

Kendali Kecepatan Motor *Crane* terhadap Sumbu Vertikal menggunakan *Distributed Control System (DCS)*

Hendy Heryanto Surya¹, Budi Kartadinata²
^{1,2}Program Studi Teknik Elektro – Fakultas Teknik
Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya – Jakarta
Email: hendyheryanto@yahoo.com¹, budi.kartadinata@gmail.com²

ABSTRAK

Pendistribusian barang merupakan salah satu hal penting yang dilakukan pada pabrik. *Hoist crane* merupakan alat transportasi barang yang umum digunakan untuk memindahkan barang seperti memuat dan menurunkan peti kemas, pekerjaan konstruksi bangunan, dan sebagainya. Namun, dalam penerapannya sering dijumpai ketinggian barang serta ketinggian tempat peletakan yang berbeda-beda, sehingga diperlukan tambahan operator untuk mengawasi penempatan *hoist*. Penambahan sensor ultrasonik merupakan solusi untuk mengurangi operator dan dapat membuat *hoist* berhenti tepat pada ketinggian yang diinginkan. Sensor ultrasonik digunakan untuk memberi data berupa jarak tempuh dengan cara menghubungkan keluaran sensor dengan *Distributed Control System (DCS)*. DCS dihubungkan dengan *Variable Speed Drive (VSD)* sebagai pemberi tegangan ke motor. Pergerakan motor diatur menggunakan kontroler *Proportional Integral Derivative (PID)* yang parameternya didapatkan melalui metode Ziegler-Nichols, sehingga dapat menghasilkan pergerakan yang baik dan dapat mencapai kecepatan yang diinginkan. Dengan menggunakan algoritma PID, sistem mampu beradaptasi terhadap pembebanan dan perubahan nilai kecepatan yang diinginkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat digunakan untuk mengatur perubahan nilai kecepatan motor *crane* berdasarkan jarak.

Kata kunci: kendali, *crane*, *hoist*, DCS, VSD

ABSTRACT

Goods distribution is an important thing to do in a factory. Hoist crane system is commonly used as a goods transportation to move from one place to another such as load and unloading container, construction work, etc. Whereas, the height of the container and the elevation of the destined position are varied. Therefore, an additional operator is needed to supervise the correct placement of the container. With the addition of ultrasonic sensor to the system, the additional operator is no longer needed to guarantee the correct positioning of the hoist. Ultrasonic sensor is used to send distance data to Distributed Control System (DCS). DCS together with Variable Speed Drive (VSD), are used to ensure the smooth travel of the load. The motor movement controlled by using Proportional Integral Derivative (PID) controller. The PID parameter are determined through Ziegler-Nichols method. By using PID system, the hoist can regulate its speed according to the load and the proximity of the destined position. According to the experiment, the ultrasonic sensor, together with DCS, VSD and PID, the system can ensure the vertical travel of the load.

Keywords: control, crane, hoist, DCS, VSD

PENDAHULUAN

Hoist Crane banyak diaplikasikan pada beberapa bidang industri besar seperti pengangkutan beban di pelabuhan untuk memuat atau menurunkan peti kemas, pekerjaan konstruksi bangunan, pengangkatan kontainer dari gudang, dan sebagainya. Pada pergudangan suatu perusahaan, salah satu cara menaikkan dan menurunkan barang dari atau menuju truk kontainer adalah dengan menggunakan *crane*. Dalam pengangkutan suatu barang tentulah dihadapkan kepada berbagai macam kondisi, seperti tingginya peti barang, berat yang berbeda, serta tinggi-rendahnya landasan kontainer yang berbeda. Sehingga kondisi ini perlu disesuaikan agar *hoist* dapat bergerak sesuai kebutuhan.

Penelitian ini bertujuan agar kecepatan putar motor pada *hoist* dapat diatur berdasarkan jarak sehingga kecepatan yang diinginkan dapat tercapai.

TEORI PENDUKUNG

A *Distributed System Control*

Distributed Control System (DCS) merupakan kontrol terdistribusi ke seluruh bagian proses yang terdapat pada sistem. DCS bekerja dengan menggunakan beberapa kontroler dan mengkoordinasikan kerja semua kontroler melalui komunikasi

DCS terdiri atas tiga komponen dasar, yaitu:

1. *Operator station* merupakan tempat *user* melakukan monitoring terhadap proses yang berjalan.
2. *Control Module* merupakan pusat kontrol atau sebagai otak dari seluruh pengendalian proses.

3. *I/O Module* merupakan *interface* antara *control module* dengan peralatan di lapangan.

B Bahasa Pemrograman Freelance

Penelitian ini menggunakan program *Freelance* dengan bahasa pemrograman berupa *function block*. Pada *Freelance* terdapat beberapa jenis *function block*, antara lain:

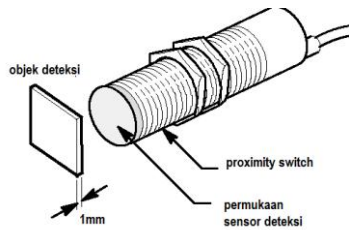
1. Blok aritmatika
Merupakan blok program untuk melakukan proses aritmatik / perhitungan seperti menjumlahkan, mengurangi, mengalikan, atau membagi nilai variabel dengan nilai variabel lainnya.
2. Blok *logic*
Merupakan blok program yang berisi fungsi-fungsi logika seperti: AND, OR, NOT, dan XOR.
3. Blok komparator
Merupakan blok yang berfungsi untuk membandingkan nilai dua buah variabel sejenis.
4. Blok kontroler
Berfungsi untuk mengontrol nilai keluaran agar variabel yang dikontrol mencapai nilai *set point*. Blok ini berisi fungsi kontroler *Proportional Integral Derivative*.
5. Blok *timer*
Blok pewaktu yang berfungsi untuk menunda nilai.
6. Blok *counter*
Merupakan blok penghitung nilai naik atau nilai turun.
7. Blok *trend*
Merupakan blok yang berfungsi untuk menampilkan perubahan nilai sebuah variabel dalam bentuk grafik.
8. Blok variabel
Berfungsi untuk memasukkan nilai ke variabel atau mengambil

nilai dari sebuah variabel yang terdapat pada program.

