

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN PLATFORM VALIDASI *INERTIAL MEASUREMENT UNIT (IMU)*

Joga Dharma Setiawan^{*}, Achmad Widodo, Dimas Bimo Nugroho
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
^{*}E-mail: jdharmas@yahoo.com

ABSTRAK

Aplikasi Unmanned Aerial Vehicle (UAV) membutuhkan Inertial Measurement Unit (IMU) untuk meningkatkan kecepatan akurasi manuver. IMU yang umum digunakan yaitu jenis lowcost yang mudah dimodifikasi dan didapatkan di pasaran. IMU low cost membutuhkan kalibrasi untuk memverifikasi kesalahan-kesalahan akibat hardware pada rangkaian. Kalibrasi IMU menggunakan platform yang dirancang dengan referensi dari sistem carpal wrist device. Tujuan penelitian adalah mendapatkan pembacaan empat derajat kebebasan yaitu pitch (α), roll(θ), yaw (ψ), dan akselerasi sumbu Z (a_z) dari gerakan yang terkontrol dari platform. Pengetesan platform dilakukan pada ground test. Prosedur penelitian meliputi pengolahan hardware dan software; desain, pembuatan, dan pengetesan IMU; dan simulasi dengan SimMechanics dan analisa hasil. Pada pengujian pitch didapatkan pitch minimum $\alpha = -5.8^\circ$, pitch minimum simulasi $\alpha = -8.5^\circ$. Pada pengujian roll didapatkan roll minimum adalah $\theta = -5^\circ$ dan roll maksimum $\theta = 5^\circ$, dari roll minimum simulasi adalah $\theta = -12^\circ$ dan roll maksimum $\theta = 12^\circ$. Pengujian pada yaw mendapatkan nilai yaw minimum adalah $\psi = -165^\circ$. Pengujian akselerasi sumbu Z menghasilkan $a_z = 6m/s^2$.

Kata kunci: *inertial measurement unit, platform validasi, SimMechanics*

PENDAHULUAN

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) membutuhkan sistem kontrol yang baik. Sistem kontrol bergantung pada masukan data dari *Inertial Measurement Unit (IMU)* untuk di-*feedback*-kan kembali ke sistem kontrol [3]. IMU jenis *low cost* sering digunakan oleh masyarakat karena mudah ditemukan di pasaran dan memiliki tipe DIY (*Do It Yourself*).

IMU merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur gerakan tiga dimensi dari kendaraan. IMU memiliki tiga komponen yaitu giroskop, akselerometer, dan magnetometer. Giroskop mengukur perubahan sudut seputar sumbu tetap terhadap ruang inersia. Gyroskop berdasarkan pada kekekalan momentum sudut, efek *sagnac* dan efek *coriolis*. Pada perkembangan terakhir giroskop berfokus pada teknologi *micro-photonics* dan *micro-electro-mechanics* [1,2]. Sensor inertial akselerometer digunakan untuk mengukur akselerasi pada benda. Satu factor penting mengenai akselerometer adalah bahwa akselerometer sensitive pada semua aksi paksaan eksternal termasuk gayaberat [2]. Magnetometer adalah alat pengukuran yang digunakan untuk mengukur kekuatan atau arah dari medan gaya baik yang diproduksi dalam laboratorium maupun yang ada secara alami.

Kelemahan dari IMU *low cost* adalah membutuhkan kalibrasi untuk memverifikasi kesalahan-kesalahan akibat hardware pada rangkaian IMU seperti solder, kabel, interferensi antar komponen. Oleh karena itu, dibutuhkan platform untuk kalibrasi IMU dengan empat derajat kebebasan yaitu *pitch*, *yaw*, *roll*, dan sumbu Z. platform dirancang dengan referensi dari sistem *Virginia carpal wrist device* yang diambil dari penelitian John J. Hall, dkk, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1 [5:4].



Gambar 1. *Virginia carpal wrist device*

Terdapat dua kemungkinan eror yang terjadi selama pengukuran yaitu eror ukuran dan eror pengukuran [4]. Eror memiliki karakteristik statis meliputi akurasi, sensitivitas, linearitas, resolusi, *threshold*, *repeatability*, *hysteresis*, *drift*, *zero stability*, *dead band*, *readability*, dan *range* [4].

