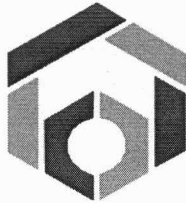


07/0009

FINAL REPORT
RESEARCH GRANT PENELITI MUDA 2007
AUTOMATION ENGINEERING (AE) STUDY PROGRAM



PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL DIGITAL
BERBASIS MIKROKONTROL KELUARGA AtmelAVR

Oleh :

Bolo Dwiartomo **NIP. 132 137 897**
Lukman **NIP. 132 306 539**
Hendy Rudiansyah

Program Studi : **Mekatronika**
Tahun : **2007**

POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI BANDUNG
DESEMBER 2007

HALAMAN PENGESAHAN

1. Judul Penelitian : Pengembangan sistem kontrol digital berbasis mikrokontrol keluarga AtmelAVR
2. Bidang Penelitian : Rekayasa
3. Ketua Peneliti :
 - a. Nama Lengkap : Bolo Dwiartomo
 - b. Jenis Kelamin : Laki-laki
 - c. NIP : 132137897
 - d. Disiplin Ilmu : Sistem kendali
 - e. Pangkat/Golongan : Lektor/III b.
 - f. Jabatan : Dosen
 - g. Fakultas/Jurusan : Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekanika
 - h. Alamat : Jl. Kanayakan no. 21 Dago, Bandung, 40135
 - i. Telepon/Fax/E-mail : 022-2500241/022-2502649/bolo_d@polman-bandung.ac.id
 - j. Alamat rumah : Jl. Kanayakan Baru No.18A Dago, Bandung, 40135
 - k. Telepon/Fax/E-mail : 08122015687
4. Jumlah anggota peneliti : 1 orang
 - a. Nama anggota 1 : Lukman
 - b. Nama anggota 2 : Hendi Rudiansyah
5. Lokasi Penelitian : Politeknik Manufaktur Bandung
6. Jumlah biaya yang diusulkan : Rp. 9.955.000,-

Mengetahui :
Ketua Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur
Dan Mekanika
Politeknik Manufaktur Bandung

Bandung, 29 Maret 2006
Ketua Pelaksana

Aris Budiarto, ST, MT
NIP. 132 144 638

Bolo Dwiartomo
NIP. 132 137 897

Mengetahui:
Pembina Penelitian

Suharyadi Pancono, Dipl Ing HTL, MT
NIP 131 883 922



PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL DIGITAL BERBASIS MIKROKONTROL KELUARGA AtmelAVR *(Final Report)*

RINGKASAN

Pengendalian mesin-mesin industri manufaktur tidak akan lepas dari Motor yang digunakan sebagai penggerak (actuator) di mana pada kasus ini digunakan motor DC. Pengendali kecepatan motor merupakan elemen dasar yang sangat penting dalam pengendalian mesin yang akan menentukan kualitas produk akhir yang dihasilkan.

Metode yang digunakan dalam mengontrol kecepatan motor ini adalah dengan menggunakan metoda konvensional yaitu Proporsional, Integral, Derivatif (PID). Pengendali yang dianggap cukup handal dan sederhana untuk mengendalikan kecepatan motor ini adalah dengan menggunakan pengendali proporsional integral (PI). Pengontrol proporsional integral (PI) ini dibuat berupa software pada Mikrokontroler AVR ATmega8535. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa C.

Pada prinsipnya, Sistem kendali kecepatan motor DC ini akan menerima nilai masukan berupa set point dan selanjutnya akan diolah dengan menggunakan pengendali proporsional integral (PI), sehingga diharapkan keluaran motor yang dihasilkan akan memudahkan dan menstabilkan robot penjejak garis dalam pergerakannya.

Kata kunci : PI, kecepatan motor.

I. PENDAHULUAN

Di era industri modern dewasa ini di mana produk harus memenuhi standart kualitas cukup tinggi, peran kendali pada proses produksinya menjadi sangat penting. Penggunaan sistem produksi modern seperti ini harus ditunjang pula dengan penguasaan teknologinya, salah satunya adalah sistem kendali berbasis digital yang ditujukan terutama bagi tenaga engineer operasional dan perawatan. Terlebih apabila masa purna jual pada sistem yang diinvestasikan telah habis, biaya yang harus dialokasikan pada perawatannya akan sangat besar.

Berdasarkan data yang diperoleh dari Pusat Pelayanan Masyarakat Polman Bandung, cukup banyak permintaan untuk menangani permasalahan yang timbul pada sistem-sistem kendali penunjang produksi baik berupa permintaan perbaikan (repair) dan permintaan pelatihan

bagi tenaga-tenaga engineer-nya. Polman hanya dapat melayani sedikit saja dari jumlah permintaan yang ada mengingat keterbatasan sumber daya manusia dan fasilitas yang ada. Pada pelaksanaannya pun sangat banyak kendala mengingat bervariasinya jenis dan merk yang ada di industri sehingga sering masalah tidak dapat dituntaskan.

