

Signal Conditioning Test for Low-Cost Navigation Sensor

Iwan Tirta¹, Romi Wiryadinata²

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon, Indonesia

¹iwantirta7777@gmail.com, ³romi@wiryadinata.web.id

Abstrak– Accelerometer dan tingkat - giroskop telah banyak diterapkan di berbagai bidang , salah satunya adalah bidang navigasi . Output accelerometer dan sensor tingkat - giroskop memiliki suara yang dapat membuat kesalahan pada output sensor . Makalah ini membahas tentang pengukuran murah sensor navigasi (accelerometer dan tingkat - giroskop) dengan low-pass filter untuk meminimalkan kesalahan . Data output sensor ditampilkan pada komputer dan diplot dalam bentuk grafik . Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kecepatan sudut dan linier akselerasi menggunakan LPF lebih akurasi dengan perbedaan kecepatan sudut 0,4451 deg / s tanpa filter dan 0,3312 deg / s menggunakan filter, perbedaan percepatan sumbu x 0,3311 m / s² tanpa filter dan 0,3209 m / s² menggunakan filter dari akselerasi yang diinginkan , sumbu y 1,3593 m / s² tanpa filter dan 1,2650 m / s² menggunakan filter dan z axis 1,2831 m / s² tanpa filter dan 1,2388 m / s² menggunakan filter.

Keyword - Signal Conditioning, Low-Pass Filter, Low-Cost Sensor.

Abstract – Accelerometer and rate-gyroscope have been much applied in various fields, one of them is navigations field. The output accelerometer and rate-gyroscope sensor have a noise that can make error at sensor output. This paper discussed about measuring low-cost navigation sensors (accelerometer and rate-gyroscope) with low-pass filter to minimize the error. Sensor output data displayed on computer and plotted in graph form. The result of experiment showing that the value of the angular velocity and linear acceleration using the LPF is more accuracy with difference angular velocity 0.4451 deg/s without filter and 0.3312 deg/s using filter, difference of acceleration x axis 0.3311 m/s² without filter and 0.3209 m/s² using filter from desired acceleration, y axis 1.3593 m/s² without filter and 1.2650 m/s² using filter and z axis 1.2831 m/s² without filter and 1.2388 m/s² using filter.

Keywords : Signal Conditioning, Low-Pass Filter, Low-Cost Sensor.

I. PENDAHULUAN

Accelerometer dan rate-gyroscope telah banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang, terutama dalam bidang navigasi. Kombinasi accelerometer dan rate-gyroscope akan membentuk suatu unit dalam modul elektronik yang berfungsi mengumpulkan data akselerasi linier (accelerometer) dan kecepatan sudut (rate-gyroscope) untuk mendapatkan data keberadaan dan pergerakan suatu benda, unit tersebut dikenal dengan IMU (Inertial Measurement Unit) [1]. IMU merupakan komponen utama dalam sistem GNC (Guidance, Navigation, and Control) yang berfungsi menangkap parameter-parameter sinyal yang dibutuhkan dalam sistem navigasi [2], namun demikian keluaran dari sensor tidak murni nilai dari sensor tetapi ada noise, bias, dan drift dari sensor yang terbawa dan dikuatkan juga sampai pada output sistem [3]. Noise dapat menyebabkan keluaran sensor menjadi tidak stabil sehingga diperlukanlah suatu rangkaian pengkodisi sinyal LPF (Low Pass Filter) yang berfungsi melewatkan sinyal pada frekuensi rendah agar keluaran sensor menjadi lebih stabil.

Penelitian ini membahas tentang pengukuran percepatan linier menggunakan accelerometer dan kecepatan sudut menggunakan rate-gyroscope. Rangkaian pengkodisi sinyal LPF digunakan untuk

memperkecil error dari keluaran accelerometer dan rate-gyroscope. Pengolah data menggunakan ATmega128. Software emulasi terminal menggunakan RFinterm yang berfungsi membaca serta menyimpan data pengukuran dalam bentuk notepad dan matlab digunakan untuk menampilkan data dalam bentuk grafik.