9. Blok *data converter*
 Berfungsi untuk mengubah tipe data agar variabel yang berbeda tipe dapat saling terhubung satu sama lain.

C Proximity Sensor

Proximity sensor adalah sebuah alat pendeteksi keberadaan sebuah benda dan kedekatan objek. Sensor ini memiliki cara kerja, jika mendeteksi sebuah benda dengan jarak tertentu maka akan menghasilkan keluaran sesuai dengan tipenya. Gambar 1 menunjukkan cara kerja sensor *inductive proximity*.

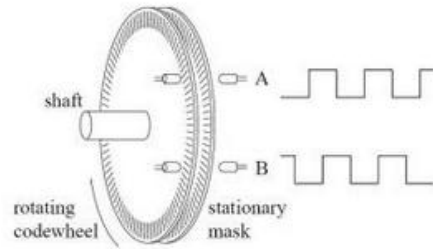


Gambar 1 Cara kerja sensor *proximity*

Pada sensor *Inductive proximity* terdapat koil yang menghasilkan medan magnet, sehingga bila terdapat benda metal, koil akan menghasilkan arus.

D Rotary Encoder

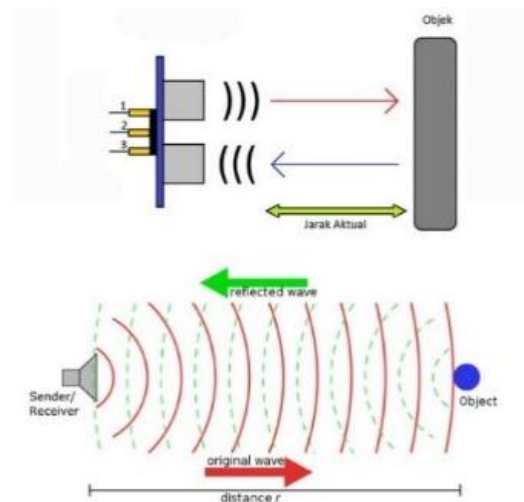
Rotary encoder merupakan sensor optik yang digunakan untuk mengetahui posisi putaran suatu benda. Sensor ini bekerja dengan membaca pulsa yang dihasilkan *photo-transistor*. Ketika poros berputar maka sederetan pulsa akan muncul pada masing-masing pin keluaran. Cara kerja *rotary encoder* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Cara kerja *rotary encoder*

E Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik merupakan alat elektronika yang mengubah besaran energi listrik menjadi besaran fisis berupa gelombang ultrasonik. Gelombang ultrasonik yang dibangkitkan akan dipancarkan menuju target. Setelah menyentuh permukaan target, maka gelombang akan dipantulkan kembali oleh target. Jarak dihitung berdasarkan selisih waktu saat gelombang dipancarkan dengan saat gelombang diterima. Cara kerja sensor ini diperlihatkan pada Gambar 3. Perhitungan jarak pada sensor ultrasonik menggunakan persamaan 1.



Gambar 3 Cara kerja sensor ultrasonik

$$S = (T_{in} \times v) : 2 \tag{1}$$

Dengan:

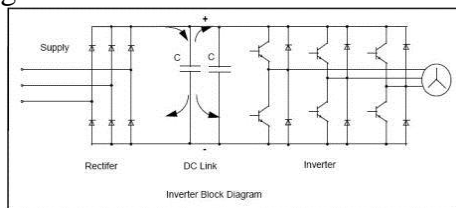
s adalah jarak dalam meter

T_{in} adalah waktu pantulan ketika diterima kembali dalam sekon

v adalah cepat rambat gelombang ultrasonic dalam *meter/sekon*

F Variable Speed Drive

Variable Speed Drive (VSD) merupakan sebuah alat pengendali kecepatan putar motor. Cara kerja VSD yaitu dengan mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC, kemudian diubah kembali oleh saklar elektronik yang terdapat pada inverter menjadi tegangan AC dengan mengubah frekuensi picu transistor. Gambar 4 merupakan bagian-bagian dari VSD.



Gambar 4 Bagian-bagian VSD

VSD tersusun atas tiga bagian, yaitu:

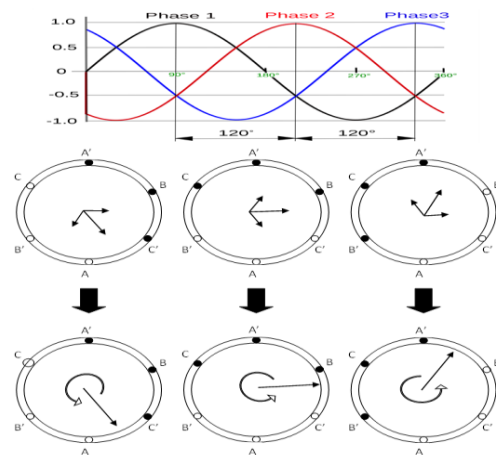
1. *Rectifier* / penyearah
Terdapat enam buah diode yang digunakan untuk mengubah tegangan input AC menjadi DC.
2. *DC link*
Bagian ini berfungsi untuk memperbaiki tegangan DC yang dihasilkan.
3. *Inverter*

Merupakan tempat mengubah tegangan DC menjadi AC. Dengan mengatur sudut picu transistor agar dihasilkan bentuk gelombang yang diinginkan.