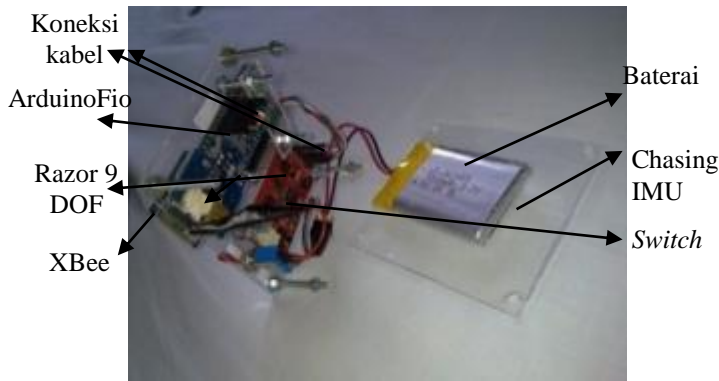
Paper ini membahas mengenai perancangan, membangun platform IMU; mendapatkan pembacaan empat derajat kebebasan yaitu akselerasi sumbu Z dan orientasi *roll*, *pitch*, *yaw* dari sensor; mendapatkan pembacaan IMU yang memiliki eror yang dapat ditoleransi; dan mendapatkan unjuk kerja platform yang mencukupi untuk kebutuhan kalibrasi IMU. Analisa pengujian menggunakan program bantu MATLAB Simulink.

PEMBUATAN PLATFORM IMU

Assembly IMU

Gambar 2 menunjukkan *assembly* IMU yang berupa rangkaian Arduino Fio dan Razor 9 DOF yang dihubungkan pada FTDI masing-masing dengan tujuan untuk mengalirkan data serial. FTDI juga menyalurkan daya pada Razor 9 DOF/Kabel yang dihubungkan pada Razor 9 DOF dan Arduino Fio. Baterai pada IMU ini terpasang pada *Velcro* dan posisinya dapat dipindah

mendekati pusat massa IMU. Pengiriman data secara wireless menggunakan XBee.

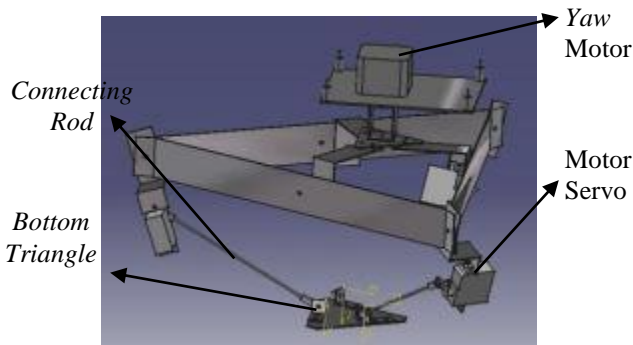


Gambar 2. Sub-assembly IMU

Setelah *assembly* selesai, pengambilan data (data aqisisi) dari serial menggunakan *python*. Hasil dari pengambilan data *python* adalah file berformat *note txt*, yang kemudian diubah menjadi plot di MATLAB.

Perancangan dan Disain Platform

Disain platform menggunakan tiga buah motor servo yang berfungsi sebagai penggerak segitiga yang dihubungkan dengan IMU, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3. Melalui ketiga servo didapatkan gerak *pitch*, *roll*, sumbu Z, dan satu servo lagi digunakan untuk mendapatkan gerakan *yaw*.



Gambar 3. Desain Awal Platform IMU

Estimasi spesifikasi platform yaitu massa IMU seberat 500gram; gerakan sumbu Z *displacement*= ±3cm; *pitch* (estimasi SimMechanic): ± 10–15°; dan *Yaw* : ± 90°.

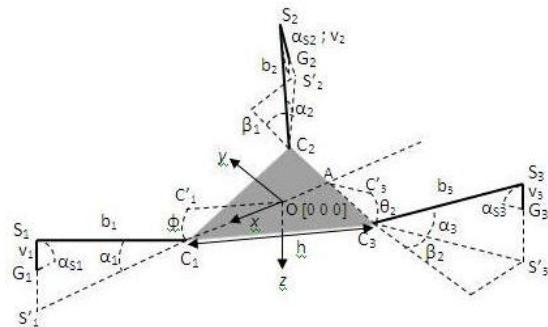
Pembuatan Platform IMU

Pembuatan platform menggunakan bahan-bahan yang mudah ditemukan di pasaran meliputi aluminium dengan ketebalan 0,2 milimeter; akrilik dengan ketebalan 5 milimeter; mur dan baut; ball joint; motor servo; Arduino Uno dan motor shield yang berfungsi sebagai *microcontroller*; dan *power supply*. Pengolahan bahan-bahan tersebut melalui dua langkah yaitu pengukuran menggunakan alat ukur dan pengolahan bahan. Alat ukur yang digunakan adalah waterpass sebagai alat pengukur kedataran permukaan

