

**RANCANG BANGUN PROTOTYPE “GANTRY CRANE”
BERBASIS ANALISIS KESTABILAN ROUTH HURWITZ DAN KONTROL
ROBUST MENGGUNAKAN SPEKTRUM DSP TMS320C6713
[Prototype Design "Gantry Crane" Stability Analysis Based Routh Hurwitz And Robust
Control Using The Spectrum Dsp Tms320c6713]**

I Made Deny Saputra Adiyas¹, I Ketut Wiryajati², Rismon H. Sianipar³

ABSTRAK

Untuk membangun konstruksi bangunan tinggi seperti : gedung bertingkat, maka dibutuhkan tenaga kerja yang terampil, para ahli di bidang konstruksi, serta yang lebih penting adalah mesin-mesin yang berguna untuk membantu dan meringankan kerja manusia. Untuk mengangkat material secara otomatis dalam kapasitas, jangkauan dan tinggi angkat yang maksimum, maka diperlukan alat seperti Gantry Crane yang berguna untuk mengangkat serta memindahkan barang atau material dan struktur bangunan sehingga pengangkatan dengan Gantry Crane merupakan yang paling efektif. Untuk itu dalam menggunakan mesin pengangkat ini perlu adanya pengontrolan agar mesin dapat stabil dalam mengangkat barang. Dalam pengembangan sistem kontrol ini, perlu dilakukan perancangan parameter kendali seperti kendali PID dan yang lainnya yang terdapat pada mesin sehingga mesin dapat terkontrol dengan baik, dan perlu dilakukan pengujian simulasi sistem untuk menguji layak atau tidaknya suatu mesin tersebut. Pada proses pengujian sistem ini dilakukan dengan membuat simulasi menggunakan Matlab dan TMS (Texas Memory System) dan dilakukan analisis kestabilan pada mesin menggunakan metode-metode analisis kestabilan yang ada seperti : metode Root Locus, Lyapunov dan Routh Hurwitz.

Kata Kunci : *Sistem kontrol, Gantry Crane, TMS, Mikrokontroler, Matlab, Metode analisis Kestabilan Routh Hurwitz.*

ABSTRACT

To build such a high building construction: multi-storey buildings, it takes a highly skilled workforce, experts in the field of construction, as well as the more important are the machines that are useful to assist and alleviate human labor. To lift the material automatically in capacity, range and a maximum lift height, the necessary tools as useful Gantry Crane for lifting and transporting goods or materials and structures so that the appointment with Gantry Crane is the most effective. For that in using the forklift is necessary to control so that the engine can be stabilized in lifting. In the development of this control system, it is necessary to design the control parameters such as PID control and the others put on the machine so that the machine can be controlled properly, and system simulation testing needs to be done to test the feasibility of such a machine. In the process of system testing is done by creating a simulation using Matlab and TMS (Texas Memory System) and stability analysis on a machine using stability analysis methods available such as: Root Locus method, Lyapunov and Routh Hurwitz.

Keyword: *Control system, Gantry Crane, TMS, Microcontroller, Matlab, Routh Hurwitz stability*

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang sedang berkembang, dimana pada saat sekarang ini sedang menggalakkan pembangunan di segala bidang untuk meningkatkan taraf hidup bangsa Indonesia. Pembangunan sarana dan prasarana umum meliputi pembangunan industri, perhubungan, pusat perbelanjaan (mall), perkantoran, hotel, dan apartemen.

Untuk membangun konstruksi bangunan tinggi seperti : gedung bertingkat, maka dibutuhkan tenaga kerja yang terampil, para ahli di bidang konstruksi, serta yang lebih penting adalah mesin-mesin yang berguna untuk membantu dan meringankan kerja manusia itu sendiri. Sehubungan dengan itu maka dibutuhkan suatu alat yang dapat membantu mengangkat dan memindahkan material

¹. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat Indonesia

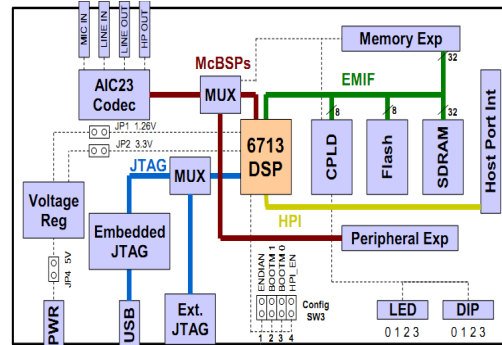
bangunan yang akan dipasang pada bangunan yang sedang dikerjakan dengan gerak dan mobilitas yang aman.

Untuk mengangkat material secara otomatis dalam kapasitas, jangkauan dan tinggi angkat yang maksimum, maka pengangkatan dengan *Gantry Crane* merupakan mesin yang paling efektif. Kecenderungan untuk memakai *Gantry Crane* saat ini semakin tinggi seiring dengan semakin meningkatnya pembangunan di Indonesia. Pesawat pengangkat ini berguna untuk mengangkat serta memindahkan material dan struktur bangunan yang akan dipasang pada bangunan yang sedang dikerjakan dan menjangkau semua area yang diinginkan.