G Motor Induksi 3 Fase

Motor digolongkan dalam jenis aktuator, yang berarti penggerak. Motor induksi memiliki dua bagian yaitu stator dan rotor.

Stator merupakan bagian motor yang tidak bergerak dan berisi kumparan yang diberi arus bolah-balik agar menghasilkan medan putar, sedangkan rotor merupakan bagian motor yang bergerak. Gambar 5 menunjukkan medan putar.



Gambar 5 Medan putar pada motor

Cara kerja motor induksi adalah ketika stator diberi sumber tegangan AC 3 fasa, maka akan timbul medan magnet. Karena medan magnet diberikan sumber 3 fasa maka akan mengakibatkan medan magnet yang berputar atau disebut juga medan putar. Kecepatan medan putar stator dapat dirumuskan seperti pada persamaan 2.

$$N_s = \frac{120 f}{p} \tag{2}$$

Dengan:

f adalah frekuensi input pada motor dalam Hertz

p adalah jumlah kutub pada motor

N_s adalah putaran stator dalam *Rotation per minute*

Rotor merupakan batang konduktor dengan rangkaian tertutup, maka akan timbul gaya gerak listrik (GGL). Jika gaya yang dihasilkan pada rotor cukup besar, maka rotor akan berputar sesuai dengan arah medan putar.

H Kontroler *Proporsional Integral Derivative*

Kontroler *Proportional Integral Derivative* (PID) berfungsi sebagai pengendali sistem dengan memanipulasi sinyal *error*, sehingga tanggapan sistem dapat mencapai nilai yang diinginkan. Persamaan PID dapat dilihat pada persamaan 3.

$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (3)$$

I Metode Ziegler Nichols

Metode Ziegler Nichols adalah sebuah aturan tuning PID yang mencoba menghasilkan nilai yang baik untuk tiga parameter PID. Pengaturan awal dari metoda ini adalah hanya menggunakan kontroler *proporsional*. Nilai *proporsional* dinaikkan sampai sistem beresilasi dan nilai amplitudo serta frekuensi yang beresilasi terukur. Nilai periode saat terjadi osilasi merupakan

nilai T_u , sedangkan nilai K_p merupakan K_u . Aturan nilai K , T_i , T_d dapat dilihat pada Tabel 1.

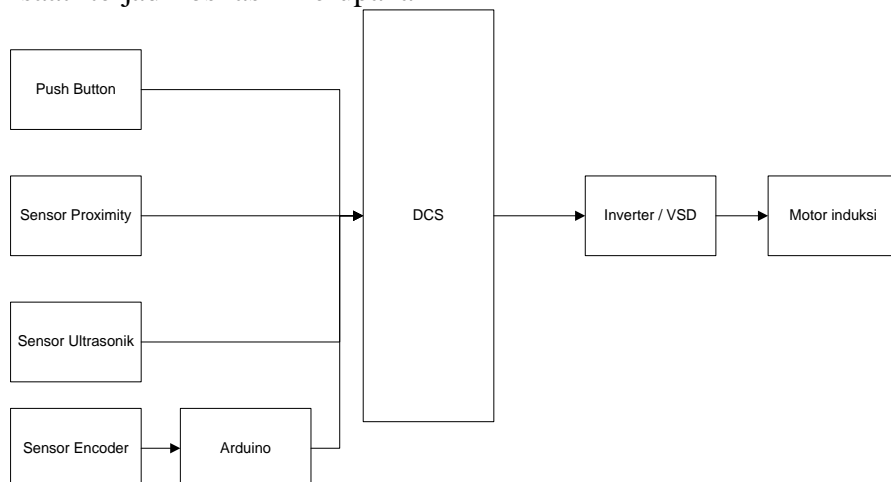
Tabel 1 Tabel Ziegler Nichols [1]

Kontroler	K	T_i	T_d
P	$0,5 K_u$	∞	0
PI	$0,45 K_u$	$0,8 T_u$	0
PID	$0,6 K_u$	$0,5 T_u$	$0,125 T_u$

PERANCANGAN SISTEM

A Diagram Blok Sistem

Perancangan alat pengendali kecepatan motor induksi dilakukan dengan menggunakan DCS sebagai kontroler utama, dengan beberapa sensor seperti sensor ultrasonik yang digunakan untuk pembacaan jarak dari sensor ke tanah / permukaan benda, sensor encoder untuk membaca kecepatan motor dan sensor proximity yang digunakan untuk membaca jumlah putaran yang berjalan. Untuk menjalankan motor induksi menggunakan inverter. Serta menggunakan *push button* untuk memberikan input ke kontroler. Diagram blok sistem dapat dilihat pada Gambar 6. Sedangkan diagram alir sistem dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6 Diagram blok sistem

B Konfigurasi Software Freelance

Konfigurasi *software* dilakukan guna membentuk suatu sistem yang disesuaikan dengan perangkat keras yang digunakan dan membentuk *project tree* yang berfungsi sebagai susunan jalannya program.