platform; vernier caliper alat ukur yang memberikan ketelitian tinggi dan geometri; mistar ukur sebagai alat ukur linier. Selanjutnya pengolahan bahan yang meliputi pengukuran, pengeboran, dan penekukan dengan perkakas sederhana seperti bor tangan, tang, dan obeng.

Geometri Platform

Geometri terlihat pada Gambar 4 definisi *pitch* (α) adalah perubahan sudut titik C_1 terhadap O dan *roll* (θ) adalah perubahan sudut pada titik C_2 atau C_3 terhadap A.

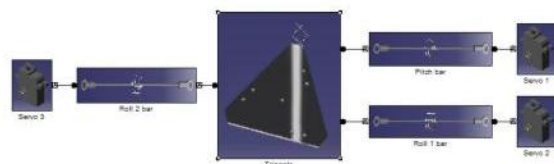


Gambar 4. Geometri platform

Pengujian Platform

Pengujian awal menggunakan IMU, FTDI *breakout board*, dan kabel USB sebagai referensi, selanjutnya pengujian kedua menggunakan rangkaian IMU yang *wireless*. Pengujian wireless dilakukan dengan memberikan jarak platform yang sedang dites dengan PC yang sudah dipasangi XBee *receiver* sejauh 1 meter, 3 meter, 5 meter, dan 10 meter. Tujuannya untuk melihat apakah IMU yang hanya berupa komponen Razor 9 DOF memiliki hasil data yang lebih baik dari pada rangkaian IMU *wireless*.

Analisis pengujian menggunakan alat bantu SimMechanic untuk mensimulasi gerakan yang terjadi. Pemodelan dalam SimMechanic dari platform ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Model platform dalam SimMechanic

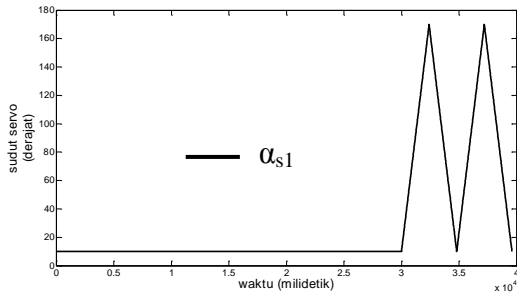
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian *pitch*

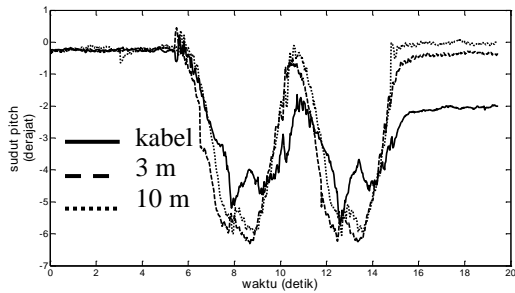
Gambar 6 menyajikan grafik input *pitch* yang kemudian diambil datanya. Data pengujian *wireless* dan kabel dibandingkan untuk melihat perbedaan hasil. Data perbandingan dapat dilihat pada Gambar 7.

Hasil pengujian dengan kabel menunjukkan kemampuan *zero stability* yang tidak sesuai kriteria. Penyebabnya yaitu kabel yang terhubung pada FTDI *breakout board* mengakibatkan beban tidak terpusat

pada IMU dan mengakibatkan inersia yang tidak dapat disetting pada saat pengujian. Pada pengujian kabel didapat *pitch* minimum $\alpha = -5.8^{\circ}$.