Dalam pembuatan Tugas Akhir ini, akan dibuat suatu sistem pengendalian kestabilan konveyor dengan menggunakan metode kestabilan Routh Hurwitz berbasis Digital Signal Processing (DSP) seri TMS6713.

Pemroses sinyal digital seperti DSK TMS320C6713 adalah mikroprosesor dengan tipe khusus pada arsitekturnya dan sebuah instruksi yang cocok untuk pemrosesan sinyal. Pemrosesan sinyal digital digunakan untuk aplikasi pada range yang lebar dan biasanya digunakan untuk komunikasi kontrol hingga image processing. Paket DSK sangat bertenaga dengan hardware dan software yang membantu untuk pemrosesan sinyal secara real time. DSK memiliki ukuran 5 x 8 in meliputi C6713 floating point digital signal processor dan 32 bit stereo codec TLV 320AIC23. DSK meliputi 16 MB (MegaByte) pada Synchronous Dynamic Random (SDRAM) dan 256 KB (KiloBytes) pada flash memory. Terdapat empat konektor pada DSK untuk input dan output yaitu MIC IN untuk input dari microphone, LINE IN untuk input dari function generator, LINE OUT untuk output, dan HEADPHONE untuk output pada headphone.

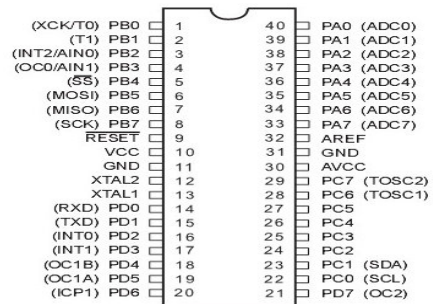
TMS320C6713. TMS320C6713 pada DSK adalah floating point processor yang didasari pada arsitektur VLIW (Very-Long-Instruction-Word). Memori internal meliputi 2 level penyimpanan daya, yang terdiri dari 4 KB pada level penyimpanan program (LIP), 4KB pada level 1 penyimpanan data (L1D), dan 256 pada level 2 pembagian memori antara program dan data. Selain itu, juga mempunyai sebuah interface untuk memerintah synchronous dan memori (SDRAM dan SDRAM) dan asynchronous memori (SPRAM dan EPROM).



Gambar 1. Blok Diagram TMS320C6713

CCS (Code Composer Studio) adalah penyedia sebuah Integrated Development Environment (IDE) untuk menggabungkan peralatan pada software. Peralatan tersebut antara lain C compiler, sebuah assembler, dan sebuah linker. Didalam Code Composer Studio (CCS) terdapat beberapa file pendukung.

Mikrokontroler. Mikrokontroler adalah sebuah chip yang yang didalamnya sudah terdapat mikroprosesor, I/O pendukung, memori bahkan ADC (Analog to Digital Converter). Mikrokontroler, adalah mikroprosesor yang dikhususkan untuk instrumentasi dan kendali contoh aplikasi kendali pada motor, berperan seperti PLC (Programmable Logic Control), pengaturan pengapian dan injeksi bahan bakar pada kendaraan atau alat mengukur suatu besaran, seperti suhu, tekanan, kelembaban dan lain-lain.



Gambar 2. Konfigurasi Pin Mikrokontroler

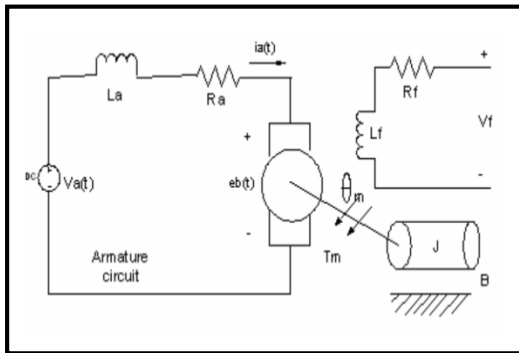
Motor DC. Motor listrik merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.

Pada motor dc kumparan medan disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika terjadi putaran pada kumparan jangkar dalam pada medan magnet, maka akan timbul tagangan (GGL) yang berubah-ubah arah pada

setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan bolak-balik.

Prinsip dari arus searah adalah membalik fasa negatif dari gelombang sinusoidal menjadi gelombang yang mempunyai nilai positif dengan menggunakan komutator, dengan demikian arus yang bebalik arah dengan kumparan jangkar yang berputar dalam medan magnet, dihasilkan tegangan (GGL).

Motor dc sering digunakan pada system kendali, untuk tujuan analitik, dimana diperlukan model matematis motor dc dalam aplikasi pada system kendali.