C Konfigurasi Hardware pada Freelance

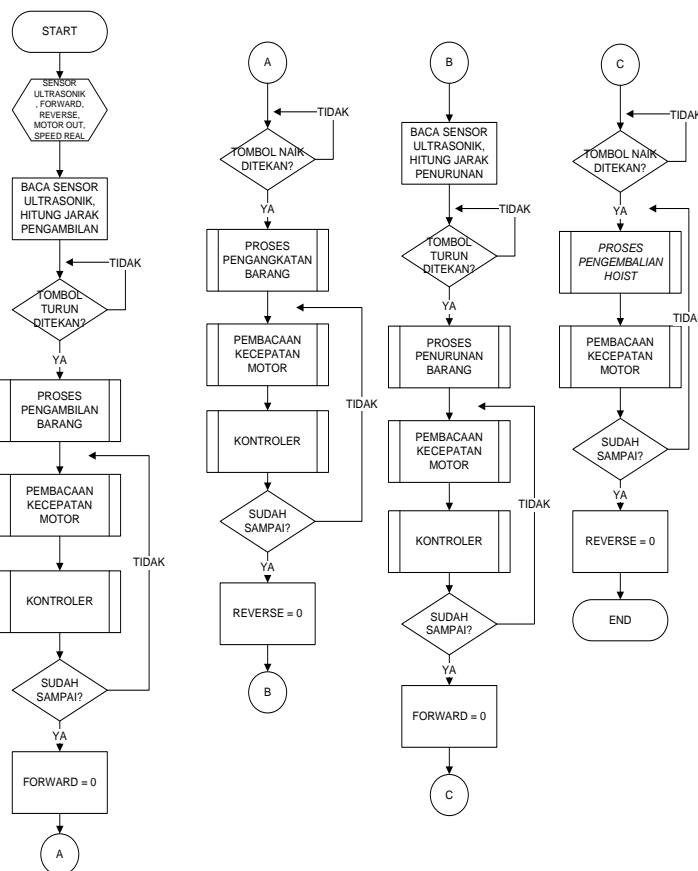
Konfigurasi perangkat keras pada program berguna untuk menyesuaikan tipe perangkat yang digunakan pada sistem, serta bertujuan untuk mengatur port I/O yang digunakan dan memberi nama variabel dari setiap pin. Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan tabel konfigurasi *input/output* yang digunakan pada DCS.

Tabel 2 Konfigurasi pin *input* DCS

Nama Variabel	Pin
Pb naik	DI0
Pb turun	DI1
Sensor <i>proximity</i>	DI5
Sensor ultrasonik	A11
Bit0	DI8
Bit1	DI9
Bit2	DI10
Bit3	DI11
Bit4	DI12
Bit5	DI13
Bit6	DI14
Bit7	DI15

Tabel 3 Konfigurasi pin *output* DCS

Nama variabel	Pin
<i>Analog_Out</i>	AO0+
<i>Forward</i>	DC16_o
<i>Reverse</i>	DC17_o



Gambar 7 Diagram alir sistem

D Konfigurasi Network pada Freelance

Konfigurasi jaringan dilakukan agar semua perangkat keras dapat saling berkomunikasi. Setiap komputer yang digunakan, baik dalam memonitoring ataupun mode program, dan perangkat keras harus berada dalam 1 jaringan yang sama. Dalam hal ini IP address yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Kontroler : 172.16.1.7
2. Engine PC : 172.16.1.50
3. Operator : 172.16.1.22

E Konfigurasi Tampilan *Freelance Operator*

Dalam sebuah proses diperlukan suatu sistem monitoring, pada penelitian ini sistem monitoring dijalankan menggunakan *freelance operator*. Beberapa hal yang perlu dikonfigurasi untuk menjalankan *freelance operator* yaitu:

1. Pada *project tree freelance engineering* tambahkan bagian untuk *operator station*.
2. Masukkan jenis tampilan yang ingin dibuat. Pada penelitian ini tampilan yang dibuat berupa *graphic display, trend display, serta excel report*.

F Konfigurasi *Variable Speed Drive*

Variable speed drive (VSD) digunakan untuk mengatur kecepatan motor, berikut adalah hal-hal yang perlu di konfigurasi:

1. ACC: pengaturan waktu kenaikan kecepatan.
2. DEC: pengaturan waktu penurunan kecepatan.
3. LSP: pengaturan frekuensi terendah yang dikeluarkan ke motor.
4. HSP: pengaturan frekuensi tertinggi yang dikeluarkan ke motor.

5. itH: pengaturan arus yang tertera pada *template* motor.
6. UnS: pengaturan tegangan sesuai pada *template* motor.
7. nSP: pengaturan nilai kecepatan putar maksimal motor.
8. Fr1: pengaturan perubahan nilai frekuensi melalui analog input yang berupa arus atau tegangan.

Untuk melakukan konfigurasi pada VSD maka spesifikasi data motor perlu diketahui untuk menyesuaikan dengan pengaturan VSD. Spesifikasi motor *hoist* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Spesifikasi motor *hoist*

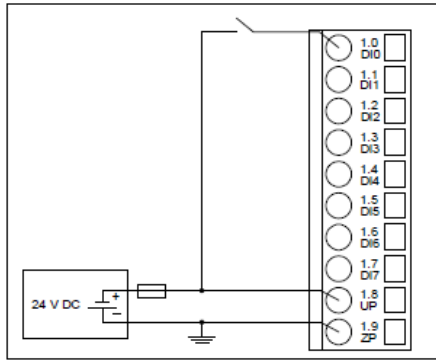
Keterangan	Nilai
Tegangan	220 Volt
Arus	4.6 Ampere
Frekuensi	50 Hz
Daya input	1050 Watt

G *Wiring Diagram Distributed Control System*

Dalam pemasangan sistem kontrol diperlukan suatu perangkat keras, seperti sensor, *push button*, kontroler dan sebagainya. Perangkat keras pada lapangan harus terhubung dengan baik dan benar dengan *I/O* kontroler agar data dapat diterima dan diolah sistem. Berikut adalah beberapa *wiring diagram* dari *I/O* kontroler yang digunakan:

G.1 Koneksi *digital input*

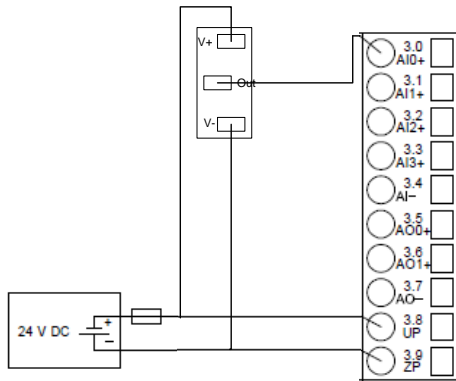
Gambar 8 menunjukkan cara menghubungkan *input* yang bersifat *digital*.