Setelah dikaji lebih mendalam, permasalahan-permasalahan yang timbul hampir keseluruhan berada pada sisi kendali, rangkaian elektronik dan elektrik. Untuk memenuhi tuntutan pelatihan dari industri yang secara tidak langsung akan menunjang pula penyediaan tenaga engineer operasional dan perawatan, sangat diperlukan adanya suatu fasilitas yang dapat memberikan pengetahuan secara mendalam akan fungsi sistem kendali dari sebuah mekanisme produksi yang didasarkan pada mekanisme sistem pengendalian yang umum digunakan.

Berdasarkan kesamaan mekanisme dasar pengendalian tersebut, sangat memungkinkan untuk menyusun perangkat yang dapat menunjukkan performansi sistem kendali digital yang dapat diaplikasikan pada aplikasi yang ada. Dengan kegiatan penelitian ini, sangat diharapkan bahwa hasilnya tidak semata-mata hanya bermanfaat bagi peneliti yang bersangkutan, tetapi dapat pula dimanfaatkan oleh pihak-pihak lain yang ingin mengetahui secara mendalam akan sistem kerjanya, terutama dalam kegiatan belajar mengajar.

Penelitian ini akan difokuskan pada penggunaan mikrokontrol sebagai pengendali digital kecepatan motor DC yang merupakan elemen dasar kendali pada system servo mekanik. Kendali yang digunakan adalah mengacu pada system kendali konvensional Proportional + Integral (PI). Algoritma kendali digital PI akan dikembangkan dalam bentuk bahasa pemrograman mikrokontrol yang digunakan dalam bentuk persamaan-persamaan dan trik matematika numeric yang disesuaikan dengan karakteristik persamaan analitik kontinyu pada kendali PI dalam bentuk integral.

Penggunaan mikrokontrol keluarga MCS51 dan AtmelAVR karena kekompakannya mengingat tidak perlu dibangun sebuah minimum sistem yang terdiri dari mikroprosesor, memori, peripheral input/output secara terpisah. Pada keluarga mikrokontrol tersebut sudah terintegrasi dalam sebuah chip tunggal. Selain itu jenis mikrokontrol ini umum digunakan dan mudah diperoleh di pasaran.

II. PERUMUSAN MASALAH

Proses penelitian akan dimulai dengan observasi terhadap trend teknologi sistem kendali yang digunakan dewasa ini. Berdasarkan observasi ini akan disusun suatu kesamaan fungsi dasar pada pengendalian yang relatif tidak terlalu kompleks, tetapi sistemnya masih dapat mengikuti trend yang ada. Hal ini akan menghasilkan diagram blok dasar sistem pengendaliannya.

Langkah berikutnya adalah perumusan masalah teknis secara langsung yaitu merancang sistem yang akan diimplementasikan pada plant-plant kendali yang telah dimiliki Polman yang dalam hal ini adalah pada system kendali motor DC berdasarkan diagram blok yang telah dihasilkan. Perancangan berupa software pengendali pada mikrokontrol yang menggunakan bahasa C dengan cross compiler yang disesuaikan terhadap mikrokontrol ATMEGA 8535. Selain itu akan dikembangkan beberapa perangkat keras sebagai penghubung antara plant dengan pengendali berupa sensor kecepatan dan driver penggerak motor. Perancangan perangkat keras harus sedemikian rupa sehingga seluruh komponen yang diperlukan dapat diperoleh dengan mudah di pasaran. Berdasarkan pengalaman yang telah dilakukan, pada umumnya hasil rancangan yang telah diimplementasikan harus melakukan serangkaian ujicoba untuk mengetahui fungsi perangkat keras, apakah keluarannya terhadap masukan telah sesuai dengan harapan. Selain itu penyesuaian software hasil rancangan harus lebih disempurnakan pada saat diuji bersama perangkat keras yang telah dibuat.