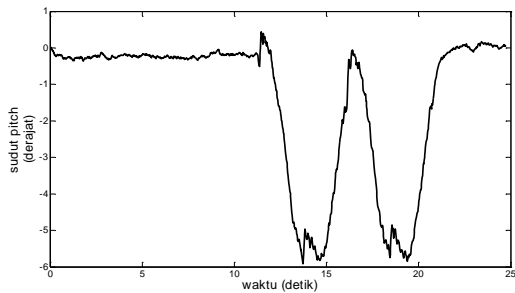


Gambar 6. Grafik input *pitch*

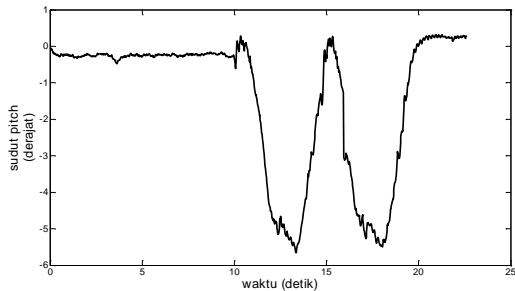


Gambar 7. Perbandingan hasil pengujian *pitch*

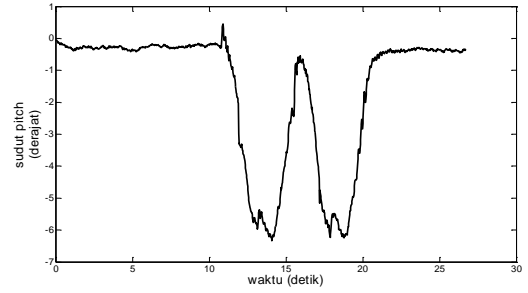
Pada pengujian *wireless* dengan jarak 1 meter, 3 meter, 5 meter, dan 10 meter menghasilkan grafik ditampilkan pada Gambar 8. Kesemua pengujian menghasilkan grafik dengan trend yang sama dan didapatkan rata-rata *pitch* minimum $\alpha = -5.8^{\circ}$.



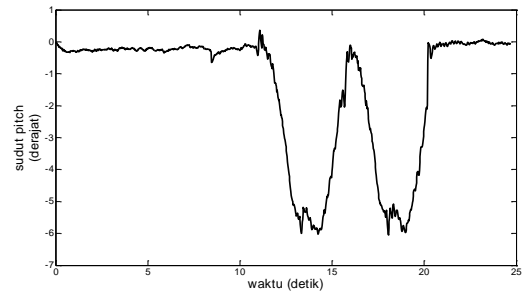
(a)



(b)



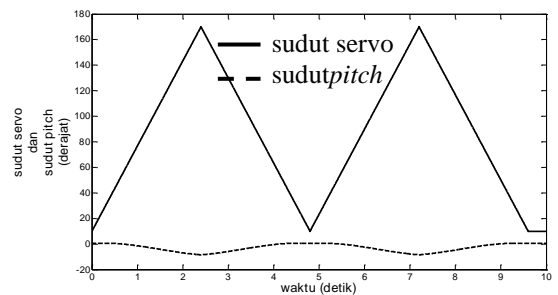
(c)



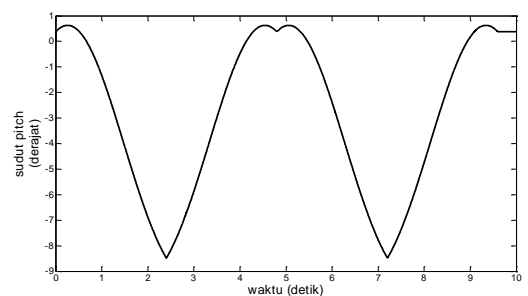
(d)

Gambar 8. Sudut *pitch* vs waktu dengan jarak: (a) 1 meter, (b) 3 meter, (c) 5 meter, dan (d) 10 meter

Proses simulasi dimulai dengan memasukkan input, lihat pada Gambar 9, yang kemudian disimulasikan dengan Simulink. Pada simulasi *pitch* dihasilkan data berupa sudut *pitch* (α) vs waktu (detik), dengan nilai *pitch* minimum adalah $\alpha = -8.5^{\circ}$, seperti yang terlihat pada Gambar 10. Pada awal gerakan terjadi perubahan sudut positif karena Simulink menghitung gerak batang terdorong pada sumbu Z negatif sehingga menarik segitiga menjadi *pitch* positif.