II. LANDASAN TEORI

A. Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah sistem komputer yang dikemas menjadi sebuah chip yang di dalamnya terdapat mikroprosesor, I/O, memori, dan ADC (Analog to Digital Converter) [4].

Mikrokontroler yang sudah dilengkapi ADC yang berjumlah 8 channel dengan mode 10 bit dengan jangkauan nilai bit 0 sampai dengan 1024 memiliki perhitungan hasil konversi ADC sebagai berikut:

$$HA = \frac{V_{out} \times 1024}{V_{ref}} \quad (1)$$

HA adalah hasil konversi ADC, Vout adalah tegangan keluaran sensor yang masuk ke pin ke ADC dalam satuan volt, dan Vref adalah tegangan referensi dalam satuan volt.

Perhitungan kenaikan tegangan tiap bit-nya untuk ADC dengan n sebagai mode bit ADC:

$$V_{bit} = \frac{V_{ref}}{ADC_{max}} \quad (2)$$

Vbit adalah kenaikan tegangan tiap bit dalam volt, Vref adalah tegangan referensi dalam volt, ADCmaks adalah jangkauan maksimum ADC dengan mode 10 bit sehingga besar ADCmaks sama dengan 1024.

B. Rate-Gyroscope

Rate-gyroscope adalah sebuah sensor yang digunakan untuk mengukur rotasi benda, benda dikatakan berotasi jika benda tersebut bergerak pada sumbunya [5].

Prinsip kerja rate-gyroscope sama seperti gasing. Jika pusing (berputar pada sumbunya) gasing melambat, gasing itu miring ke samping. Gaya gravitasi menarik gasing ke bawah, tetapi gasing itu tidak jatuh. Gasing berputar melambat di sekeliling titik keseimbangannya. Benda yang berputar mengubah gaya vertikal gravitasi menjadi gerakan horisontal, fenomena seperti itu disebut dengan presisi [6].

Pengukuran kecepatan sudut membutuhkan alat yang dapat merubah kecepatan sudut menjadi besaran listrik sehingga dapat dianalisis besar kecepatan sudutnya, alat tersebut adalah sensor rate-gyroscope. Berdasarkan datasheet, persamaan yang digunakan untuk menghitung tegangan keluaran dari sensor rate-gyroscope sebagai berikut:

$$V_{out} = V_o + (Sv \times \omega) \quad (3)$$

Vout adalah tegangan keluaran dalam satuan V, Vo adalah tegangan keluaran statis (saat kecepatan sudut nol) dalam V, Sv (scale factor) adalah faktor skala dalam satuan V/deg/s, dan ω adalah kecepatan sudut atau angular velocity dalam satuan deg/s.

Perubahan temperatur mempengaruhi semua piranti elektronik dan dapat mengakibatkan perubahan arus offset dan tegangan offset, istilah ini disebut dengan geseran (drift) [7]. Keluaran dari sensor tidak murni nilai dari sensor tetapi ada noise, bias, dan drift dari sensor yang terbawa dan dikuatkan juga sampai pada output sistem [3]. Tingkat eksitasi atau percepatan dari sensor tidak mempengaruhi bias [8]. Noise yang disebabkan karena perubahan temperatur disebut dengan drift noise yang memiliki frekuensi rendah, sehingga untuk mengurangi noise tersebut digunakan low pass filter [5]. Pengkondisi sinyal LPF (Low Pass Filter) yang berfungsi melewatkan sinyal pada frekuensi rendah agar keluaran sensor rate-gyroscope lebih stabil. Rangkaian LPF yang digunakan adalah rangkaian LPF orde 1. Perhitungan frekuensi cut-off untuk orde 1 (kutub tunggal) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (4)$$

fc adalah frekuensi cut-off. R adalah nilai resistansi yang digunakan. C adalah nilai kapasitansi yang digunakan.

C. Accelerometer

Accelerometer adalah sebuah sensor yang digunakan untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran, dan juga untuk mengukur percepatan akibat gravitasi bumi. Sensor accelerometer mengukur percepatan akibat gerakan benda yang melekat padanya [9].

