

Perancangan dan Implementasi Sistem Kendali Robot Tangan Prensilia

Rizky Fauzy Nurmadyansyah dan Dr. Achmad Arifin, S.T., M.Eng.
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: arifin@ee.its.ac.id

Abstrak—Teknologi robotika pada bidang medis terus berkembang dan penggunaannya semakin luas. Pada tugas akhir ini sistem kendali *loop* tertutup untuk robot tangan telah dikembangkan dan dievaluasi. Sistem kendali dengan komponen utama mikrokontroler untuk mengendalikan robot tangan IH2 Azzurra mampu bekerja secara *real-time*. Sistem yang dibuat memiliki antarmuka UART dengan *baud rate* sebesar 115,2kbps yang dapat menerima masukan dari sensor gerak berupa sarung tangan dan menghasilkan keluaran berupa suatu perintah sebagai masukan robot tangan. Perintah ini mampu mengatur kecepatan motor pada masing-masing jari robot tangan sesuai dengan gerakan tangan melalui sensor gerak. Metode sistem kendali yang digunakan adalah sistem kendali PID diskrit berbasis mikrokontroler ATMEGA8. Performansi dari sistem kendali yang dirancang dapat dilihat secara langsung menggunakan perangkat lunak berbasis PC yang telah dibuat. Selain itu, perangkat lunak PC dapat memperbaharui *firmware* pada mikrokontroler secara langsung dan parameter-parameter penting pada sistem dapat ditampilkan dalam bentuk grafik, atau disimpan pada media penyimpanan berbasis PC sehingga lebih mudah untuk dianalisa lebih lanjut. Performansi yang dihasilkan sistem cukup baik, dilihat dari nilai *error steady state* tertinggi sebesar 3,137%, *settling time* tertinggi sebesar 3,8 detik, *overshoot* tertinggi sebesar 3,529%, dan RMSE rata-rata tertinggi yang dihasilkan sebesar $0,0595\% \pm 0,0119\%$. Kebutuhan daya pada sistem relatif rendah yakni 111,9mW. Sehingga catu daya baterai *li-ion* berkapasitas standar dapat digunakan untuk mencatu sistem selama kurang lebih 29,4 jam atau 1,225 hari. Tingkat portabilitas dari sisi kebutuhan daya sudah terpenuhi untuk sistem ini.

Kata kunci—IH2 Azzurra, sistem kendali diskrit, mikrokontroler, PC.

I. PENDAHULUAN

Teknologi robotika pada kehidupan manusia terus berkembang dan penggunaannya semakin luas. Hal ini ditunjukkan dari penggunaannya pada berbagai bidang, mulai dari bidang industri hingga medis, salah satu contoh aplikasi pada bidang medis adalah aplikasi organ buatan. Di bidang industri, teknologi robotika digunakan untuk menggantikan beberapa peranan manusia agar kualitas atau kuantitas suatu produk dapat ditingkatkan. Sedangkan di bidang medis, aplikasi robot organ buatan dikembangkan untuk menggantikan peranan organ tubuh manusia yang mengalami disfungsi, misalnya tangan atau kaki yang cacat atau diamputasi.

Organ buatan yang cukup sering digunakan adalah robot tangan. Robot tangan dibuat dengan menggunakan komponen utama berupa motor. Motor yang digunakan cukup beragam,

yakni motor *servo*, *stepper*, dan motor searah. Semakin sedikit motor yang digunakan untuk satu jari pada robot tangan akan menghasilkan bobot yang ringan dan lebih mudah dalam pengendaliannya. Robot tangan Prensilia IH2 Azzurra merupakan sistem yang sederhana dan ringan, sehingga cocok digunakan untuk aplikasi organ buatan. Terdapat satu motor yang digunakan untuk masing-masing jari. Selain itu, terdapat sepuluh sensor *proximity* yang digunakan sebagai pendeteksi jari terbuka penuh atau tertutup penuh dan lima sensor arus pada motor yang berfungsi untuk mengatur ketegangan atau kekuatan genggaman pada robot tangan. Dengan menggunakan satu motor pada setiap jari (jari kelingking dan jari manis dianggap satu jari yang dikendalikan bersamaan), konsumsi daya yang digunakan pun akan semakin rendah.