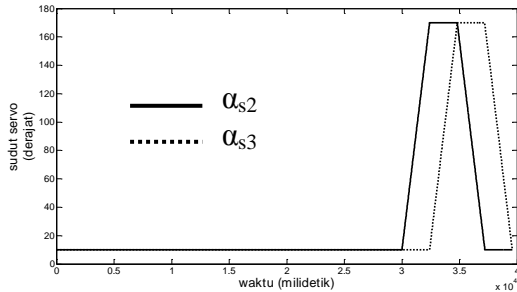
Gambar 9. Input simulasi servo dan hasil simulasi *pitch* vs waktu



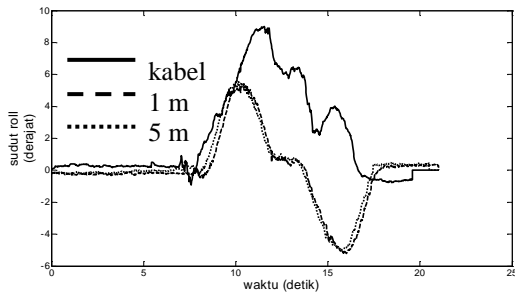
Gambar 10. Hasil simulasi *pitch*

Hasil pengujian roll

Gambar 11 menunjukkan grafik input *roll* yang akan diolah. Data pengujian *wireless* dan kabel dibandingkan untuk melihat perbedaan hasil. Data perbandingan dapat dilihat pada Gambar 12.



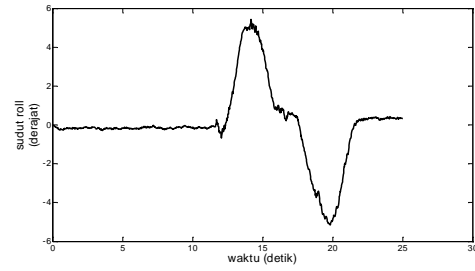
Gambar 11. Grafik input roll



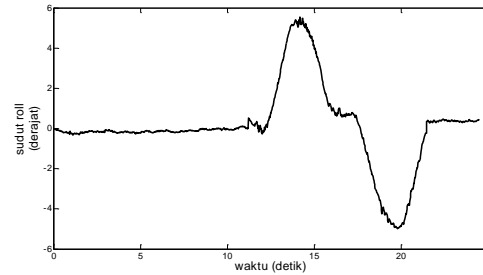
Gambar 12. Perbandingan hasil pengujian roll

Pengujian dengan kabel menghasilkan *hysteresis* dan *zero stability* tidak mencapai kriteria yang diharapkan. Pada pengujian kabel didapat *roll* minimum adalah $\beta = 0^{\circ}$ dan *roll* maksimum adalah $\beta = 8.8^{\circ}$. Pengujian dengan *wireless* menunjukkan konsistensi, di mana pengujian menghasilkan grafik dengan trend yang sama dan didapatkan rata-rata *roll* minimum $\beta = -5^{\circ}$ dan *roll* maksimum $\beta = 5^{\circ}$. Grafik hasil pengujian *wireless* dengan jarak 1 meter, 3 meter, 5 meter, dan 10 meter ditampilkan pada Gambar 13.

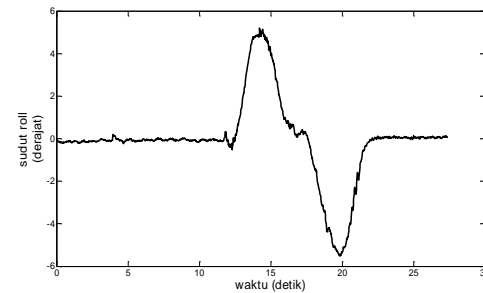
Input simulasi servo dimasukkan kedalam Simulink sehingga menghasilkan data berupa sudut *roll* (β) vs waktu (detik), seperti yang tersaji dalam Gambar 14. Pada proses simulasi dilakukan eliminasi getaran yang terjadi dan didapat nilai *roll* maksimum adalah $\beta = 12^{\circ}$ dan *roll* minimum $\beta = -12^{\circ}$, seperti yang terlihat pada Gambar 15.