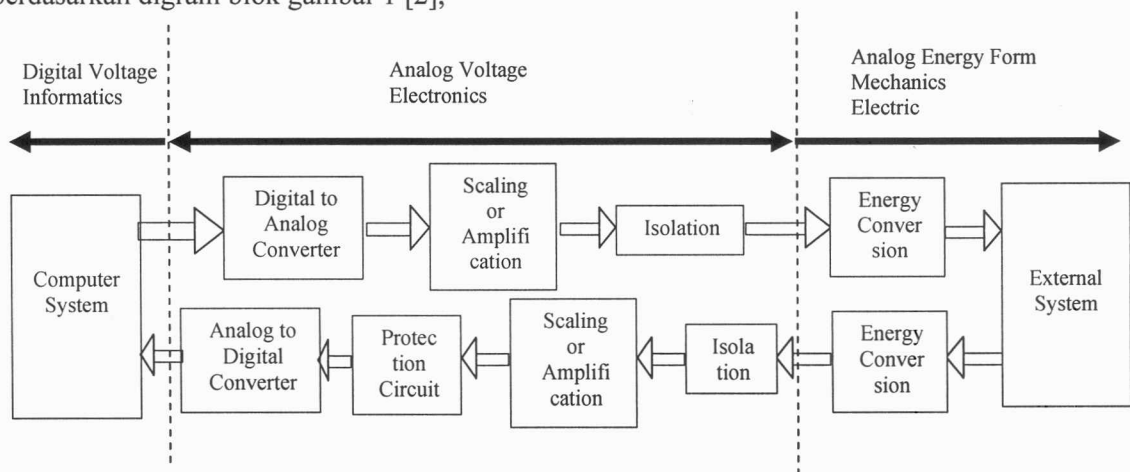
Penelitian yang akan dilakukan akan dibatasi berdasarkan dua faktor utama, yaitu option pada teknologi yang akan digunakan dan keterbatasan dana maksimum yang dapat dimanfaatkan. Berdasarkan pemilihan teknologi, penelitian akan difokuskan pada hal yang masih layak untuk diperdalam dan dapat mewakili permasalahan nyata di lapangan. Sebagai pengendali akan digunakan mikrokontrol yang akan mewakili sebuah pengontrol standard industri seperti PLC atau pengontrol lainnya yang tentunya untuk pengontrol standart telah didedikasikan sangat user friendly sehingga harganya cukup mahal. Di lain pihak dengan menggunakan mikrokontrol yang relatif murah harus mengembangkan piranti dan software sehingga membuatnya menjadi user friendly. Inilah salah satu inti kegiatan penelitian ini. Pengembangan program pada mikrokontrol sebagai pengendali akan menggunakan bahasa tingkat tinggi C yang akan dicross compile menjadi bahasa assembler dan file hex yang dihasilkan dari proses kompilasi akan langsung didownload ke mikrokontrol. Hal ini akan mengefisiensikan pengembangan software karena akan mempersingkat waktu dan menyederhanakan prosedur pemrograman dibandingkan langsung

menuliskan source code dalam bahasa assembler. Berdasarkan batasan dana maksimum yang dapat dialokasikan, penelitian akan membatasi pengembangan-pengembangan perangkat keras yang ada berdasarkan komponen-komponen yang ada di pasaran dengan harga yang relatif murah walaupun belum tentu memenuhi standart spesifikasi industri.

III. TINJAUAN PUSTAKA

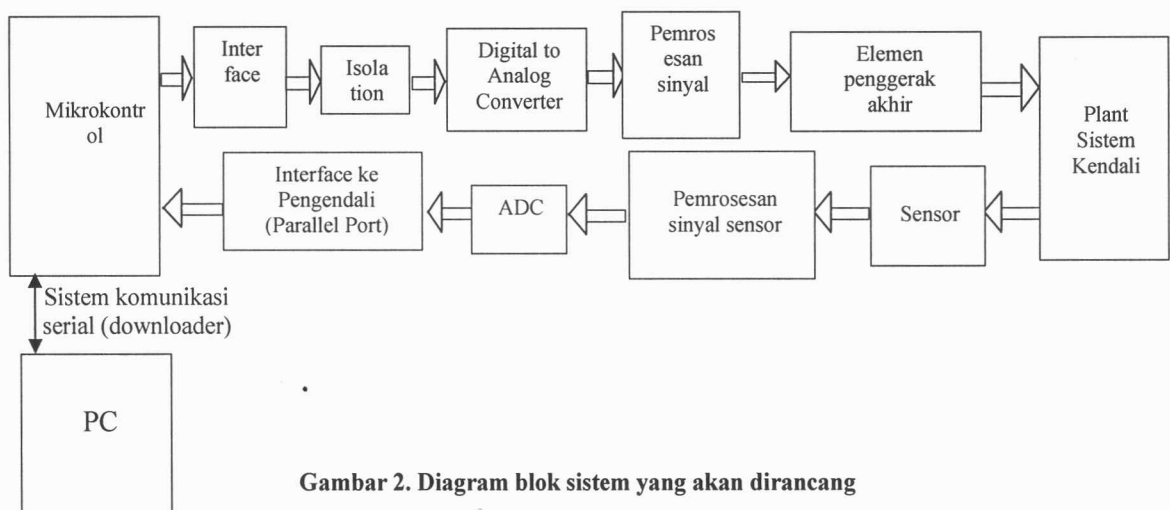
3.1. Sistem Pengendalian

Sistem-sistem pengendali yang menggunakan sistem digital mempunyai fungsi kerja berdasarkan digram blok gambar 1 [2],



Gambar 1. Diagram blok konstruksi sistem pengontrol berbasis komputer.

Berdasarkan diagram blok umum pada gambar 1, perangkat yang akan dirancang pada penelitian ini meliputi sistem pada diagram blok gambar 2,



Gambar 2. Diagram blok sistem yang akan dirancang

Pada sistem yang akan dirancang, mikrokontrol digunakan sebagai pengontrol. Sedangkan PC berfungsi sebagai editorial program dan downloader.