Gambar 3. Model rangkaian motor dc

Untuk fluks yang konstan, tegangan induksi e_b berbanding lurus dengan kecepatan sudut $d\theta/dt$.

Sensor Jarak (sensor HY-SRF05). Modul sensor HY-SRF05 pada prinsipnya berkerja dalam mendeteksi jarak antara modul sensor dan sebuah objek. Sensor SRF05 merupakan pemancar dan penerima gelombang ultrasonik. mikrokontroler akan memberikan trigger untuk mengaktifkan modul sensor SRF05.

Modul sensor SRF05 mendeteksi jarak objek dengan cara memancarkan gelombang ultrasonik (40 kHz) selama tBURST (200 μ s) kemudian mendeteksi pantulannya. Modul sensor SRF05 memancarkan gelombang ultrasonik sesuai dengan kontrol dari mikrokontroler pengendali.

Sensor Berat (Loadcell). Sensor berat yang digunakan adalah load cell. Load cell yang dipakai dalam Tugas Akhir ini memiliki kapasitas berat maksimum 10 kg. Akan tetapi dalam perancangan tugas akhir ini kapasitas berat yang dipakai hanya setengah dari kapasitas berat yang mampu dibaca oleh loadcell yaitu hanya berat sampai dengan 5 kg, karena berat maksimal benda dalam perancangan tugas akhir ini adalah hanya berat 5 kg.

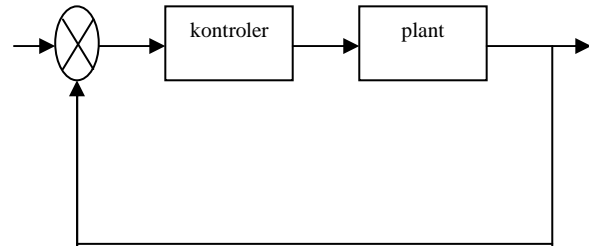
Pada saat Load cell digunakan dengan diberi alas di bawahnya dan tempat di atasnya,

Pada saat dalam kondisi tidak ada beban tegangan keluaran dari Load cell tersebut adalah 0v.

Tegangan keluaran dari sensor Load Cell sangat kecil, sehingga untuk mengetahui perubahan tegangan keluaran secara linier dibutuhkan rangkaian penguat instrumen.

Metode Kontrol PID. Penggunaan parameter kontrol PID (Propositional Integral Diferensial) selalu didasari atas tinjauan terhadap karakteristik yang diatur (Plant). Dengan demikian berapapun rumitnya suatu plant, perilaku plant tersebut harus diketahui terlebih dahulu sebelum penalaan parameter PID itu dilakukan, karena penyusunan model matematis plant tidak mudah, maka dikembangkan suatu metode eksperimental. Metode ini didasarkan pada reaksi plant yang dikenai suatu perubahan.

Hal ini disebabkan karena sistem ini merupakan sistem kontrol loop tertutup yang cukup sederhana dan kompatibel dengan sistem kontrol lainnya sehingga dapat dikombinasikan dengan sistem kontrol lain seperti kontrol Fuzzy, kontrol Adaptif dan kontrol Robust.



Gambar 4. Blok Diagram PID

Fungsi alih H(s) pada sistem kontrol PID merupakan besaran yang nilainya tergantung pada nilai konstanta dari sistem P, I dan D.

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \dots\dots\dots(1)$$

Sistem kontrol PID terdiri dari tiga buah cara pengaturan yaitu kontrol P (Proportional), D (Derivative) dan I (Integral), dengan masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Dalam implementasinya masing-masing cara dapat bekerja sendiri maupun gabungan diantaranya. Dalam perancangan sistem kontrol PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter P, I atau D agar tanggapan sinyal keluaran sistem terhadap masukan tertentu sebagaimana yang diinginkan.

Metode Ziegler-Nichols. Ziegler-nichols pertama kali diperkenalkan metodenya pada tahun 1942. Metode ini memiliki dua cara, metode osilasi dan kurva reaksi. Kedua metode ditunjukkan untuk menghasilkan respon system dengan lonjakan maksimum sebesar 25%. Ziegler – Nichols mengusulkan aturan untuk menentukan nilai Kp, Ti dan Td berdasarkan pada karakteristik tanggapan peralihan dari plant yang diberikan.

Tabel 1. Formula Ziegler-Nichols untuk metode Kurva reaksi

Tipe pengendali	Kp	Ti	Td
P	T/L	-	-
PI	0.9 T/L	L/0.3	-
PID	1.2 T/L	2L	0.5L

Tabel 2. Formula Ziegler-Nichols untuk metode osilasi.

Tipe pengendali	Kp	Ti	Td
P	0.5 Ku	-	-
PI	0.45 Ku	½ Pu	0
PID	0.5 Ku	0.5 Pu	0.125

Robustness Sistem

Selain performansi, Robustness dari suatu sistem juga mulai diperhitungkan orang. Robustness suatu sistem menunjukkan kemampuan sistem untuk tetap memberikan performansi yang diinginkan meskipun ada perubahan (ketidak-tentuan) parameter plant yang signifikan.