(b)

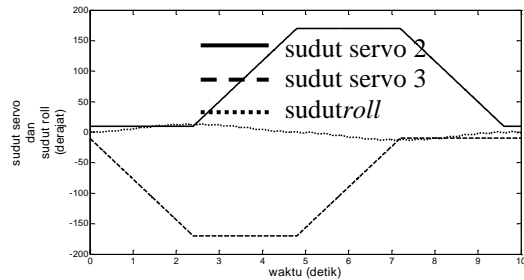


(c)

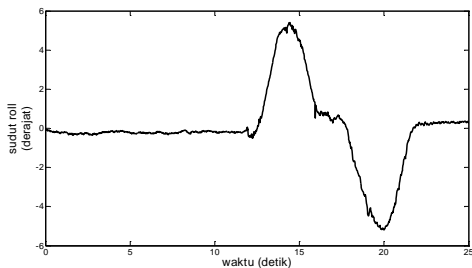


(d)

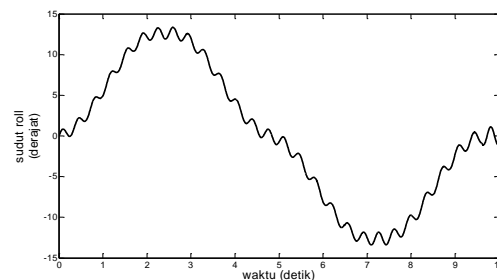
Gambar 13. Sudut roll vs waktu dengan jarak: (a) 1 meter, (b) 3 meter, (c) 5 meter, dan (d) 10 meter



Gambar 14. Input simulasi servo dan hasil simulasi roll vs waktu



(a)



Gambar 15. Hasil simulasi roll

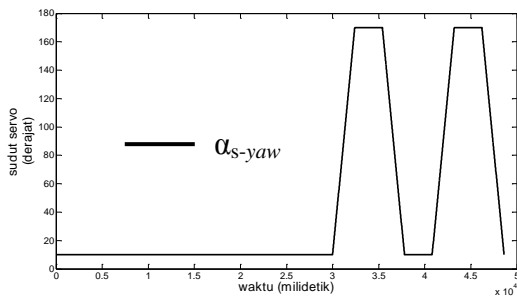
Hasil pengujian yaw

Pada saat pengujian IMU diorientasikan pada arah utara (*north*) secara manual dan dikonfirmasi dengan referensi lain. Referensi yang digunakan pada saat pengujian *yaw* adalah kompas digital dari komputer *tablet* seperti pada Gambar 16.

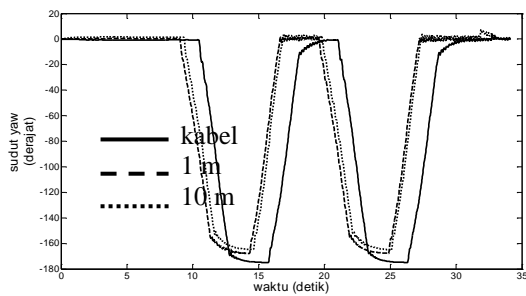


Gambar 16. Kompas sebagai referensi

Gambar 17 menunjukkan grafik input *yaw* yang akan diolah. Hasil data pengujian kabel dan *wireless* dibandingkan yang tersaji pada Gambar 18, yang menghasilkan nilai seluruh pengujian relatif sama.