Gambar 8 Koneksi digital input

G.2 Koneksi analog input

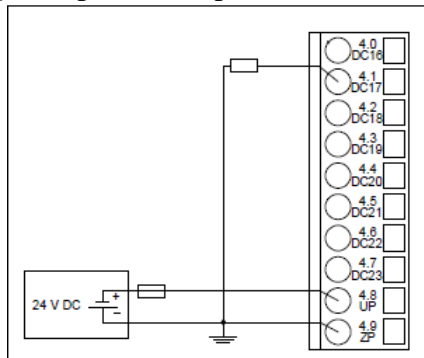
Gambar 9 menunjukkan cara menghubungkan sensor dengan keluaran yang bernilai analog. Dalam penelitian ini sensor yang dimaksud adalah sensor ultrasonik.



Gambar 9 Koneksi analog input

G.3 Koneksi digital output

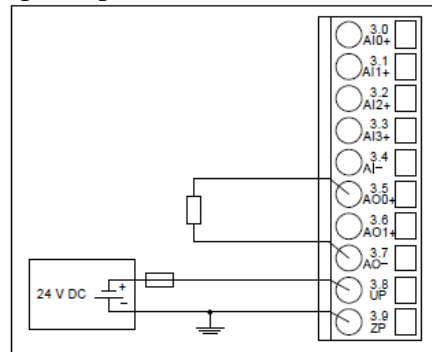
Pada penelitian ini digital output digunakan untuk memberikan logic arah putaran ke VSD. Hubungan digital output dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Hubungan digital output

G.4 Koneksi analog output

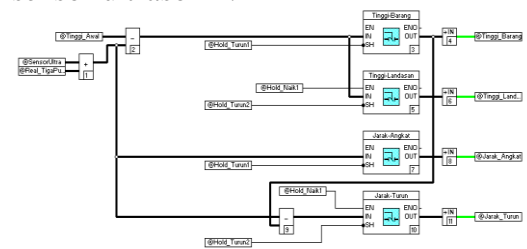
Gambar 11 menunjukkan hubungan analog output dari DCS. Pada penelitian ini analog output dihubungkan dengan analog input VSD yang berguna untuk mengendalikan kecepatan putaran motor.



Gambar 11 Hubungan analog output DCS

H Perancangan Program Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik digunakan untuk mengetahui jarak antara hoist dengan permukaan barang. Gambar 12 menunjukkan gambar dari program sensor ultrasonik.



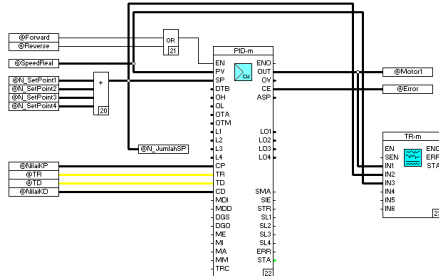
Gambar 12 Program sensor ultrasonik

I Perancangan Program

Proportional Integral Derivative

Blok Proportional Integral Derivative (PID) digunakan untuk mengontrol kecepatan motor agar didapatkan nilai yang diinginkan dan bersifat stabil. Gambar 13 menunjukkan program PID. Dengan SP merupakan nilai set point, PV adalah variabel yang dikontrol, Cp adalah konstanta

proporsional, Cd adalah konstanta derivative. TR merupakan nilai T_i .



Gambar 13 Program PID

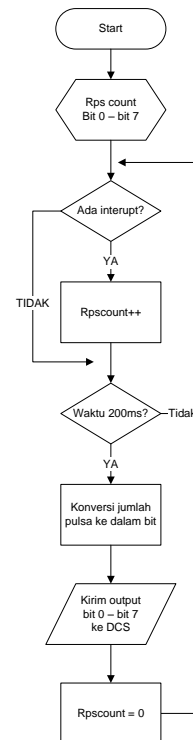
J Perancangan Program Encoder

Sensor encoder digunakan untuk membaca kecepatan putar motor dan sebagai *feedback* dari sistem pengedali pada DCS. Pembacaan kecepatan menggunakan rangkaian penghubung berupa transistor dan Arduino Uno sebagai kontroler, dengan waktu *sampling* 500ms dan pulsa yang dihasilkan encoder sebanyak 1 pulsa per putaran. Nilai pulsa tersebut diubah ke dalam biner dan dikirim ke DCS melalui hubungan kabel dengan menggunakan rangkaian *interface*. Diagram alir pembacaan encoder dapat dilihat pada Gambar 14. Skematik rangkaian penghubung dapat dilihat pada Gambar 15. Setelah DCS menerima masukan *logic* dari Arduino, maka nilai bit yang diterima diubah kembali ke dalam bilangan desimal.

PENGUJIAN SISTEM

A Pengujian Sensor Ultrasonik

Pengujian sensor ultrasonik ditujukan untuk mengetahui perubahan nilai pembacaan sensor, serta melihat ketelitian sensor dalam membaca jarak. Pengujian dilakukan kepada program sensor agar mendapatkan ketinggian barang dan jarak yang perlu ditempuh sesuai dengan nilai sebenarnya. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6. Persamaan nilai error dapat dilihat pada Persamaan 4.