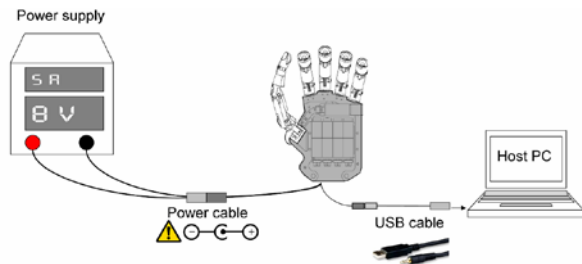
Pada tugas akhir ini digunakan Prensilia IH2 Azzurra, yaitu robot tangan yang dapat dikendalikan dengan antarmuka berupa serial UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) dengan *baud rate* 115200 bps dan level tegangan TTL sehingga dapat dihubungkan secara langsung dengan mikrokontroler. Mikrokontroler difungsikan sebagai pengolah sinyal masukan yang didapat dari sensor gerak yang dirancang, kemudian sinyal keluaran yang dihasilkan akan diumpungkan ke robot tangan melalui komunikasi serial. Metode yang digunakan untuk mengendalikan robot tangan ini adalah kendali PID. Sensor gerak diletakkan pada sebuah sarung tangan sehingga akan mendeteksi posisi atau bentuk dari tangan manusia, kemudian secara otomatis robot tangan akan mengikuti posisi dari tangan manusia. Diharapkan sistem kendali yang diimplementasikan dengan menggunakan trayektori tangan manusia, dapat ditirukan pada sistem tangan buatan.

II. LANDASAN TEORITIS

A. Robot Tangan Prensilia IH2 Azzurra

Prensilia IH2 Azzurra merupakan robot tangan yang dapat digunakan untuk beberapa aplikasi, misalnya aplikasi organ buatan, kendali jarak jauh, dan robot *humanoid*. Robot ini terdiri dari sensor dan antarmuka dengan perangkat lain.

Antarmuka yang digunakan untuk sistem ini adalah UART dengan *baud rate* 115,2kbps. Level tegangan yang digunakan adalah TTL, sehingga dapat langsung dihubungkan dengan mikrokontroler atau PC dengan menggunakan modul tambahan berupa USB to serial. merupakan penampang dari robot tangan



Gambar 1. Robot Tangan IH2 Azzurra Terhubung ke PC IH2 Azzurra.

III. PERANCANGAN DAN REALISASI ALAT

Alat ini merupakan sebuah sistem yang digunakan untuk mengendalikan robot tangan IH2 Azzurra secara *real-time*. Sistem yang dibuat memiliki antarmuka UART dengan *baud rate* sebesar 115,2kbps. Sistem akan menerima masukan dari sensor gerak berupa sarung tangan, kemudian keluarannya akan dihubungkan ke robot tangan. Keluaran dari sistem merupakan perintah-perintah yang akan menggerakkan robot sesuai dengan gerakan tangan melalui sensor gerak/sarung tangan. Metode sistem kendali yang digunakan pada sistem ini adalah sistem kendali PID diskrit berbasis mikrokontroler.

Sistem mikrokontroler, dirancang agar mampu bekerja dengan sistem kendali yang dapat diubah dari sisi tipe atau frekuensi cupliknya. Frekuensi cuplik sistem dapat diubah dengan nilai 10Hz atau 100Hz. Sedangkan tipe sistem kendali dapat diubah pada mode kendali internal IH2 Azzurra, mode kendali PID berbasis mikrokontroler, atau mode kendali PID berbasis PC.

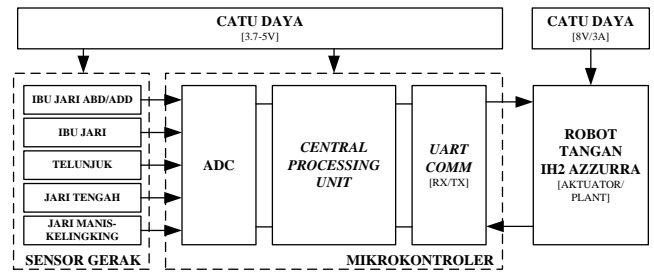
Sistem kendali untuk robot tangan dirancang agar memiliki tingkat portabilitas yang baik. Catu daya yang digunakan berasal dari baterai dan sistem dapat secara langsung mengisi ulang baterai tanpa harus mencabut baterai terlebih dahulu. Sehingga secara tidak langsung, mikrokontroler juga akan menangani sistem kendali pengisian baterai pada sistem keseluruhan.

Performansi dari sistem kendali yang dirancang dapat dilihat secara langsung menggunakan perangkat lunak berbasis PC. Nilai dari parameter-parameter penting pada sistem dapat ditampilkan dalam bentuk grafik, sehingga lebih mudah untuk dianalisa lebih lanjut. Selain itu, data-data yang telah didapatkan dapat disimpan pada media penyimpanan berbasis PC.

A. Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem secara umum ditunjukkan pada Gambar 2.