Metode Kestabilan Routh-Hurwitz

Analisa kestabilan Routh Hurwitz

- (a) Kestabilan merupakan hal terpenting dalam sistem kendali linear.
- (b) Pada kondisi apa sistem menjadi tak stabil, dan bagaimana cara menstabilkannya.
- (c) Sistem stabil bila pole-pole loop tertutup terletak disebelah kiri bidang-s.
- (d) Dengan menggunakan kriteria kestabilan Routh, dapat diketahui jumlah pole loop tertutup yang terletak didaerah tak stabil tanpa perlu mencari solusi persamaan karakteristik A(s).

Kriteria Kestabilan Routh Huwitz

- (a) Kriteria ini menunjukkan adakah akar-akar tak stabil persamaan polinom orde n (n=berhingga) tanpa perlu menyelesaikannya.
- (b) Untuk sistem kendali, ketabilan mutlak langsung dapat diketahui dari koefisien-koefisien persamaan karaktristik.

METODE PENELITIAN

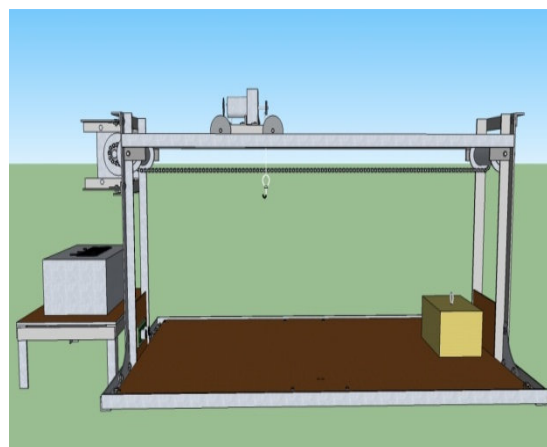
Perancangan Sistem. Secara garis besar perancangan sistem ini dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu:

- 1. Perancangan hardware (perangkat keras), yang meliputi perancangan mekanik dan permodelan Prototype Gantry Crane, perancangan driver motor DC, perancangan minimum sistem ATmega 16, perancangan sensor dan perancangan catu daya.
- 2. Memodelkan sistem secara keseluruhan serta menganalisis dengan metode Routh Hurwitz.
- 3. Perancangan software (perangkat lunak), yang meliputi program yang akan dimasukkan kedalam DSP seri TMS 320c6317 untuk melihat perfomansi dari sistem tersebut.

Perancangan Hardware (Perangkat Keras).

Mekanik pada tugas akhir ini menggunakan besi berbentuk siku sebagai rangkanya serta pengait yang digunakan untuk mengangkat barang agar dipindahkan dari tempat yang satu ke tempat ke dua. *Gantry Crane* pada tugas akhir ini menggunakan roda penggerak (*klahar*) yang bisa bergerak dan bergeser dari kiri ke kanan dan sebaliknya.

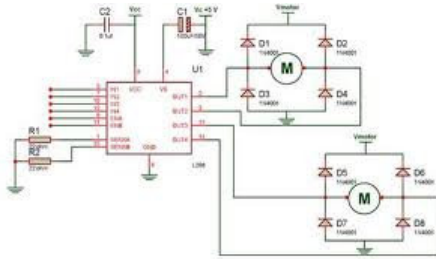
Untuk *Gantry Crane* ini dibuat dengan panjang, lebar serta tinggi 100 cm x 40 cm x 60 cm dan untuk roda penggerak didesain lebih kecil karena hanya digunakan untuk penggerak dan pemindah barang agar mudah untuk digerakan, sehingga untuk alat penggeraknya didesain dengan ukuran panjang dan lebarnya 10 cm x 14 cm.



Gambar 5. Perancangan *Gantry Crane*

Perancangan Driver Motor DC. Untuk memutar motor DC ini diperlukan rangkaian driver. Pada alat ini, driver motor dc dilengkapi dengan rangkaian pembalik putaran. Jadi,

driver motor dc ini dapat mengatur arah putaran motor *forward* dan *reverse*. Dalam perancangan driver ini, menggunakan komponen IC L298 sebagai pengendali motor.



Gambar 6. Rangkaian Driver Motor DC

Perancangan Sensor Berat . *Load Cell* adalah komponen utama pada sistem timbangan digital. Tingkat keakuratan timbangan bergantung dari jenis *Load Cell* yang dipakai. *Output* sensor *load cell* berupa tegangan. Nilai tegangan *output* dari sensor adalah 2 mV. Karena output dari *Loadcell* sangat kecil, maka perlu dilakukan penguatan agar output dari *loadcell* dapat terbaca pada Mikrokontroler. Untuk itu dalam perancangan penguat untuk *loadcell* digunakan komponen IC AD620 dan OP-AMP untuk menguatkan output dari *loadcell* tersebut agar bias terbaca oleh mikrokontroler. Berikut adalah rangkaian penguat menggunakan IC AD620 dan OP-AMP.