Gambar 14 Diagram alir pembacaan encoder pada Arduino

Tabel 5 Pengujian Tinggi Barang

Tinggi barang dengan meteran (Cm)	Tinggi pembacaan dengan program (Cm)	deviasi pembacaan tinggi barang sensor (Cm)	Error (%)
5,5	6	0,5	9,09
43	45	2	4,65
49,5	50	0,5	1,01
86	87	1	1,16
90,5	93	2,5	2,76
103	104	1	0,97
Rata-rata error			3,27

Tabel 6 Pengujian jarak permukaan dengan sensor

Jarak sensor ke permukaan barang dengan meteran (Cm)	Jarak sensor ke permukaan barang dengan program (Cm)	deviasi pembacaan Jarak permukaan barang dengan sensor (Cm)	Error (%)
140	142	2	1,43
100	102	2	2
97	98	1	1,03
59	59	1	1,69
54	54	1	1,85
43	43	0	0,97
Rata-rata error (%)			1,33

$$E = \frac{S_1 - S_2}{S_2} \times 100\% \quad (4)$$

Dengan:

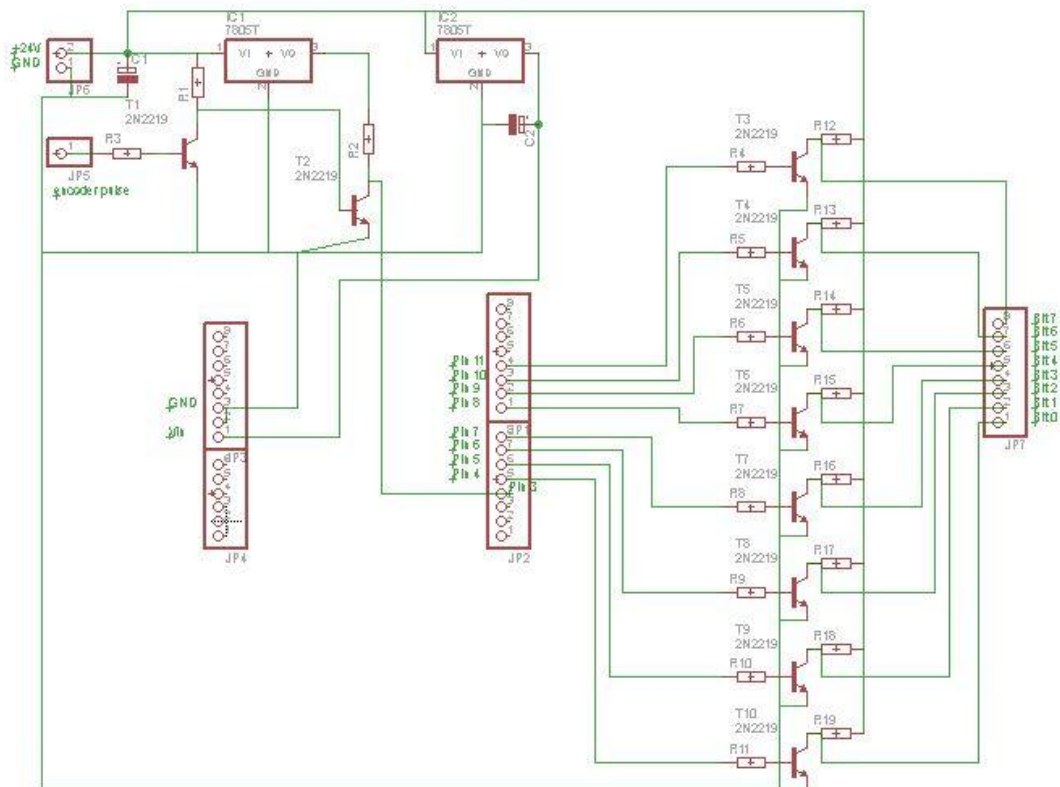
E adalah nilai error dalam persen (%)

S₁ adalah nilai pembacaan jarak dengan program dalam centimeter

S₂ adalah nilai pembacaan jarak dengan program dalam centimeter

B Pengujian Sensor Encoder

Sebelum dilakukan pemasangan ke motor *hoist*, pengujian dilakukan terhadap program sensor encoder. Pengujian dilakukan dengan menggunakan motor induksi 3 fasa dengan kecepatan maksimal 20 rps. Hasil pengujian akan dibandingkan dengan nilai pembacaan tachometer. Sensor akan memberikan nilai setiap kenaikan 2 rps, sesuai dengan perancangan. Tabel 6 menunjukkan hasil pembacaan sensor. Persamaan nilai eror menggunakan Persamaan 5.



Gambar 15 Skematik rangkaian pembacaan encoder pada Arduino

Tabel 6 Hasil pengujian sensor encoder

tachometer	arduino	error
1,9	2	5,26
5	4	20,00
5,6	6	7,14
6,2	6	3,23
7,6	8	5,26
8,3	8	3,61
9,8	10	2,04
10,4	10	3,85
11,8	12	1,69
13,5	14	3,70
14	14	0,00
14,1	14	0,71
15,9	16	0,63
16,5	16	3,03
17,9	16	10,61
18,4	18	2,17
19,7	20	1,52
20,8	20	3,85
22,6	22	2,65
23,3	20	14,16
rata-rata error		4,76

$$E = \frac{P_e - P_t}{P_t} \times 100\% \quad (5)$$

Dengan:

E adalah nilai error dalam persen (%)