Sistem yang dirancang terbagi menjadi beberapa blok utama. Blok pertama adalah blok sensor gerak. Blok ini terdiri dari lima sub blok yang terdiri dari ibu jari *abd/add*, ibu jari, telunjuk, jari tangan, dan jari manis-kelingking. Blok sensor gerak berfungsi untuk mendeteksi perubahan posisi tangan dari pengguna, yang kemudian akan diubah menjadi sinyal elektrik berupa tegangan.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem secara Keseluruhan

Blok sensor gerak akan dihubungkan ke blok mikrokontroler yang terdiri dari ADC, CPU, dan antarmuka UART. Tegangan yang dihasilkan oleh sensor gerak akan diubah menjadi bentuk digital melalui sub blok ADC, kemudian nilai tersebut akan dibandingkan dengan nilai yang didapat dari blok robot tangan IH2 Azzurra melalui komunikasi UART. Nilai hasil perbandingan akan diolah lebih lanjut pada sub blok CPU, kemudian keluaran berupa sinyal kendali akan dihasilkan dan dikirimkan ke robot tangan melalui komunikasi UART. Robot tangan akan menggerakkan posisi-posisi jari sesuai dengan posisi pada sensor gerak.

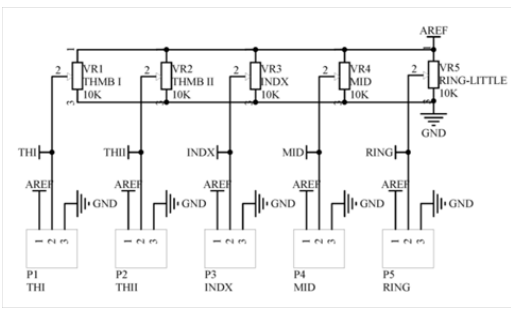
Blok robot tangan IH2 Azzurra memiliki *embedded controller* yang dapat dihubungkan dengan perangkat lain menggunakan komunikasi UART. Perintah yang dikirimkan akan menentukan aksi yang dilakukan oleh robot tangan, misalnya menggerakkan motor dengan kecepatan tertentu atau memberikan data posisi aktual.

B. Skematika Rangkaian

Skematika rangkaian yang dirancang mengacu pada diagram blok yang telah dibuat. Rangkaian yang dirancang terbagi menjadi dua bagian, yakni sensor gerak dan rangkaian mikrokontroler sebagai pengendali PID. Gambar 3 merupakan rangkaian sensor gerak/sarung tangan pada sistem. Rangkaian dari sensor gerak terdiri dari potensiometer yang biasa digunakan pada *controller game console*.

Sensor gerak terdiri dari lima potensiometer dengan resistansi yang sama yakni 10KΩ. Resistansi pada terminal 2-3 atau 2-1 pada posisi awal yakni semua jari terbuka, adalah 50% dari 10KΩ. Jika posisi jari bergerak menutup, resistansinya akan naik secara linear pada terminal 2-3. Nilai resistansi tersebut dapat diukur pada terminal 2-3 ketika tidak diberikan tegangan. Ketika diberi tegangan, masing-masing potensiometer akan membentuk rangkaian pembagi tegangan, sehingga tegangan keluaran yang dihasilkan akan lebih kecil sama dengan nilai A_{REF} .

Mikrokontroler yang digunakan untuk sistem kendali robot tangan IH2 Azzurra adalah ATMEGA8 produksi ATMEL. Mikrokontroler ini dipilih karena memiliki fitur-fitur yang dianggap cukup untuk menangani sistem kendali yang dirancang. Fitur-fitur yang diperlukan adalah dua perangkat *timer*, 6 kanal ADC 8-bit, perangkat UART dengan modul penerima (RXD) dan pengirim (TXD) yang mampu dioperasikan pada *baud rate* sebesar 115200bps, modul I/O,



Gambar 3. Rangkaian Sensor Gerak

EEPROM sebagai penyimpan data, dan perangkat interupsi. Mikrokontroler ATMEGA8 memiliki fitur-fitur yang diperlukan untuk perancangan sistem kendali robot tangan IH2 Azzurra. Rangkaian untuk mikrokontroler sistem ditunjukkan pada Gambar 4.

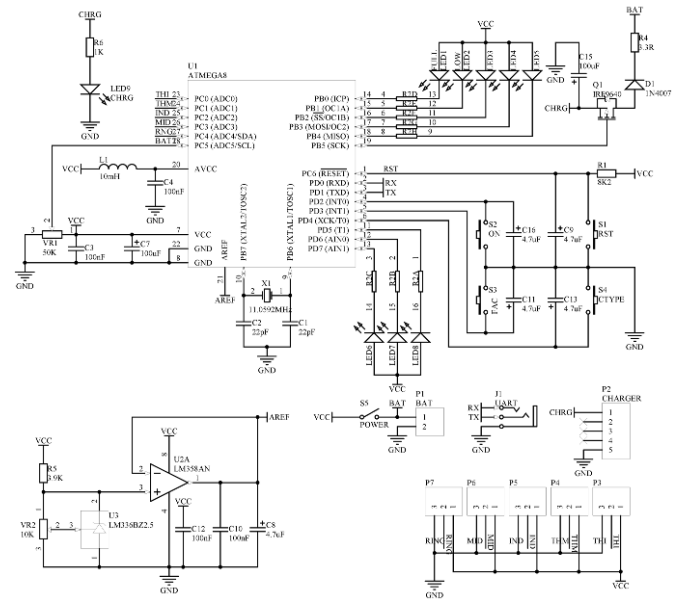
C. Perancangan Perangkat Lunak Mikrokontroler