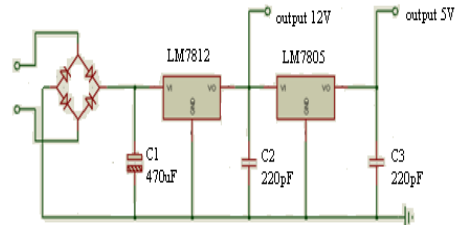
Perancangan Sensor Jarak. Sensor jarak yang digunakan pada alat adalah sensor jarak tipe HY-SRF05. SRF05 merupakan sensor pengukur jarak yang menggunakan ultrasonik. Dimana prinsip kerja sensor Ultrasonik ini adalah pemancar (*transmitter*) mengirimkan seberkas gelombang ultrasonik, lalu diukur waktu yang dibutuhkan hingga datangnya pantulan dari obyek. Lamanya waktu ini sebanding dengan dua kali jarak sensor dengan obyek, sehingga didapat jarak sensor dengan obyek.

Sensor jarak SRF05 dengan spesifikasi sebagai berikut :

1. Bekerja pada tegangan DC 5 volt
2. Beban arus sebesar 30 mA – 50 mA
3. Menghasilkan gelombang dengan frekuensi 40 KHz
4. Jangkauan jarak yang dapat dideteksi 3 cm – 400 cm
5. Membutuhkan trigger input minimal sebesar 10 uS
6. Dapat digunakan dalam dua pilihan mode yaitu input trigger dan output echo terpasang pada pin yang berbeda atau input trigger dan output echo terpasang dalam satu pin yang sama.

Perancangan Catu Daya. Catu daya yang dibutuhkan pada alat ini adalah 5 V, 12 V dan -12 V. oleh karena itu digunakan IC regulator 7805 , 7812 dan 7912.

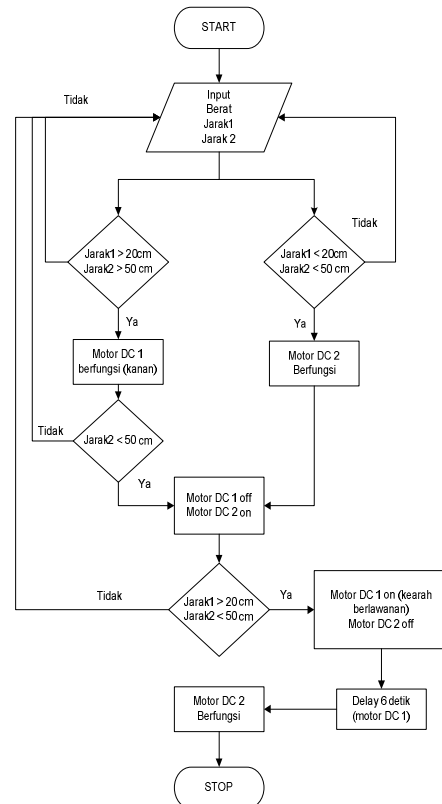
Berikut adalah Rangkaian Catu daya yang digunakan.



Gambar 7. Rangkaian Catu Daya

Perancangan Perangkat Lunak. Pada perancangan perangkat lunak akan dibuat algoritma program dengan bahasa pemrograman C pada *software* CodeVision AVR C Compiler sebagai compiler mikrokontroler dan pemrograman pada *software* CCS (*Code Composer Studio*) untuk menganalisis sinyal dari motor DC 1 dan motor DC 2.

Berikut adalah Flowchart program system *Gantry Crane*.



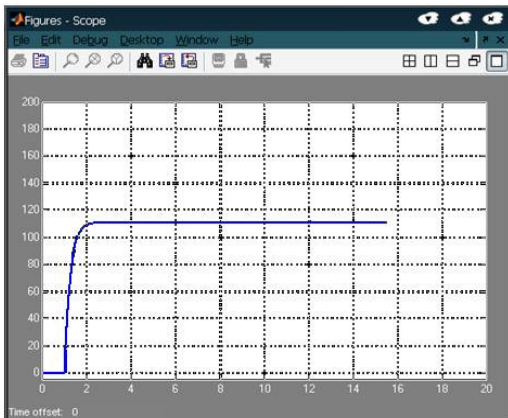
Gambar 8. Flowchart Program

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian menggunakan Matlab Simulink Dari data fungsi transfer motor dc 1 yang telah didapat (G_1) maka dengan ditambahkan kontroller PID maka didapat blok diagram sebagai berikut :

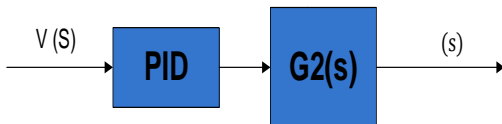
Gambar 9. Blok diagram motor dc 1 ditambahkan dengan kontroler

Dalam proses pengontrolan ini metode yang digunakan adalah Zieger-Nichols, sehingga didapat nilai parameter PID adalah $K_p = 15$, $T_i = 1.48 \times 10^{-3}$ dan $T_d = 3.7 \times 10^{-4}$. Dan berikut adalah grafik respon Motor DC 1 Menggunakan Matlab Simulink.