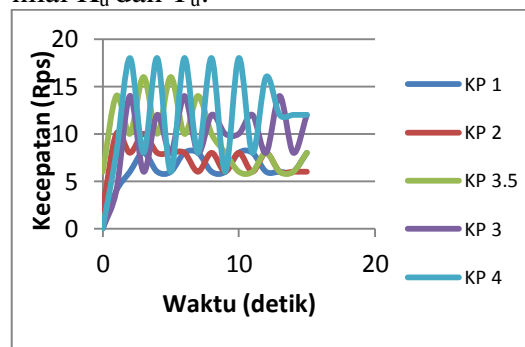
P_e adalah nilai pembacaan kecepatan menggunakan program dalam *rotation per second*

P_t adalah nilai pembacaan kecepatan menggunakan tachometer dalam *rotation per second*

C Pengujian Gerakan Motor Menggunakan PID

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols, yaitu dengan mencari osilasi yang stabil dari sistem dengan menggunakan komponen pengendali P, kemudian hasil K_u dan T_u dimasukkan ke dalam Tabel

yang ditunjukkan pada Tabel 1. Gambar 16 menunjukkan hasil dari pencarian nilai K_u dan T_u .

Gambar 16 Pencarian dengan K_u

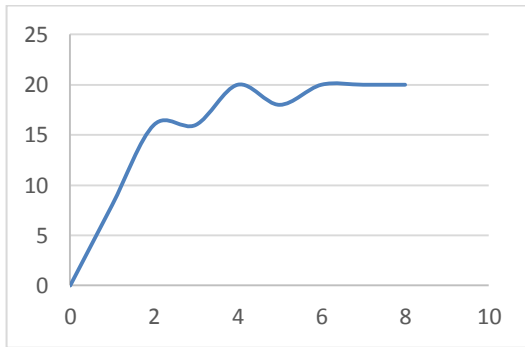
Berdasarkan nilai pengujian di atas, didapatkan nilai $K_u = 3$ dan $T_u = 1500$ ms. Sehingga berdasarkan tabel Ziegler-Nichols parameter K_p , T_i , dan T_d dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Parameter kontroler

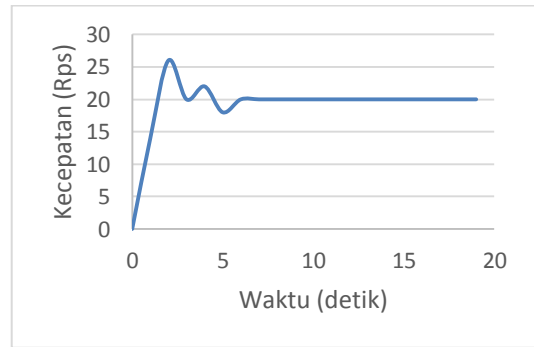
	K_p	T_i (ms)	T_d (ms)
P	1,5	∞	0
PI	1,35	1200	0
PID	1,8	750	187

Hasil penggunaan parameter Tabel 7 dapat dilihat pada Gambar 17. Perubahan nilai TR berpengaruh pada cepat lambatnya sistem untuk stabil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 18 dan Gambar 19. Ketiga grafik ini menunjukkan bahwa nilai TR mempunyai karakteristik sama seperti T_i yang semakin besar nilai TR maka *rising time* juga semakin besar hal ini ditunjukkan pada Gambar 20.

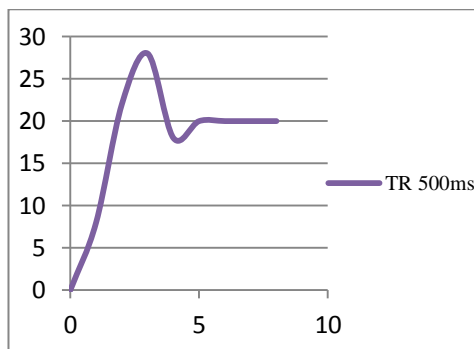
Pengujian PID juga dilakukan dengan merubah nilai TD dengan nilai awal yang didapatkan pada Tabel 7. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 21, Gambar 22, Gambar 23, serta Gambar 24.