Pada bagian ini akan dibahas mengenai perancangan suatu algoritma untuk merealisasikan perintah-perintah yang digunakan pada robot tangan IH2 Azzurra agar dapat mengikuti postur sensor gerak yang dirancang. Diagram alir dari sistem kendali PID diskrit berbasis mikrokontroler ditunjukkan pada Gambar 5. Terdapat lima sistem kendali yang dirancang secara perangkat lunak. Konsep yang digunakan adalah perulangan dengan terlebih dahulu membuat suatu prosedur/subrutin, yang kemudian akan diisi alamat (i) yang berbeda pada tiap siklus timer.

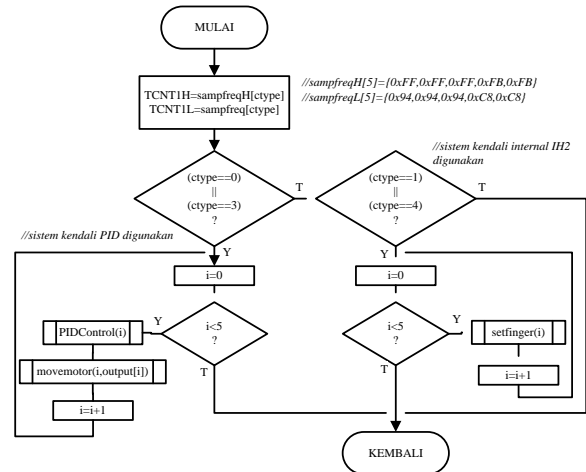
Subrutin kendali PID diskrit yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 6. Sistem kendali PID yang dirancang memiliki tingkat fleksibilitas yang sangat tinggi. Pada Gambar 6 dapat diperoleh suatu informasi bahwa sistem akan menggunakan sistem kendali P saja ketika nilai dari error sistem sangat tinggi, akan tetapi ketika nilai error yang dihasilkan semakin kecil, sistem akan beralih dari sistem kendali P ke sistem kendali PID. Hal ini hanya dapat dilakukan dengan sangat mudah menggunakan sistem diskrit/digital.

D. Perancangan Perangkat Lunak PC

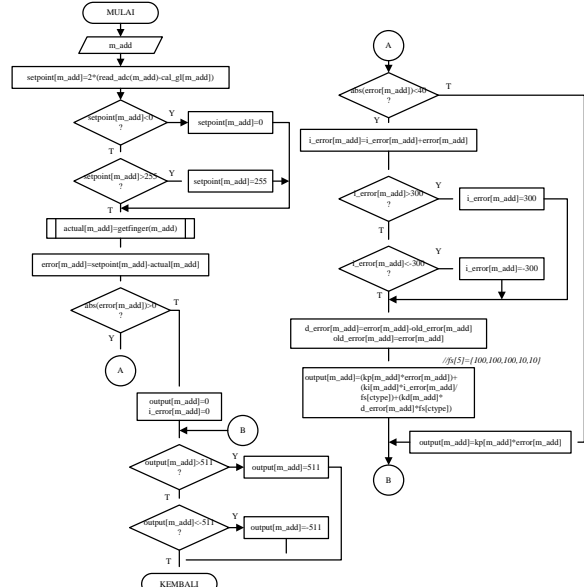
Perangkat lunak pada PC digunakan untuk menganalisa performansi dari sistem kendali yang direalisasikan. Diagram alir PIDControl untuk PC cukup berbeda dengan diagram alir PIDControl untuk mikrokontroler. Perbedaannya terletak pada proses yang dijalankan. Terdapat dua jenis masukan untuk PIDControl PC, yakni masukan dari GUI yang dibuat (berupa slider atau penulisan secara langsung nilai masukannya) dan masukan dari sistem mikrokontroler yang didapat dari sensor sarung tangan. Data pada sensor sarung tangan akan diolah