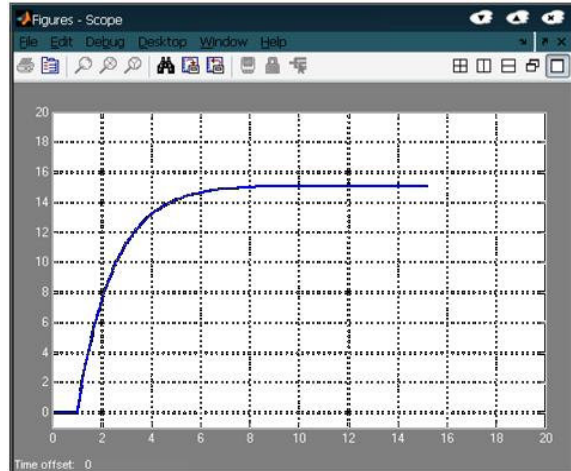
Gambar 10. Grafik hasil respon motor dc 1 pada Matlab

Dari data fungsi transfer motor dc 2 yang telah didapat (G_2) maka dengan ditambahkan kontroller PID maka didapat blok diagram sebagai berikut :



Gambar 11. Blok diagram motor dc 2 ditambahkan dengan kontroler

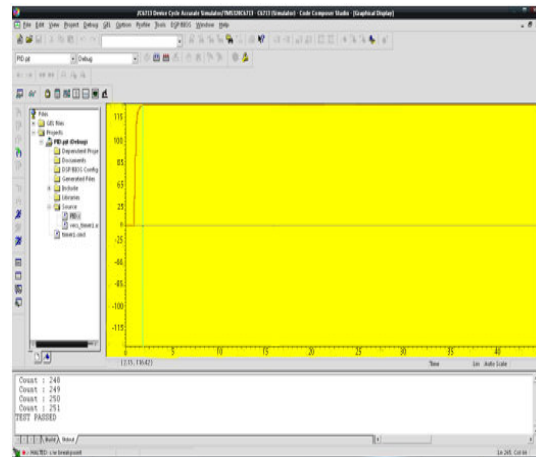
Dalam proses pengontrolan ini metode yang digunakan adalah Zieger-Nichols, sehingga didapat nilai parameter PID adalah $K_p = 165.04$, $T_i = 5.92 \times 10^{-3}$ dan $T_d = 1.48 \times 10^{-3}$. Dan berikut adalah grafik respon Motor DC 2 Menggunakan Matlab Simulink.



Gambar 12. Grafik hasil respon motor dc 2 pada Matlab

Pengujian menggunakan TMS. Pada menggunakan DSP untuk memasukan nilai persamaan fungsi transfer motor pada DSP (*digital signal processing*) maka harus di ubah terlebih dahulu kedalam fungsi state space.

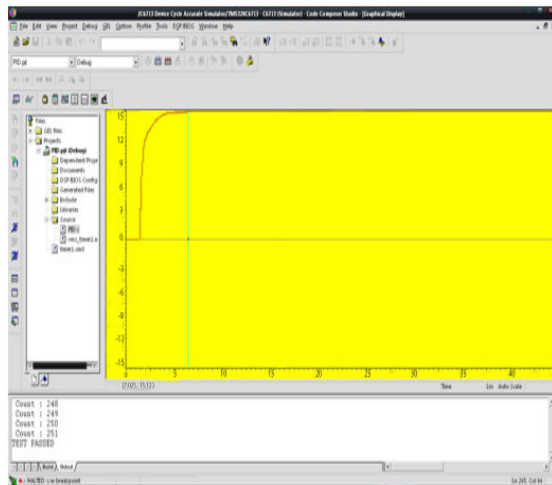
Sehingga di dapat gambar grafik respon motor dc 1 menggunakan kontroler pada TMS sebagai berikut :



Gambar 13. Grafik hasil respon motor dc 1 pada TMS

Pada menggunakan DSP untuk memasukan nilai persamaan fungsi transfer motor pada DSP (*digital signal processing*) maka harus di ubah terlebih dahulu kedalam fungsi state space.

Sehingga di dapat gambar grafik respon motor dc 2 menggunakan kontroler pada TMS sebagai berikut :



Gambar 14. Grafik hasil respon motor dc 2 pada TMS

Analisa Routh Hurwitz. Dari data motor yang telah dihitung, kita dapat menganalisa apakah sistem tersebut stabil atau tidak dengan menggunakan analisa routh hurwitz. Berikut adalah analisa Routh Hurwitz pada masing-masing motor dc dan analisa Routh Hurwitz pada keseluruhan sistem.