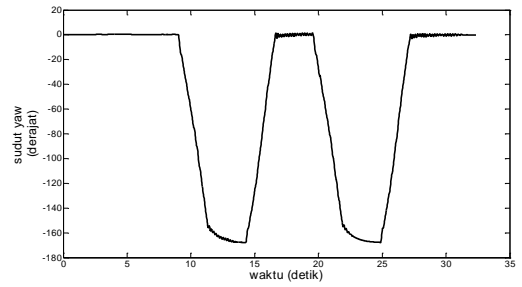


Gambar 17. Grafikinput *yaw*

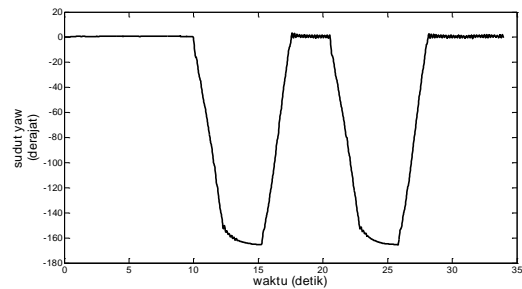


Gambar 18. Perbandingan pengujian *yaw*

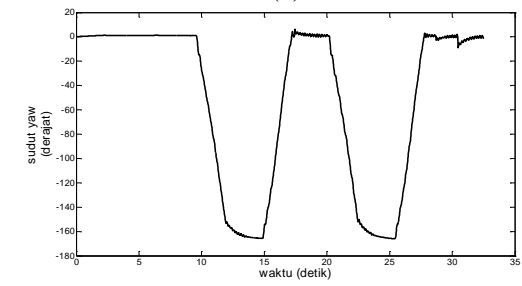
Pada pengujian dengan kabel, menunjukkan hasil yang baik karena torsi motor *yaw* (*servoyaw*) yang besar sehingga mampu melawan beban inersia kabel dengan baik. Nilai *yaw* minimum pada pengujian berada pada nilai $\gamma = -175^\circ$. Pada pengujian *wireless* mendapatkan nilai $\gamma = -165^\circ$ (- 170°). Nilai *yaw* melebihi perintah servo yaitu $\gamma_s = 160$ karena eror *drift* pada *yaw* atau servo belum terkalibrasi. Grafik hasil pengujian *wireless* dengan jarak 1 meter, 3 meter, 5 meter, dan 10 meter ditampilkan pada gambar 19.



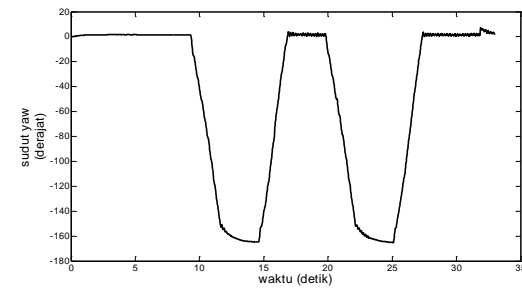
(a)



(b)



(c)



(d)

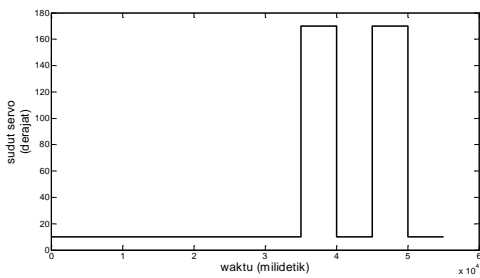
Gambar 19. Sudut *yaw* vs waktu dengan jarak: (a) 1 meter, (b) 3 meter, (c) 5 meter, dan (d) 10 meter

Hasil pengujian sumbu Z

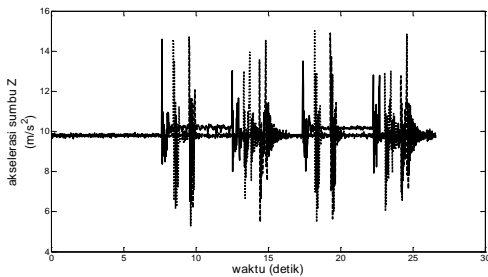
Gambar 20 menunjukkan grafik input sumbu Z yang akan diolah. Hasil data pengujian kabel dan *wireless* dibandingkan yang tersaji pada Gambar 21, yang menghasilkan nilai seluruh pengujian relatif sama.

Pengujian dengan kabel menghasilkan *zero stability* yang tidak sesuai kriteria. Pengujian menghasilkan nilai akselerasi maksimum $a_{z,max} = 14.5m/s^2$. Hasil pengujian *wireless* akselerasi sumbu Z belum konsisten, sehingga dibutuhkan penyempurnaan lebih lanjut yaitu perbaikan sistem motor. Rata-rata akselerasi dampak maksimum $a_z = 6 m/s^2$. Grafik hasil pengujian *wireless* dengan jarak 1

meter, 3 meter, 5 meter, dan 10 meter ditampilkan pada gambar 3.17.



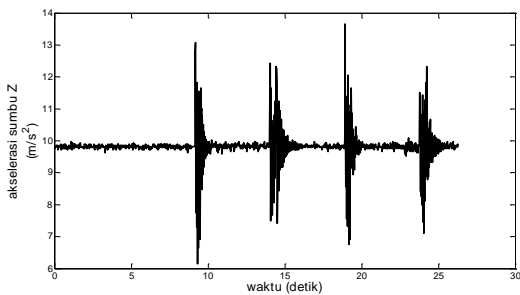
Gambar 20. Grafik input Sumbu Z



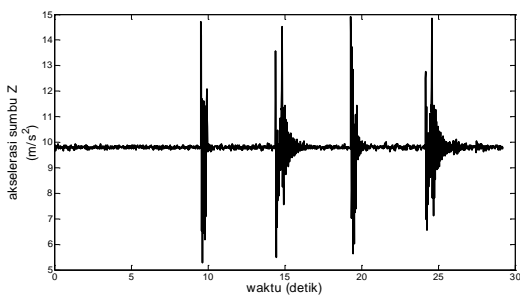
Gambar 21. Perbandingan hasil pengujian sumbu Z