3.2. Pengendali

Unjuk kerja plant-plant yang dikontrol salah faktor utamanya ditentukan oleh sistem kendali yang digunakan. Sistem kendali inilah yang akan menunjukkan tingkat kecerdasan dari sistem tersebut. Pendekatan metode pengontrolan dapat menggunakan konvensional control (PID) atau intelligent control (seperti fuzzy logic, adaptif) atau menggabungkan ke dua-duanya. Terdapat dua pendekatan dalam perancangan sistem kendali, berbasiskan model (model based) dan tanpa pemodelan (model free based) [4]. *Model based* menggunakan persamaan-persamaan matematik berupa persamaan karakteristik keluaran terhadap masukan untuk setiap blok pada diagram. Kemudian karakteristik pengendali ditentukan untuk mendapatkan hasil karakteristik sistem yang optimal. Sedangkan *model free based* karakteristik eksperimen dari plant (open loop characteristic). Dengan metoda Ziegler Nichols atau Coohen Coon [5] menggunakan graphis dan perhitungan matematika sederhana akan dapat ditentukan karakteristik pengendali yang harus digunakan untuk mendapatkan karakteristik sistem yang optimum. Pengendali pada saat ini umumnya telah menggunakan sistem digital karena menggunakan sistem komputer sebagai pengontrol. Salah satu sistem komputer adalah mikrokontrol. Kemampuan sistem kontrol digital akan bergantung pada software dibandingkan sistem kontrol analog yang mengandalkan hardware. Pada pemilihan jenis pengendali dipertimbangkan batasan luaran (output) pada proses real, berupa maksimum overshoot, waktu naik (rise time) dan waktu settling [5].

Pada aplikasi software pengontrol diperlukan pula analisa matematik secara diskrit dengan metoda analisa numerik untuk menerjemahkan karakteristik matematik sistem kontrol. Hal ini harus disinkronisasi dengan waktu setiap perubahan data pada sensor, sehingga setiap waktu pemrosesan harus lebih cepat dibandingkan waktu perubahan setiap bit data pada sensor.

3.3. Rangkaian Pengisolasi (Isolation)

Rangkaian pengisolasi digunakan sebagai pemisah secara elektronik antara satu sub sistem dengan sub sistem yang lain [2], di mana karakteristik input dan output di antara ke dua sub sistem tersebut tidak boleh berubah. Pemisahan dapat dilakukan dengan merubah signal

elektronik/elektrik menjadi bentuk energi lain yang kemudian dikonversi kembali menjadi signal elektronik/elektrik. Biasanya perubahan tersebut dikonversi menjadi cahaya berupa opto-electronics atau medan magnet berupa transformator.

Pada penelitian ini digunakan dua fungsi rangkaian pemisah (isolation) sebagai pemisah antara mikrokontrol dan dunia luarnya (gambar 2). Hal ini bertujuan untuk mengurangi gangguan yang dihasilkan motor dan melindungi pengendali jika terjadi permasalahan pada sub sistem di luarnya, misalnya bila terjadi hubung singkat (short circuit). Rangkaian pemisah yang digunakan berupa rangkaian pemisah digital, sehingga digunakan piranti opto-electronics.

3.4. Rangkaian Konversi Digital ke Analog (Digital to Analog Conversion)

dan Rangkaian Penskala.

Rangkaian ini digunakan untuk menghasilkan sinyal analog yang akan digunakan sebagai masukan pada rangkaian pengemudi motor DC. Perancangan rangkaian pengkonversi sinyal digital ke analog ditentukan oleh jumlah data bit yang dihasilkan oleh rangkaian interface keluaran Mikrokontrol. Rangkaian DAC yang digunakan mempunyai kemampuan mengkonversi 8 bit data masukan yang berasal dari port keluaran mikrokontrol yang berjumlah 8 bit untuk satu satuan data.

Rangkaian penskala digunakan untuk mengatur penguatan dan pengoffsetan signal analog yang dihasilkan DAC agar sesuai dengan range kerja elemen penggerak akhir.

3.5. Elemen Penggerak Akhir

Elemen penggerak akhir merupakan elemen penggerak yang akan menentukan nilai luaran (output) pada plant. Pada sistem kendali proses, elemen penggerak akhir biasanya berupa katup pengontrol (control valve) di mana karakteristiknya dibuat proporsional antara besarnya bukaan terhadap besarnya aliran fluida yang melalui katup tersebut. Daya penggerak katup dapat berupa gas bertekanan (pneumatik) atau solenoid (elektrik).

Pada sistem servo mekanik, elemen penggerak akhir biasanya berupa motor atau silinder. Rangkaian kemudi motor digunakan sebagai pengatur kecepatan berdasarkan sinyal masukan yang diperoleh dari keluaran DAC. Sedangkan katup servo hidraulik atau pneumatik digunakan untuk menentukan kecepatan gerak silinder. Penelitian ini menggunakan motor DC sebagai elemen penggerak akhir.