Motor DC 1. Pada tegangan 12 volt di dapat persamaan pada motor DC 1 yaitu :

Persamaan karakteristik dari persamaan diatas adalah :

$$FT = \frac{8,059 s^2 + 21783,75s + 14718750}{1,95 \times 10^{-3} s^3 + 381,63 s^2 + 21980,06 s + 14718750}$$

Maka dapat dianalisa dengan membuat tabel routh :

$$\begin{array}{r} s^3 \\ s^2 \\ s^1 \\ s^0 \end{array} \quad \begin{array}{c} = \\ = \\ = \\ = \end{array} \quad \begin{array}{c} = \\ = \\ = \\ = \end{array}$$

sehingga:

$$\begin{array}{r} 0 \\ 14718750 \\ 21904.85 0 \\ 14718750 \end{array}$$

Karena pada kolom pertama tidak terdapat perubahan tanda maka semua akar-akar persamaan karakteristik mempunyai bagian nyata dan sistem bersifat stabil.

Motor DC 2 . Pada tegangan 12 volt di dapat persamaan pada motor DC 2 yaitu :

$$FT = \frac{9,97 \times 10^{-3} s^2 + 6,73s + 1138,08}{5,49 \times 10^{-7} s^3 + 0,66 s^2 + 7,17 s + 1138,08}$$

Persamaan karakteristik dari persamaan diatas adalah :

Maka dapat dianalisa dengan membuat tabel routh :

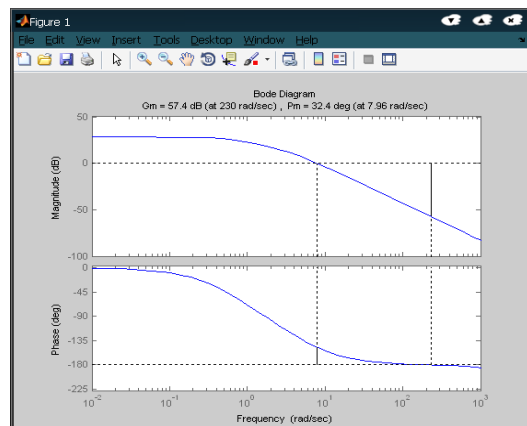
$$\begin{array}{r} s^3 \\ s^2 \\ s^1 \\ s^0 \end{array} \quad \begin{array}{c} = \\ = \\ = \\ = \end{array} \quad \begin{array}{c} = \\ = \\ = \\ = \end{array}$$

sehingga:

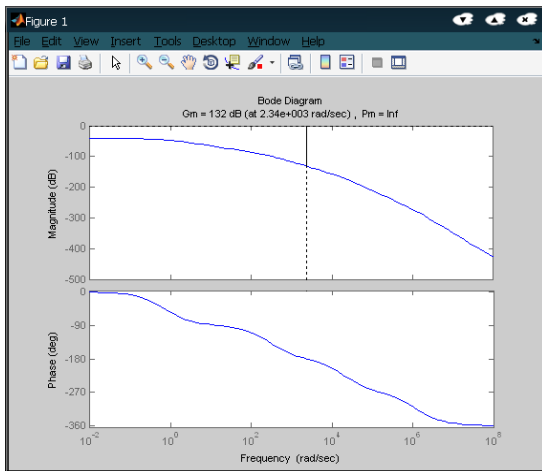
$$\begin{array}{r} 0 \\ 7.16 \\ 0 \end{array}$$

Karena pada kolom pertama tidak terdapat perubahan tanda maka semua akar-akar persamaan karakteristik mempunyai bagian nyata yang negatif dan sistem bersifat stabil.

Analisa Robustness. Robustness suatu sistem diamati dengan mencari gain margin (GM) dan phase margin (PM) dari sistem tersebut. Dengan nilai GM dan PM yang mengikuti batas yang ditetapkan, maka sistem dikatakan mempunyai stabilitas relatif dan Robustness yang baik. Pencarian nilai GM dan PM dilakukan dengan instruksi margin pada MATLAB.



Gambar 15. Respon Frekuensi Sistem Robust pada motor DC 1

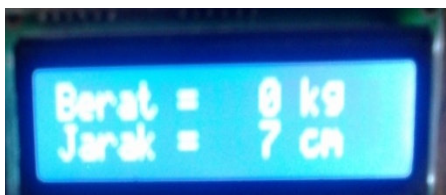


Gambar 16. Respon Frekuensi Sistem Robust pada motor DC 2

Dari keseluruhan Gambar hasil respon analisa Robust diatas, jika besarnya GM (Gain Margin) dan PM (Phase Margin) negatif, maka sistem tidak stabil. Dari semua grafik analisa robustness menggunakan MATLAB diatas dapat dilihat bahwa nilai GM dan PM tidak ada yang negatif sehingga dapat dikatakan bahwa sistem tersebut stabil.