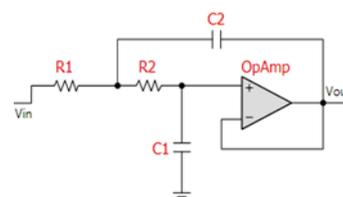
Prinsip kerja accelerometer berdasarkan hukum fisika bahwa apabila suatu konduktor digerakkan melalui suatu medan magnet, atau jika suatu medan magnet digerakkan melalui suatu konduktor, maka akan keluar suatu tegangan induksi pada konduktor tersebut. Accelerometer yang diletakan di permukaan bumi dapat mendeteksi percepatan 1 g (ukuran gravitasi bumi) pada titik vertikalnya, untuk percepatan yang dikarenakan oleh pergerakan horisontal, maka accelerometer akan mengukur percepatannya secara langsung ketika bergerak secara horisontal.

Pengukuran percepatan suatu benda membutuhkan alat yang dapat merubah percepatan benda tersebut menjadi besaran listrik sehingga dapat dianalisis besar percepatannya, alat tersebut adalah sensor accelerometer. Menurut [10], persamaan yang digunakan untuk menghitung percepatan dari keluaran sensor accelerometer sebagai berikut:

$$a = \frac{V_{out} - V_{off}}{S} \quad (5)$$

a adalah percepatan benda dalam satuan g (gravitasi), Vout adalah tegangan keluaran sensor accelerometer dalam satuan volt, Voff adalah tegangan offset dalam satuan volt, S atau sama dengan ΔV/g adalah sensitifitas sensor atau kenaikan tegangan keluaran sensor tiap 1 g atau sama dengan 9,8 m/s².

Saat accelerometer dalam keadaan diam, keluaran sensor akan menghasilkan tegangan offset yang besarnya setengah dari tegangan masukan sensor. Tegangan offset accelerometer dipengaruhi oleh orientasi sensor dan percepatan statis tiap sumbu akibat gaya gravitasi bumi. Percepatan yang bernilai positif memiliki sinyal keluaran yang terus meningkat di atas tegangan offset, sedangkan untuk percepatan yang bernilai negatif sinyal keluaran akan semakin menurun di bawah tegangan offset [11]. Pengujian accelerometer menggunakan rangkaian LPF orde 2 seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Low Pass Filter Orde 2

Berdasarkan (Gambar 1) maka perhitungan frekuensi cut-off untuk orde 2 (kutub 2) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 C_1 R_2 C_2}} \quad (6)$$

f_c adalah frekuensi cut-off. R1 dan R2 adalah nilai resistansi yang digunakan. C1 dan C2 adalah nilai kapasitansi yang digunakan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

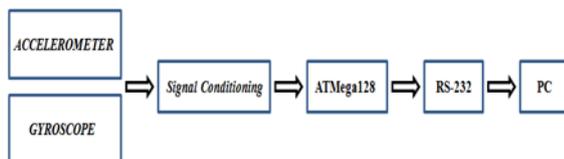
Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini terdapat pada Gambar 2 berikut



Gambar 2. Diagram Blok Penelitian

Perancangan alat bertujuan mencari unsur yang diperlukan pada penelitian ini, baik dalam bentuk software ataupun hardware. Alat dibuat berdasarkan unsur-unsur yang telah diperoleh dari tahap perancangan alat. Pengujian alat menggunakan RFInterm untuk membaca data sensor dan menyimpannya dalam bentuk notepad selanjutnya dimodelkan dalam bentuk grafik menggunakan Matlab untuk dianalisa akurasi.

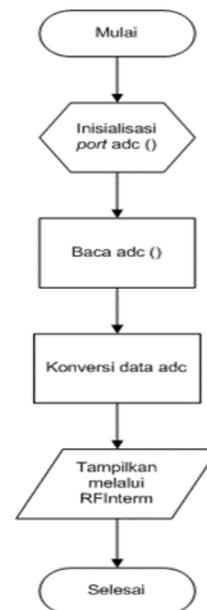
Alat yang dibuat bekerja seperti diagram blok hardware pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Blok Hardware

Sensor accelerometer dan rate-gyroscope yang digunakan memiliki tegangan keluaran DC analog sehingga harus melewati signal conditioning sebelum masuk ke mikrokontroler yang tujuannya untuk mengkondisikan tegangan sesuai yang diinginkan. Seperti dalam diagram blok hardware (Gambar 3), perubahan sinyal analog ke sinyal digital membutuhkan ADC (Analog to Digital Converter) yang terdapat pada mikrokontroler ATmega128. Data sensor dikirimkan secara serial menggunakan jalur RS-232. Selanjutnya data ditampilkan melalui komputer menggunakan RFInterm dan disimpan dalam bentuk notepad untuk diplot dalam bentuk grafik menggunakan matlab.