3.6. Sensor

Sensor digunakan sebagai pendeteksi nilai luaran (output) proses pada plant untuk dijadikan nilai feedback pengendali. Dengan kata lain sensor berfungsi sebagai pendeteksi besaran fisik untuk dapat dikonversi menjadi besaran lain yang mudah untuk diproses (umumnya elektrik). Seringkali output sensor merupakan tegangan atau arus listrik dengan orde cukup rendah sehingga harus dikuatkan sampai level tertentu sebelum ditransmisikan. Penelitian ini akan menggunakan sensor kecepatan sebagai elemen umpan balik yang mengkonversikan putaran motor dalam bentuk rentetan pulsa-pulsa dengan frekwensi yang variable sesuai dengan kecepatan yang dihasilkan menjadi tegangan 0 – 5 Volt yang disesuaikan dengan standart referensi tegangan analog input ADC mikrokontrol.

IV. TUJUAN PENELITIAN

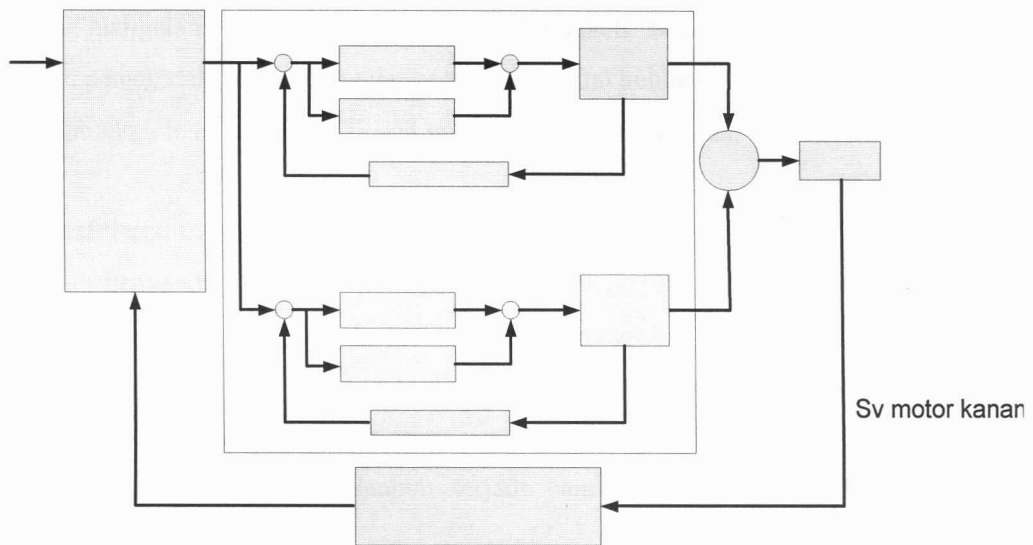
1. Mengembangkan mikrokontrol sebagai pengendali pada plant sistem kendali.
2. Menjadikan sistem tersebut sebagai suatu perangkat yang layak digunakan sebagai fasilitas pelatihan industri maupun praktik mahasiswa untuk memberikan pengetahuan secara mendalam akan sistem kendali.

V. METODOLOGI

Pendekatan umum dalam perancangan dan implementasi meliputi gabungan dari pendekatan dengan model maupun tanpa model yang disesuaikan dengan kondisi plant yang telah ada dan beberapa bagian perangkat keras yang akan dibuat. Untuk mencapai tujuan yang telah ditentukan, beberapa metoda yang akan dilakukan dalam penelitian ini secara berurutan meliputi,

1. Studi pada referensi yang digunakan untuk keseluruhan sub sistem yang dilibatkan.
2. Melakukan perancangan kerja sistem, baik dari sisi perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software) pada mikrokontrol sebagai pengendali dan PC sebagai server.
3. Perakitan perangkat keras dan pembuatan program kontrol (software).
4. Pengujian dan perbaikan, meliputi perangkat lunak dan perangkat keras.

VI. PERANCANGAN SISTEM



Gambar 1 Plant secara keseluruhan

SENSOR GARIS

Karakteristik plant akan mempengaruhi program dalam proses pembuatannya, khususnya untuk menentukan jenis pengendali yang digunakan. Plant yang digunakan adalah 'Robot Penjejak Garis' dengan aktuator berupa motor dc yang akan digunakan untuk menggerakkan roda. Masukan untuk plant ini adalah berupa *setpoint* yang diberikan oleh mikrokontroler pengendali sensor penjejak garis. *Setpoint* diberikan dengan menggunakan komunikasi serial. *Setpoint* yang diberikan adalah *setpoint* untuk motor kanan dan *setpoint* untuk motor kiri. *Setpoint* diolah dengan menggunakan metoda pengendalian konvensional. Keluaran mikrokontroler diolah oleh rangkaian DAC, karena masukan motor berupa tegangan dari 0-5 volt. Umpan balik dari kecepatan motor berupa sinyal pulsa yang kemudian diolah oleh *f to v* (frekuensi ke tegangan) untuk menjadi nilai analog dari 0 -5 volt, kemudian dikembalikan pada mikrokontroler. Mikrokontroler mengolah sinyal tersebut melalui ADC internal. Selanjutnya, *setpoint* akan dikurangi dengan *feed back motor* menghasilkan nilai *error* yang akan diolah oleh mikrokontroler untuk mengendalikan sistem.