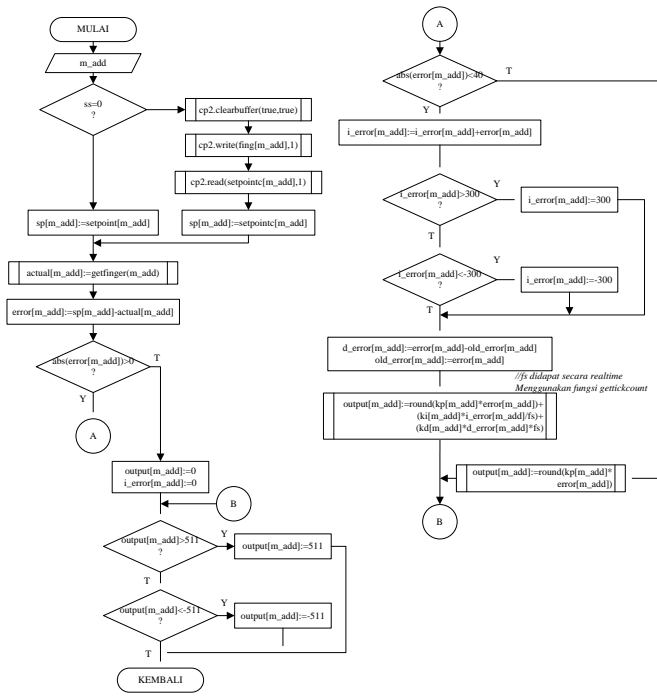
Gambar 4. Rangkaian Mikrokontroler Sistem



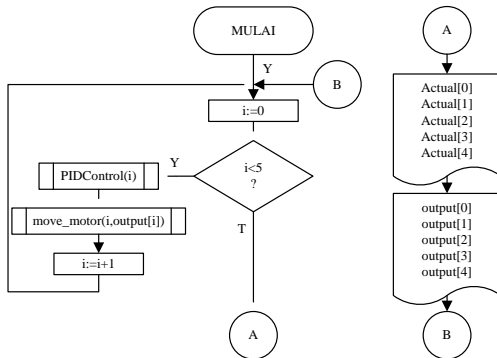
Gambar 5. Diagram Alir Kendali PID Diskrit yang Ditangani Timer



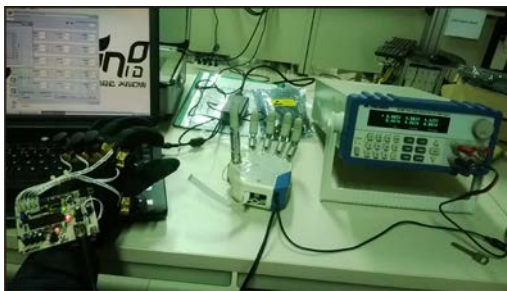
Gambar 6. Diagram Alir Subrutin Kendali PID Diskrit



Gambar 7. Diagram Alir Subrutin Kendali PID Diskrit (PC)



Gambar 8. Diagram Alir Kendali PID Diskrit dengan Unlimited Loop (PC)

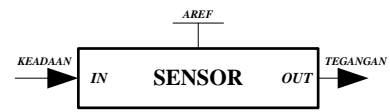


Gambar 9. Realisasi Sistem secara Keseluruhan

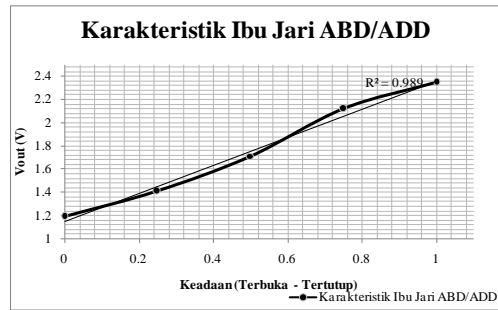
Prosedur *PIDControl* akan menghasilkan keluaran berupa *output[m_add]*, yang kemudian nilai dari variabel tersebut akan diumpungkan ke prosedur *move_motor* untuk menggerakkan motor, membuka atau menutup.

E. Realisasi Alat

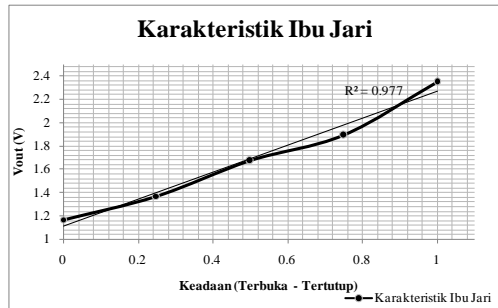
Setelah semua proses perancangan selesai dilakukan, proses selanjutnya adalah melaksanakan realisasi alat. Terdapat dua



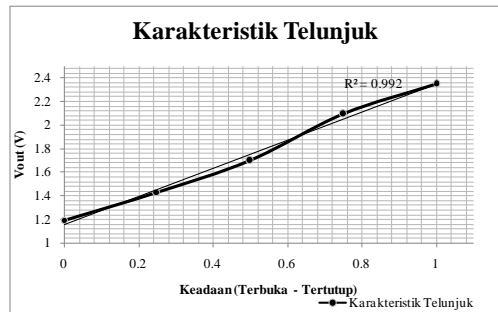
Gambar 10. Blok Pengujian Karakteristik Sensor Gerak