Pengujian Keseluruhan Alat. Pada pengujian keseluruhan alat, semua perangkat mekanik, perangkat elektronik, dan perangkat lunak dirangkai menjadi satu.

Berikut adalah gambar pengujian alat yang di uji dengan berat beban yang berbeda-beda dengan menggunakan balok semen sebagai beban uji, dengan tampilan berat benda yang ditampilkan pada LCD.



Gambar 17. Tampilan pada LCD

Gantry crane ini berkerja secara otomatis dengan prinsip mendekteksi jarak yang ditentukan oleh sensor SRF05. Jauh dan dekatnya motor bergerak ditentukan oleh pembacaan dari sensor jarak, berat dari benda tidak mempengaruhi pergerakan dari motor untuk mendeteksi keberadaan benda karena sensor berat disini berfungsi untuk mengetahui berat benda saja. Berikut adalah bentuk proto type gantry crane secara keseluruhan pada saat bekerja.



Gambar 18. Prototype Gantry Crane Secara Keseluruhan

KESIMPULAN

Dari pengukuran dan pengujian alat yang telah dilakukan, baik dari perangkat lunak ataupun perangkat keras dapat ditarik kesimpulan dan saran sebagai berikut.

1. Persentase error sensor jarak dalam keseluruhan sistem sangat kecil yaitu mencapai 3,165 % , ini menandakan bahwa pembacaan sensor jarak dalam sistem sesuai dengan yang diharapkan.
2. Persentase error sensor berat (Load Cell) dalam keseluruhan sistem sangat kecil yaitu mencapai 1,96 % , ini menandakan bahwa pembacaan sensor berat dalam sistem sesuai dengan yang diharapkan.
3. Persentase error rise time (T_r) , time to peak (T_p) dan Setling time (T_s) pada motor dc 1 mencapai : $T_r= 9.67 %$, $T_s= 1.17 %$, dan $T_p= 4.95 %$.
4. Persentase error rise time (T_r) , time to peak (T_p) dan Setling time (T_s) pada motor dc 2 mencapai : $T_r= 6.79 %$, $T_s= 0.21 %$, dan $T_p= 0.37 %$.
5. Persentase error rise time (T_r) , time to peak (T_p) dan Setling time (T_s) pada permodelan secara close-loop mencapai : $T_r= 10.8 %$, $T_s= 11.1 %$, dan $T_p= 2.75 %$.
6. Persentase error kecepatan pada masing-masing motor mencapai 0.6 % pada motor dc 1 , 1.4 % pada motor dc 2, dan 0.7 % pada permodelan secara close-loop, ini menandakan bahwa sistem berjalan dengan baik dan sesuai dengan yang diharapkan.
7. Tegangan keluaran dari tiap-tiap port pada mikrokontroler sama dengan tegangan masukan ke rangkaian, hal ini menunjukkan bahwa tiap-tiap port pada rangkaian minimum mikrokontroler dapat bekerja dengan baik atau sesuai dengan yang diharapkan.

8. Untuk melihat hasil respon dengan menggunakan TMS, pada semua fungsi transfer keseluruhan sistem harus dibuat dalam bentuk State-Space dan hasil responnya sama dengan Matlab.
9. Pada analisa Routh Hurwitz semua sistem bersifat stabil, karena tidak ada perubahan tanda pada suku kolom pertama.

SARAN

Dalam perancangan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan yaitu menggunakan TMS dan mikrokontroler. Diharapkan bagi kedepannya, untuk yang menggunakan TMS memperhatikan seri TMS yang akan digunakan karena seri pada tiap-tiap TMS berbeda sesuai dengan fungsinya masing-masing.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Buku Petunjuk Penggunaan DSP seri TMS320C6713.
- [2] Distefano J Yoseph, PHd, Stubberud, Wiliem.,1996., *Sistem Pengendali Umpan Balik.*, Erlangga Jakarta.
- [3] John Wiley & Sons, inc., *Publication Digital Signal Processing and Applications with the C6713 and C6416 DSK.*
- [4] Ogata, Katsuhiko., 1997, *Teknik ontrrol Otomatik*, Edisi 2 Jilid 1/2., Erlangga Jakarta.
- [5] Padmakumar S., Vivek Agarwal, and Kallol Roy.,2009., *A Tutorial on Dynamic Simulation of DC Motor and Implementation of Kalman Filter on a Floating Point DSP.*
- [6] Setiawan Iwan, ST.,MT., *Buku Ajar Sensor dan Transduser* . Program Studi Komputer Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- [7] Siswoyo., 2008., *Teknik Listrik Industri Jilid 1 dan 2.*, Jakarta
- [8] Winoto, Ardi, 2008. *Mikrokontroler AVR ATmega8/32/16/8535 dan pemrogramannya dengan Bahasa C pada WinAVR*, Informatika, Bandung.
- [9] <http://elektrokontrol.blogspot.com/2011/06/realisasi-kontrol-pid-proporsional.html>