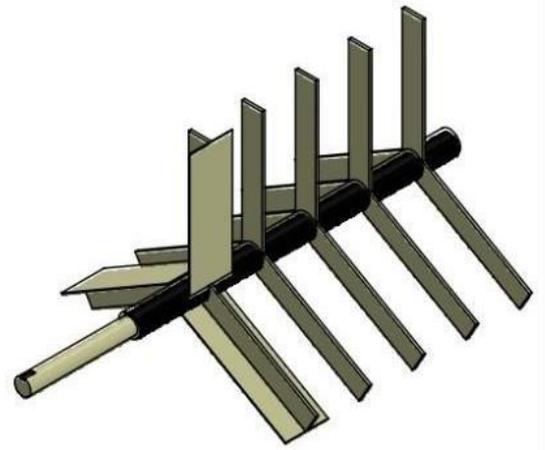
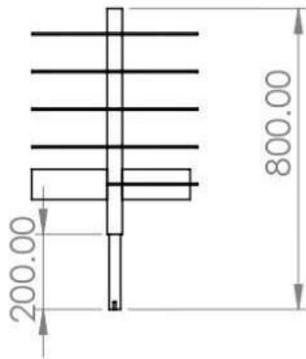
Kerangka

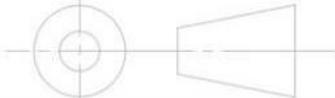


Mesin



Jumlah	Nama Bagian	No.Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan	
1	Box atas	12	Plat hitam	1	Dibuat	
III	II	I	PERUBAHAN :			
RANCANG BANGUN MESIN COCO PEAT DAN COCO FAIBER KAPASITAS 15 KG			SKALA 1 : 10	Digambar 09-01-2022		
POLITEKNIK NEGEERI SAMARINDA						



		1	Poros dan pisau	9	S45C	40x800mm	Dibuat
		Jumlah	Nama Bagian	No.Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
III	II	I	PERUBAHAN :				
			RANCANG BANGUN MESIN COCO PEAT DAN COCO FAIBER KAPASITAS 15 KG		SKALA 1 : 10	Digambar 09-01-2022	
			POLITEKNIK NEGEERI SAMARINDA				