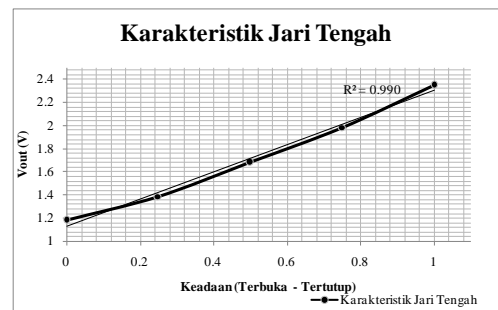
Gambar 11. Karakteristik Sensor Ibu Jari *Abd/Add*



Gambar 12. Karakteristik Sensor Ibu Jari



Gambar 13. Karakteristik Sensor Telunjuk



Gambar 14. Karakteristik Sensor Jari Tengah

blok yang akan direalisasikan untuk sistem secara keseluruhan. Blok yang pertama adalah blok sensor sarung tangan, sedangkan blok yang kedua adalah blok *controller*. Realisasi dari sistem yang telah diintegrasikan menyerupai diagram blok pada Gambar 2 ditunjukkan pada Gambar 9.

IV. UJI COBA DAN ANALISA

Pada bagian ini akan dibahas mengenai hasil pengujian pada sistem yang telah direalisasikan. Hasil pengujian difokuskan pada beberapa bagian, yakni hasil pengujian karakteristik sensor gerak dan performansi dari sistem kendali diskrit.

A. Karakteristik Sensor Gerak (Ibu Jari Abd/Add)

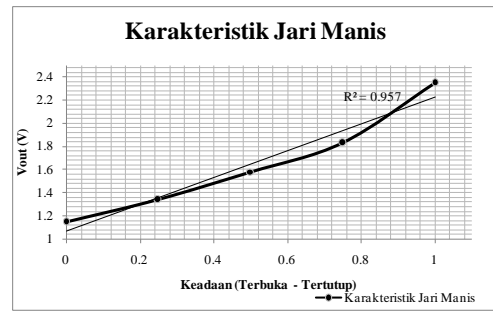
Blok pengujian untuk mencari karakteristik sensor ditunjukkan pada Gambar 10. Terdapat lima keadaan yang menjadi masukan sensor, yakni terbuka penuh, terbuka 3/4, terbuka 1/2, terbuka 1/4, dan tertutup penuh. Lima keadaan ini diukur untuk masing-masing jari, sehingga linearitas dari sensor dapat diperoleh. Nilai AREF yang dihasilkan sistem dan telah terhubung ke sensor adalah sebesar 2,35V saat tegangan baterai bernilai 3,91V.

Karakteristik yang dihasilkan oleh masing-masing jari ditunjukkan pada Gambar 11, Gambar 12, Gambar 13, Gambar 14, Gambar 15. Karakteristik sensor untuk masing-masing jari dipasangkan dengan *trendline* berupa regresi linear. Hal ini dilakukan agar tingkat kelinearan sensor dapat diketahui. Keluaran dari sensor untuk masing-masing jari memang tidak 100% linear. Hal ini terjadi karena adanya beberapa parameter eksternal yang cukup berpengaruh. Suhu, kelembaban, dan toleransi bahan yang digunakan dapat mempengaruhi nilai resistansi suatu potensiometer. Meskipun karakteristik yang dihasilkan tidak 100% linear, secara grafis dan dilihat dari regresi pendekatan linear, sistem masih memiliki tingkat *error* kuadrat paling rendah adalah 0,957, sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor memiliki tingkat linearitas yang cukup baik.

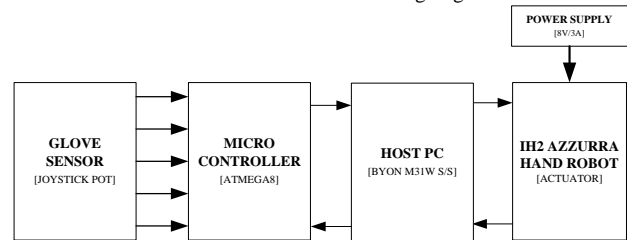
B. Performansi Sistem Kendali PID

Blok pengujian untuk mencari performansi sistem kendali diskrit yang telah direalisasikan ditunjukkan pada Gambar 16. Performansi sistem kendali diskrit untuk masing-masing jari dilakukan menggunakan *controller* berupa PC. Sistem mikrokontroler berfungsi sebagai *slave* yang akan mengirimkan nilai *setpoint* yang diberikan sensor gerak. Performansi dari sistem kendali dengan PC dan mikrokontroler akan dianggap sama karena algoritma pemrograman yang dibuat pun sama. Perbedaan mendasar adalah dari sisi frekuensi cupliknya, yakni 13Hz pada PC dan 10Hz atau 100Hz pada mikrokontroler. Performansi sistem kendali untuk masing-masing jari ditunjukkan pada Gambar 17, Gambar 18, Gambar 19, Gambar 20, Gambar 21.