Flowchart (Gambar 4) menjelaskan langkah pemrograman sensor dengan keluaran analog yang terintegrasi ke mikrokontroler dan ditampilkan menggunakan RFInterm, flowchart-nya sebagai berikut:

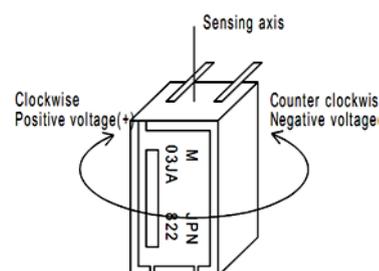


Gambar 4. Flowchart Pemrograman Sensor

Sensor accelerometer MMA7260Q dan rate-gyroscope JPN ENC-03JA adalah sensor yang memiliki tegangan keluaran DC analog yang membutuhkan ADC untuk diubah menjadi tegangan digital untuk selanjutnya dikonversi dalam satuan m/s² (accelerometer) dan deg/s (rate-gyroscope). Data ADC yang telah dikonversi, selanjutnya ditampilkan secara serial menggunakan RFInterm.

Mikrokontroler ATmega128 digunakan pada penelitian ini memiliki beberapa fungsi, diantaranya sebagai pengolah data sensor dan pengatur jalur komunikasi serial.

Sensor rate-gyroscope 1 axis digunakan untuk mengetahui kecepatan sudut. Besar tegangan keluarannya ±1,35 V saat kecepatan sudut nol. Saat diputar searah dengan jarum jam rate-gyroscope akan bernilai positif. Bentuk rate-gyroscope JPN ENC-03JA seperti Gambar 5.



Gambar 5. JPN ENC-03JA

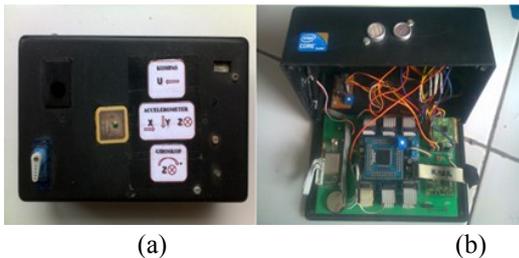
Penelitian ini menggunakan accelerometer MMA7260Q dengan mode percepatan hingga ±6 g. Sensor ini bekerja pada rentang tegangan input DC mulai dari 2,2 V sampai dengan 3,6 V. Bentuk accelerometer MMA7260Q seperti Gambar 6.



Gambar 6. Board Sensor MMA7260Q

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Alat yang dibuat pada penelitian ini memiliki bentuk seperti Gambar 7 di bawah ini.

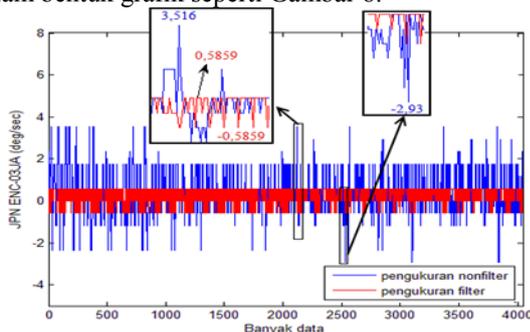


Gambar 7. Bentuk Alat, (a) Tampak Luar, (b) Tampak Dalam

Alat (Gambar 7) di dalamnya terdapat sensor rate-gyroscope yang digunakan untuk mengukur kecepatan sudut dan sensor accelerometer yang digunakan untuk percepatan linier. Beberapa sensor lainnya terdapat pada sistem yang digunakan tetapi pada tulisan ini hanya 2 sensor yang dibahas, yaitu accelerometer dan gyroscope.