KESIMPULAN

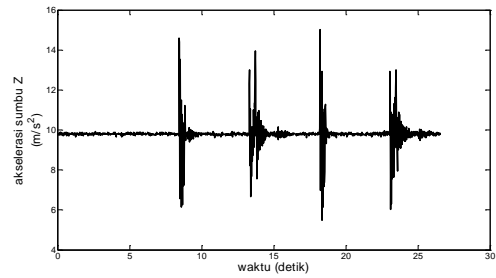
Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa Platform IMU dapat dibuat dan mendapatkan gerakan 4 derajat kebebasan yang terkontrol oleh motor servo. Data *pitch*, *roll*, *yaw*, dan akselerasi sumbu Z oleh sensor dapat diambil dan dianalisa. Hasil pengujian *pitch* menghasilkan grafik yang memiliki trend yang sama dan didapatkan rata-rata *pitch* minimum $\alpha = -5.8^\circ$. Hasil pengujian *roll* menghasilkan grafik yang memiliki trend yang sama dan didapatkan rata-rata *roll* minimum $\beta = -5^\circ$ dan *roll* maksimum $\beta = 5^\circ$. Hasil pengujian akselerasi sumbu Z belum konsisten, sehingga dibutuhkan penyempurnaan lebih lanjut.



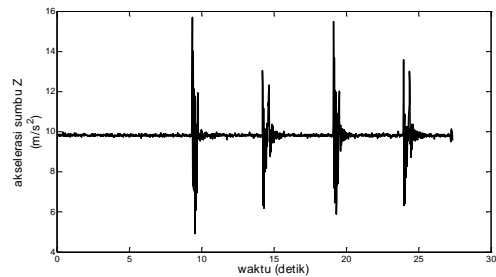
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 22. Akselerasi sumbu Z vs. waktu dengan jarak: (a) 1 meter, (b) 3 meter, (c) 5 meter & (d) 10 m

Simulasi *pitch* berhasil mendapatkan data ideal berupa grafik yang dapat dijadikan patokan untuk hasil platform dan IMU yang sempurna. Hasil simulasi mendapatkan *pitch* minimum $\alpha = -8.5^\circ$. Simulasi *roll* didapat nilai *roll* maksimum adalah $\beta = 12^\circ$ dan *roll* minimum $\beta = -12^\circ$. Hasil *roll* belum dapat digunakan sebagai patokan hasil platform.

Data dari sensor belum sesuai harapan karena masih memiliki *noise* yang belum terfilter dan terjadi interferensi pada IMU, hal ini dari analisa loncatan nilai data IMU yang meningkat secara signifikan pada frekuensi yang singkat. Belum didapatkan gerakan platform yang benar-benar diinginkan, dikarenakan *noise* getaran platform yang tidak teredam dengan baik sebagai IMU *strap-down*. Menyempurnakan asumsi dangeometri simulasi platform.

Untuk penelitian selanjutnya dapat memperbaiki system *yaw* dengan memperbesar diameter motor *yaw* atau menambahkan bantalan/ bearing pada poros *yaw*. Memperbaiki system segitiga dengan menambahkan atau mengganti komponen yang lebih kaku atau menambahkan *swashplate*. Menambahkan filter pada program IMU agar dapat diaplikasikan pada UAV.

REFERENSI

1. Armenise, M.N., Ciminelli, C., Dell'Olio, F., & Passaro, V. M. N. 2010. *Advances in Gyroscope Technologies*. Heidelberg: Springer.
2. Beeby, S., Ensell, G., Kraft, M., & White, N. 2004. *MEMS Mechanical Sensors*. Norwood: Artech House.
3. Chao, H, Cao, Y., & Chen, Y. 2010. Autopilots for Small Unmanned Aerial Vehicles: A Survey. *International Journal of Control, Automation, and Systems*, 8(1): 36-44.

4. Collett, C. V, & Hope, A. D. 1983. *Engineering Measurement*. 2nd ed. London: The English Language Book Society and Pitman.
5. Hall, J. J, & Graas, F. V. 1999. Inertial Measurement Unit Calibration Platform. Proceedings of the Sixth Conference on Applied Mechanisms and Robotics. Ohio University.