Karakteristik yang diharapkan dari plant tersebut adalah :

- Motor DC diharapkan selalu mengolah dan mengejar nilai *setpoint* yang diberikan oleh mikrokontroler pengendali sensor penjejak garis.

- Mempertahankan pada keadaan tunak (*error steady states = 0*) yang disesuaikan dengan *setpoint*.
- Sistem akan mengalami pembebanan, dikarenakan oleh beban robot. Sehingga sistem membutuhkan pengendali yang dapat mempertahankan nilai keluaran bila diberi beban.
- Motor membutuhkan masukan dari 0-5 volt untuk mengatur kecepatan.

Berdasarkan karakteristik plan yang ada, maka konsep rancangannya adalah :

- Pada pemilihan pengendali diharapkan adalah menggunakan pengendali yang sesederhana dan seefektif mungkin. Jadi, bila dilihat dari kesesuaian pengendali terhadap plant dan dilihat dari kesederhanaan sistem, maka plant motor dc dapat dikendalikan dengan menggunakan pengendali proporsional-integral (PI). Karena pengendali proporsional dan integral ini mampu mempertahankan nilai keluaran walaupun terjadi pembebanan mekanis, selain itu dapat menghilangkan *error seady states*.
- Untuk Mikrokontroler digunakan ATmega8535
- Konsep untuk bahasa pemrograman menggunakan bahasa C

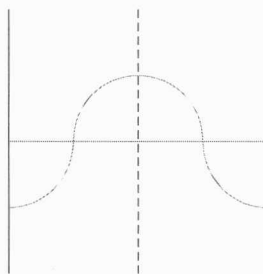
Pada pembuatan program ada beberapa acuan dan yang perlu diperhatikan diantaranya, adalah:

- Perumusan matematis dari pengendali PI

$$u(t) = K_p \left[e + \frac{1}{T_i} \sum_0^t e \cdot \Delta t \right] \quad (1)$$

Dengan menggunakan perumusan ini kita dapat melakukan pendekatan dari nilai setiap parameter dari pengendali yaitu nilai K_i , K_p , ataupun T_i .

- Pembagian zona pada grafik sistem yang berupa *underdamped transient*.



Gambar 2 Pembagian daerah pada pengendalian PI

Tabel 1 Tabel nilai untuk tiap daerah

zona	Proporsional (b)	Integral (e)
1	+	+
2	-	+
3	-	-
4	+	-

$$e = e1 - e2$$

$$b = \text{setpoint} - \text{sensor}$$

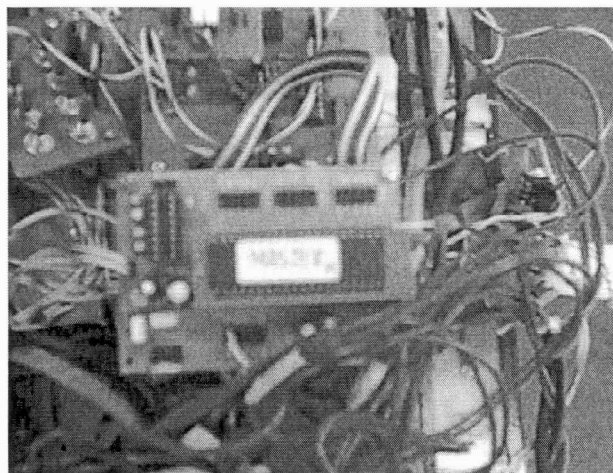
dari **gambar 2** penjelasan setiap zonanya dapat dilihat pada **tabel 1** ini berguna menentukan nilai keluaran pengendali. Maka dengan melakukan pendekatan dari kedua hal tersebut kita dapat mengaplikaskannya dalam sebuah program pengendali PI, dan dalam hal ini adalah memprogram mikrokontroler ATmega 8535 dengan menggunakan bahasa C.

VII. PERANGKAT DAN PERALATAN YANG DIBANGUN

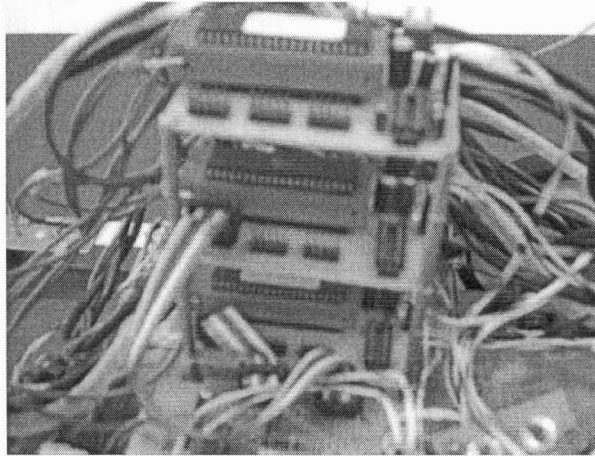
Perangkat dan peralatan yang dibangun meliputi,

1. Komponen sensor, pengolah sinyal dan rangkaian driver motor.
2. Bagian pengendali yang meliputi board mikrokontrol AVR atmega 8535.
3. Base robot beserta actuator motor.