A. Pengujian JPN ENC-03JA (Rate-Gyroscope)

Kecepatan sudut yang diinginkan pada kondisi statik yaitu 0 deg/s namun pada kenyataannya pada kondisi statik besar kecepatan sudut yang terukur menggunakan sensor rate-gyroscope JPN ENC-03JA tidak 0 deg/s. Data keluaran dari sensor rate-gyroscope masih terdapat noise yang dapat menyebabkan ketidakstabilan pada keluaran sensor rate-gyroscope sehingga diperlukanlah suatu rangkaian filter berupa pengkondisi sinyal LPF (Low Pass Filter) yang berfungsi sebagai filter agar keluaran sensor rate-gyroscope lebih stabil. LPF yang digunakan pada penelitian ini LPF orde 1 dan memiliki frekuensi cut-off sebesar 1 Hz. Perbandingan data kecepatan sudut hasil pengukuran menggunakan LPF dengan pengukuran tanpa filter dengan kecepatan sudut yang diinginkan digambarkan dalam bentuk grafik seperti Gambar 8.

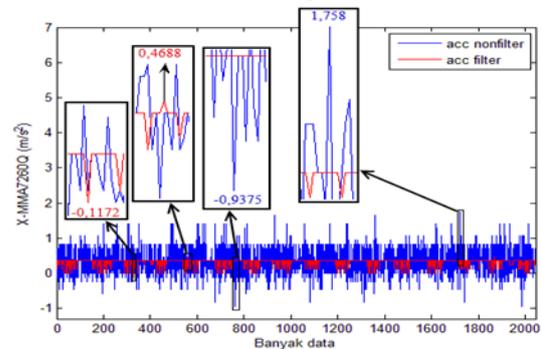


Gambar 8. Grafik Pengujian Gyroscope pada Kondisi Statik

Gambar 8 adalah grafik yang menunjukkan antara hasil pengukuran kecepatan sudut tanpa filter dengan hasil pengukuran filter menggunakan LPF orde 1 dengan frekuensi cut-off 1 Hz dengan hasil kecepatan sudut yang diinginkan dengan selisih kecepatan sudut rata-rata sebesar 0,445104 deg/s (tanpa filter) dan 0,33122 deg/s (filter) dari kecepatan sudut yang diinginkan.

B. Pengujian MMA7260Q (Accelerometer)

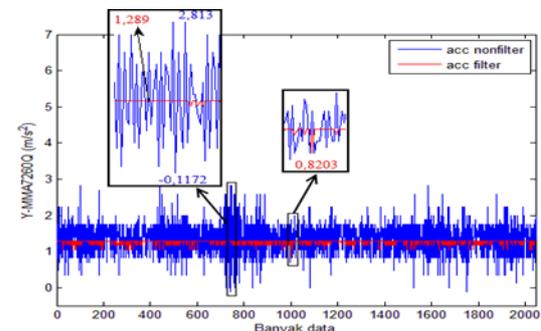
Misalnya percepatan yang diinginkan sebesar 0 m/s², namun pada kenyataannya besar percepatan yang terukur tidaklah selalu stabil di nilai 0 m/s². Perbandingan data percepatan hasil pengukuran menggunakan LPF orde 2 dengan pengukuran tanpa filter dari sumbu X accelerometer seperti Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Pengujian Sumbu X Accelerometer

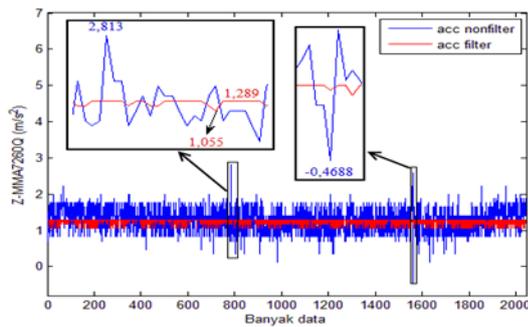
Gambar 9 adalah grafik pengujian sumbu X accelerometer yang menunjukkan antara hasil pengukuran percepatan tanpa filter dengan hasil pengukuran filter menggunakan LPF orde 2 dengan frekuensi cut-off 1,94 Hz dengan percepatan rata-rata yang dihitung dengan Matlab sebesar 0,331152 m/s² (tanpa filter) dan 0,320916 m/s² (filter).