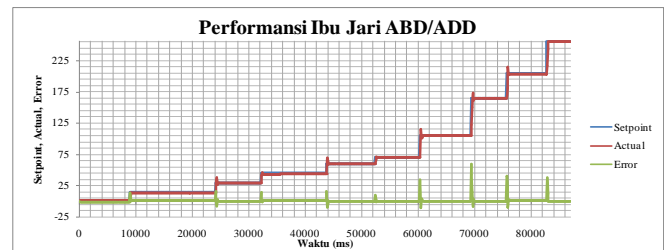
Performansi sistem kendali diskrit yang dihasilkan beberapa jari menghasilkan performa yang cukup baik. Dua jari, yakni jari manis dan telunjuk masih menghasilkan tingkat *error steady state* yang cukup tinggi yakni 2,745% dan 3,137%. Selain itu *settling time* maksimum yang dihasilkan jari telunjuk terlalu lama yakni 3,8 detik. Hal-hal tersebut terjadi karena motor yang digunakan robot tangan tidak linear terhadap kecepatan yang diatur. RMSE (*Root Mean Square Error*) rata-rata paling tinggi untuk lima kali pengujian yang dihasilkan sistem kendali adalah sebesar 0,0595% ± 0,0119%.



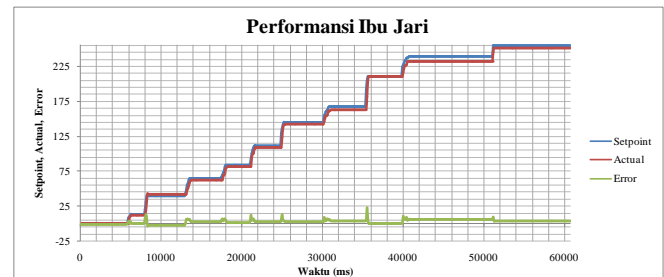
Gambar 15. Karakteristik Sensor Jari Manis-Kelingking



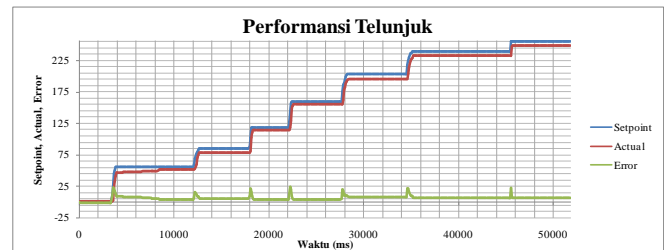
Gambar 16. Blok Pengujian Performansi Sistem Kendali



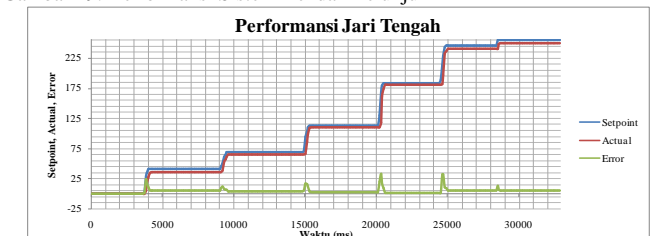
Gambar 17. Performansi Sistem Kendali Ibu Jari Abd/Add



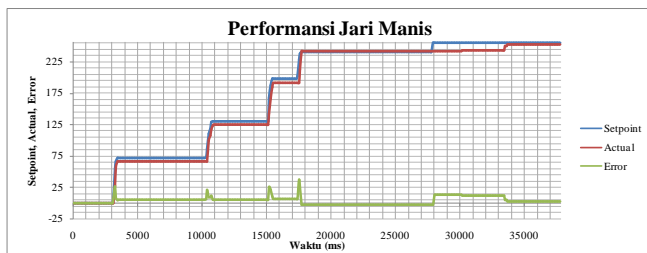
Gambar 18. Performansi Sistem Kendali Ibu Jari



Gambar 19. Performansi Sistem Kendali Telunjuk



Gambar 20. Performansi Sistem Kendali Jari Tengah



Gambar 21. Performansi Sistem Kendali Jari Manis-Kelingking

Daya yang diperlukan untuk sistem dapat dihitung dengan mempertimbangkan daya yang digunakan pada sensor, pada mikrokontroler, dan LED. Kebutuhan arus mikrokontroler ketika bekerja pada frekuensi 11,0592MHz dengan catu daya sebesar 4V adalah 6mA. Sedangkan kebutuhan arus IC LM358 pada kondisi aktif dengan tegangan <5V adalah 1mA. Sehingga perhitungan daya secara keseluruhan dapat dilihat sebagai berikut.