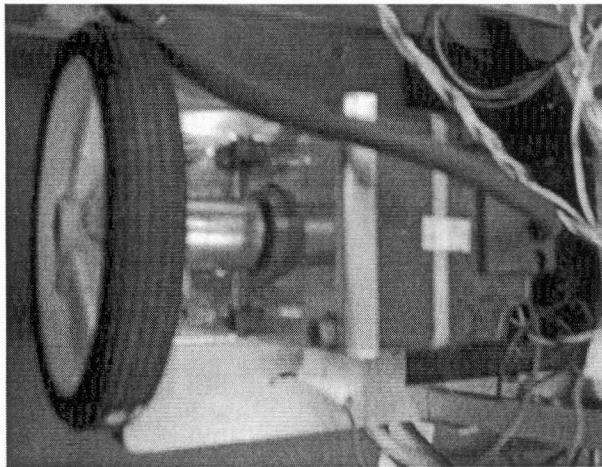
Perangkat-perangkat tersebut dapat dilihat pada gambar berikut,



Gambar 7.1. Rangkaian pengolah sinyal sensor dan driver motor.



Gambar 7.2. Rangkaian pengontrol menggunakan mikrokontrol AVR ATmega 8535



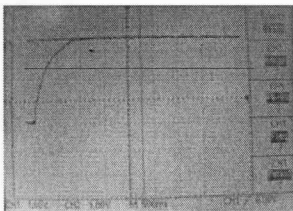
Gambar 7.3. Motor Servo DC yang ditempatkan sebagai penggerak roda pada base robot.

VIII. HASIL PENELITIAN DAN ANALISA

Respon pengendali dapat dilihat pada keluaran f to v karena *feedback* dari motor nilainya sesuai dengan kecepatan dari motor itu sendiri. Dengan kata lain, nilainya sama dengan respon dari keluaran yang dihasilkan oleh pengendali. Hasil dari respon ini dilakukan dengan melakukan perubahan nilai masukan pada parameter pengendali, yaitu dengan mengatur masukan dari konstanta proporsional (K_p) dan konstanta integral (K_i). Pada program pengendali, nilai dari parameter ini bukanlah nilai yang sebenarnya, melainkan hanya sebuah pendekatan dan tidak keluar dari kaidah pengendali proporsional integral. Karena, pada kenyataannya dalam penentuan

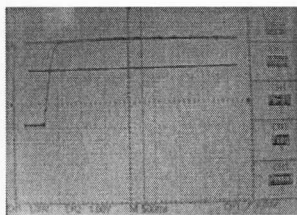
besarnya nilai parameter ini didasarkan pada waktu yang dibutuhkan sistem dalam setiap siklusnya (*cycle*).

Berikut ini adalah respon keluaran dari pengendali berupa grafik transient ketika tidak diberi beban mekanis :



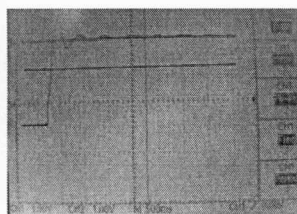
Garis merah = setpoint
Garishitam=respon motor
Setpoint = 2.5 volt
Time/div = 500 ms
 $K_p = 1$
 $K_i = 2$

Gambar3 Hasil pengujian 1 tanpa beban mekanis



Garis merah = setpoint
Garishitam=respon motor
Setpoint = 2.5 volt
Time/div = 500 ms
 $K_p = 2$
 $K_i = 4$

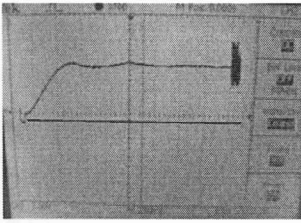
Gambar 4 Hasil Pengujian 2 tanpa beban mekanis



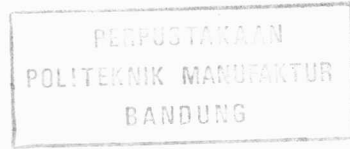
Garis merah = setpoint
Garishitam=respon motor
Setpoint = 2,5volt
Time/div = 500 ms
 $K_p = 2$
 $K_i = 8$

Gambar 5 Hasil Pengujian 3 tanpa beban mekanis

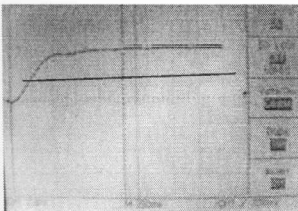
Berikut adalah grafik respon ketika terjadi pembebanan mekanis :



Garis merah = setpoint
Garis hitam = respon motor
Setpoint = 4 volt
Time/div = 250 ms
 $K_p = 2$
 $K_i = 4$



Gambar 6 Hasil pengujian 4 beban mekanis



Garis merah = setpoint
Garis hitam = respon motor
Setpoint = 4 volt
Time/div = 250 ms
 $K_p = 2$
 $K_i = 3$

Gambar 7 Hasil pengujian 5 beban mekanis

Dengan menggunakan pengendali PI ini keluaran yang dihasilkan pengendali memiliki karakteristik sbb:

- Pengendali PI dapat menghilangkan *offset* dan dapat mencapai *setpoint*.
- Keluaran pengendali membutuhkan selang waktu tertentu, sehingga pengendali integral dapat memperlambat respon.
- Dengan sifat yang menambah nilai *error*-nya, maka pengendali integral dapat mengejar *setpoint* walaupun terjadi perubahan beban.