Pengujian berikutnya adalah sumbu Y accelerometer seperti Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Pengujian Sumbu Y Accelerometer

Gambar 10 adalah grafik pengujian sumbu Y accelerometer dengan percepatan rata-rata sebesar 1,35935 m/s² (tanpa filter) dan 1,26504 m/s² (filter).



Gambar 11. Grafik Pengujian Sumbu Z Accelerometer

Pengujian sumbu Z accelerometer seperti Gambar 11 di atas dengan sensor MMA7260Q memperoleh percepatan rata-rata sebesar 1,2831 m/s² (tanpa filter) dan 1,23884 m/s² (filter).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa selisih kecepatan sudut gyroscope dari kecepatan sudut yang diinginkan 0,445104 deg/s (tanpa filter) dan 0,33122 deg/s (filter). Selisih percepatan sumbu X accelerometer sebesar 0,331152 m/s² (tanpa filter) dan 0,320916 m/s² (filter) dari percepatan yang diinginkan, sumbu Y 1,35935 m/s² (tanpa filter) dan 1,26504 m/s² (filter), dan sumbu Z 1,2831 m/s² (tanpa filter) dan 1,23884 m/s² (filter). Sehingga nilai kecepatan sudut dan percepatan linier menggunakan LPF lebih mendekati ketelitian. Error pada keluaran sensor analog dapat diperkecil dengan menggunakan filter. Penggunaan filter dapat dikembangkan lagi agar nilai data sensor mendekati nilai sesungguhnya.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Riyadi, M., Wahyudi, dan I, Setiawan. (2011). Pendeteksi Posisi Menggunakan Sensor Accelerometer MMA7260Q Berbasis Mikrokontroler ATmega32. Tugas Akhir Teknik Elektro. UNDIP. Semarang.
- [2] Wiryadinata, R., dan W, Widada. (2008). Error Correction Of Rate-Gyroscope Calibration For Inertial Navigation System Algorithm. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI). Yogyakarta.
- [3] Wiryadinata, R., W. Widada, T.S. Widodo, dan Sunarno. (2009). Design and Testing of Six DOF IMU v2.1 Carried in Vehicle for INS Algorithm. Proceedings of CITEE 2009. UGM. Yogyakarta.
- [4] Budiharto, W. (2008). Membuat Sendiri Robot Cerdas. Penerbit PT Elex Media Komputindo. Jakarta.
- [5] Prisantono, R. Wiryadinata, T.S. Widodo, A.P. Adi, dan W. Widada. (2009). Analisa Sensor Rate-

Gyroscope untuk Mendeteksi Gerak Rotasi Roket. Proceedings of CITEE 2009. UGM. Yogyakarta.

- [6] Kindersley, D. (1992). Jendela IPTEK : Gaya Dan Gerak. (Terjemahan). Penerbit Balai Pustaka. Jakarta.
- [7] Koestoer, R. A. (2004). Pengukuran Teknik. Penerbit Termaprima Utama. Jakarta.
- [8] Kapaldo, A. J. (2005). Gyroscope Calibration and Dead Reckoning for an Autonomous Underwater Vehicle. Thesis report. Virginia.
- [9] Alma'i, V.R., Wahyudi, dan I, Setiawan. (2011). Aplikasi Sensor Accelerometer Pada Deteksi Posisi. Skripsi Teknik Elektro FT Universitas Diponegoro. Semarang.
- [10] Tuck, K. (2007). Implementing Auto-Zero Calibration Technique for Accelerometers. Application Note 3447. Freescale Semiconductor.
- [11] Gani, R., Wahyudi, dan I, Setiawan. (2011). Perancangan Sensor Gyroscope dan Accelerometer untuk Menentukan Sudut dan Jarak. Tugas Akhir Teknik Elektro. UNDIP. Semarang