$$P_{uic} = 4 \times 6m = 24mW$$

$$P_{LM358} = 5 \times 1m = 5mW$$

$$P_{LED} = 8 \times 4 \times 2,5m = 80mW$$

$$P_{SENSOR} = \frac{2,35^2}{1,9K} = 2,9mW$$

Jika nilai-nilai tersebut dijumlahkan, akan didapat kebutuhan daya pada sistem yakni 111,9mW. Sehingga, jika digunakan baterai dengan kapasitas 3,29Wh, baterai ini dapat bertahan hingga 29,4 jam atau selama 1,225 hari.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari sistem yang telah dirancang, direalisasikan, serta dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa sistem kendali yang telah direalisasikan dapat diintegrasikan secara langsung antara mikrokontroler dengan robot tangan IH2 Azzurra dengan masukan berupa sensor gerak/sensor sarung tangan yang telah direalisasikan. Sistem kendali ini dapat diintegrasikan dengan konfigurasi PC sebagai pengendali dan sistem mikrokontroler sebagai *slave* yang mengirimkan data sensor. Sistem kendali yang telah direalisasikan memiliki performansi yang cukup baik, dilihat dari nilai *error steady state* tertinggi sebesar 3,137%, *settling time* tertinggi sebesar 3,8 detik, *overshoot* tertinggi sebesar 3,529%, dan RMSE rata-rata tertinggi sebesar 0,0595%±0,0119%. Daya yang diperlukan oleh sistem relatif rendah yakni 111,9mW. Sistem dengan catu daya baterai *li-ion* berkapasitas standar dapat digunakan untuk mencatu sistem selama kurang lebih 29,4 jam atau 1,225 hari. Tingkat portabilitas dari sisi kebutuhan daya sudah terpenuhi, akan tetapi dari sisi dimensi masih belum terpenuhi.

Beberapa saran untuk pengembangan tugas akhir ini adalah penambahan modul jaringan tanpa kabel, misalnya *bluetooth* dapat dilakukan agar portabilitas sistem dapat ditingkatkan. Selain itu dapat digunakan komponen-komponen dengan teknologi SMD (*Surface Mounting Device*) sehingga dimensi sistem akan menjadi lebih kecil. EMG (*Electromyogram*) yang

didapat dari otot-otot lengan dapat digunakan sebagai masukan sistem kendali untuk aplikasi dan penelitian lebih lanjut, sehingga sistem robot tangan Prensilia (IH2 Azzurra) benar-benar dapat dikendalikan oleh tangan manusia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan syukur kepada Allah swt. atas berkah dan rahmat yang diberikan untuk penyelesaian Tugas Akhir ini. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dr. Achmad Arifin, S.T., M.Eng. selaku pembimbing, begitu juga kepada seluruh keluarga dan teman-teman yang telah memberikan dukungan dalam segala hal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Prensilia, "Self-Contained Robotic Hand User Guide", Prensilia s.r.l, Italia, 2012.
- [2] Nurmadyansyah, Rizky Fauzy, dkk, "Sistem Instrumentasi dan Kendali Suhu menggunakan PID Berbasis PLC : Sistem Kendali PID", Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Sub Bab. 2.3, 2013.
- [3] Atmel, "AVR221:Discrete PID Controller", Atmel Corporation, San Jose, 2006.
- [4] Nurmadyansyah, Rizky Fauzy, "Rancang Bangun Catu Daya Tersaklar dengan Pengatur Tegangan Berbasis Mikrokontroler ATMEGA8535 : Mikrokontroler ATMEGA8535", Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Sub Bab. 2.2, 2011.
- [5] Nurmadyansyah, Rizky Fauzy, "Rancang Bangun Penguat Audio Kelas D untuk Frekuensi Rendah : Operational Amplifier", Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2013.
- [6] Atmel, "ATmega8A Datasheet 8-bit Atmel Microcontroller with 8KB In-System Programmable Flash", Atmel Corporation, San Jose, 2013.
- [7] Motorola, "LM358 Datasheet", Motorola Incorporated, Arizona, 1996.
- [8] Fairchild Semiconductor, "IRF9540 Datasheet", Fairchild Semiconductor Corporation, 2002.
- [9] National Semiconductor, "LM336-2.5DZ Datasheet", National Semiconductor Corporation, Arlington, 1994.
- [10] Yuliyawati, Sri Nur dan Hazma, "Kiat Penulisan Laporan Ilmiah untuk Program Diploma", Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 2009.
- [11] Dingfelder, Helbert, "Bootloader_Mega8" <URL: <http://www.dl5neg.de>>, Oktober, 2013.