IX. KESIMPULAN

Implementasi sistem kendali kecepatan motor pada roda *autonomous robot* dengan metoda konvensional proporsional integral berbasis ATmega8535 ini, dapat diambil kesimpulan bahwa, pada plant kendali kecepatan motor terjadi perubahan beban mekanik. Diharapkan sistem dapat mencapai nilai *setpoint* yang diberikan oleh pengendali sensor penjejak garis. Berdasarkan pernyataan tersebut maka pengendali yang tepat dan efektif adalah dengan menggunakan pengendali proporsional integral (PI). Dengan nilai parameter K_p yang tepat maka pencapaian keadaan *steady states* semakin cepat. Dengan nilai parameter K_i yang tepat maka pencapaian *setpoint* akan semakin cepat. Pada karya tulis ini dicari nilai optimum dari parameter dan waktu akselerasi yang tepat agar robot dapat berjalan mengikuti garis dengan baik dan stabil. Nilai parameter untuk menghasilkan respon yang baik adalah $K_i = 4$ dan $K_p = 2$. Pengendali proporsional integral ini masih bisa mempertahankan keadaan *steady states* dalam keadaan plant diberi pembebanan mekanis sehingga sangat cocok dengan plant sistem kendali kecepatan motor dc pada roda *autonomous robot*.

PUSPUSATAAN
POLITEKNIK MANUFATUR
BANDUNG

IX. DAFTAR PUSTAKA

1. W J. Tompkins, J G. Webster, Editors, "Interfacing Sensors to The IBM PC", Prentice Hall International, Inc., New Jersey, 1988.
2. D. J. Toncich, "Computer Architecture and Interfacing to Mechatronic Systems", Chrystobel Engineering, Brighton Australia, 1994.
3. Ernest O. Doebelin, "Measurement Systems", McGraw Hill International Editions, 4th Edition, 1990.
4. Son Kuswadi, Anang Tjahjono, Riyanto Sigit, Mohammad NUH, "Pengendali Cerdas: Suatu Review Hasil Penelitian Terapan Untuk Industri", EEPIS, Surabaya, 1999.
5. Katsuhiko Ogata, "Modern Control Engineering", Prentice Hall International, Inc., New Jersey, 3rd Edition, 1997.
6. Munir, Rinaldi (2004). *Algoritma dan Pemrograman*. Bandung : Penerbit Informatika.
7. Pitowarno, Endra. (2006). *Robotika. Disain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta : Penerbit : Erlangga.
8. Wardhana, Lingga. (2006). *Belajar Sendiri : Mikrokontroler AVR ATMEGA8535, Simulasi Hardware, dan Aplikasi*. Yogyakarta : Penerbit Andi.
9. Joelianto, Endra. (2005). *PID Controler : Tuning and Autotuning Control Loops*, Bandung : ITB.
10. Krass, Matt. (2006). *PID Control Theory*. [Online]. Tersedia : http://team358.org/files/programming/PIDControlTheory_rev3.pdf [1 Juli 2007]

X. PERSONALIA PENELITI

1. Ketua Peneliti

- a. Nama Lengkap : Bolo Dwiartomo
- b. Jenis kelamin : Laki-laki
- c. NIP : 132.137.897
- d. Disiplin ilmu : Sistem Kendali
- e. Pangkat/Golongan : Lektor / III.b
- f. Jabatan fungsional/struktural : Dosen
- g. Jurusan : Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
- h. Waktu penelitian : 20 jam/Minggu

2. Anggota Peneliti 1

- a. Nama Lengkap : Lukman
- b. Jenis kelamin : Laki-laki
- c. NIP : 132.306.539
- d. Disiplin ilmu : Informatika
- e. Pangkat/Golongan : Asisten Ahli / III.a
- f. Jabatan fungsional/struktural : Dosen
- g. Jurusan : Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
- h. Waktu penelitian : 20 jam/Minggu

2. Anggota Peneliti 2

- a. Nama Lengkap : Hendy Rudiansyah
- b. Jenis kelamin : Laki-laki
- c. NIP : -----
- d. Disiplin ilmu : Otomasi
- e. Pangkat/Golongan : Honorer
- f. Jabatan fungsional/struktural : Penyelia
- g. Jurusan : Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
- h. Waktu penelitian : 20 jam/Minggu