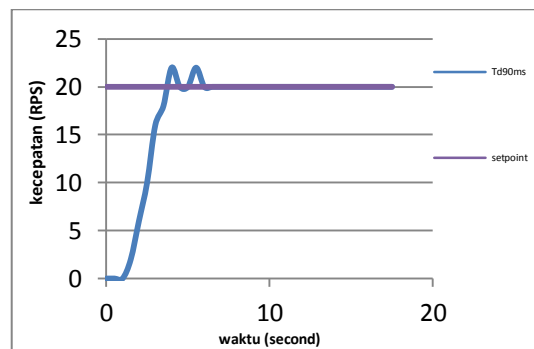
Gambar 17 Kontroler PI dengan TR1.2s



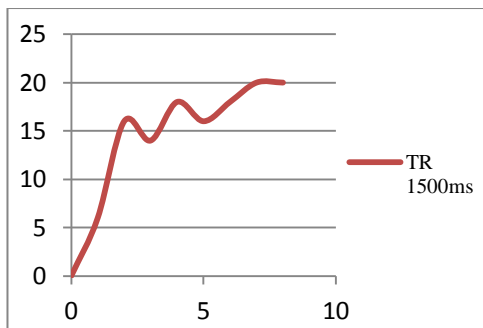
Gambar 21 Kontroler PID



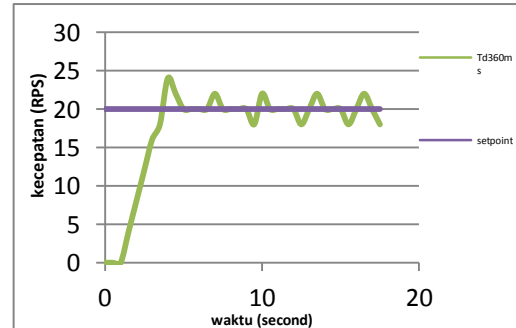
Gambar 18 kontroler PI dengan TR0.5s



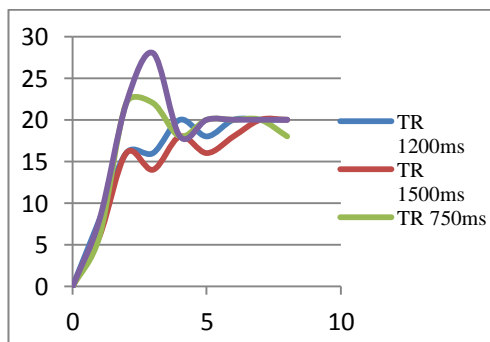
Gambar 22 Kontroler PID Td 90ms



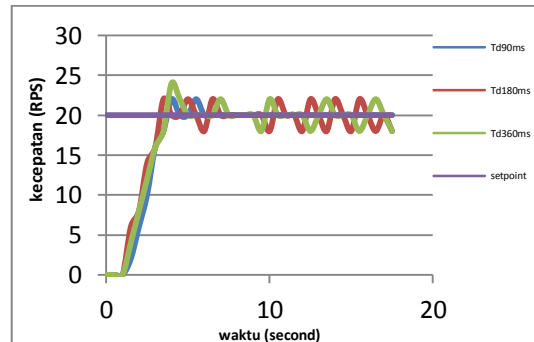
Gambar 19 kontroler PI dengan TR1.5s



Gambar 23 Kontroler PID Td 360ms



Gambar 20 Grafik perubahan TR



Gambar 24 Grafik perubahan Td

Perubahan nilai Td mempengaruhi cepat lambatnya sistem mencapai nilai

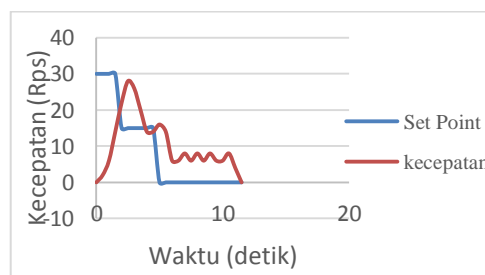
stabil. Semakin besar nilai T_d , maka *time settling* semakin kecil.

Dari semua grafik di atas, grafik merah merupakan perubahan nilai tegangan yang dikeluarkan oleh DCS, grafik biru merupakan variabel yang dikontrol yaitu kecepatan motor, dan grafik ungu merupakan nilai *set point*. Dari grafik dapat dilihat bahwa perubahan nilai tegangan sebanding dengan perubahan nilai kecepatan.

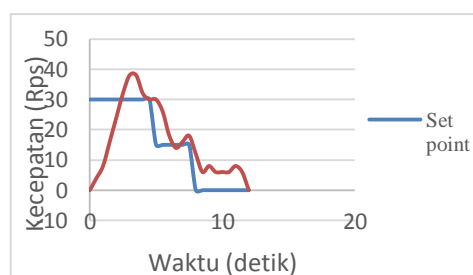
Pada saat melakukan perubahan kecepatan motor terjadi bunyi pada motor, hal ini disebabkan karena pada motor terdapat rem mekanik. Setiap terjadi penurunan kecepatan motor dan kenaikan kecepatan motor yang sangat signifikan terutama saat motor bergerak menurunkan *hoist*, rem mekanik motor akan aktif sehingga terjadi bunyi.

D Pengujian Penggabungan Sistem

Pengujian penggabungan sistem dilakukan dengan memberikan nilai ketinggian benda yang berbeda. Pada saat jarak tempuh berbeda akan menghasilkan *set point* yang berbeda, dan perubahan *set point* terjadi sesuai yang diinginkan yaitu pengurangan saat jumlah putaran yang ditempuh telah mencapai 30% dan 60% dari putaran yang harus ditempuh. Nilai K_p , T_i , dan T_d berbeda saat motor berputar untuk menurunkan dan menaikkan *hoist* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8. Gambar 25 menunjukkan hasil pengujian saat *hoist* turun dengan jarak 84 cm. Gambar 26 menunjukkan hasil pengujian saat *hoist* naik dengan jarak 84 cm.



Gambar 25 Pengujian turun dengan jarak 84 cm

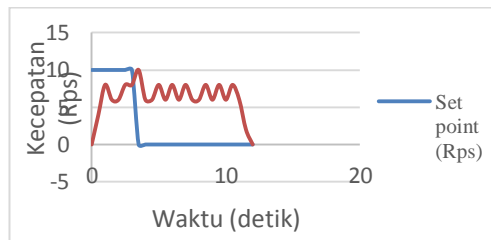


Gambar 26 Pengujian naik dengan jarak 84 cm

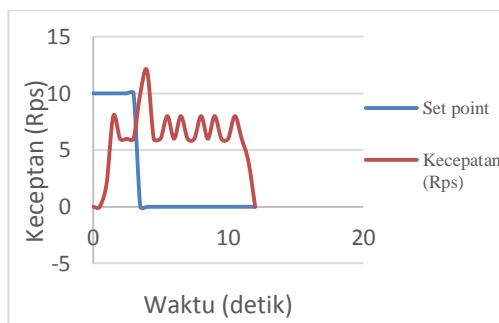
Tabel 8 Parameter terbaik

	K_p	T_i (ms)	T_d (ms)
Turun	1.65	750	180
Naik	1.35	750	180

Berdasarkan Gambar 25 dan Gambar 26, didapatkan sistem yang mampu beradaptasi terhadap perubahan *set point*, namun karena jarak tempuh terlalu pendek, kestabilan sistem tidak terlalu terlihat. Motor membutuhkan waktu yang cukup lama dalam menyesuaikan kecepatan saat diberikan *set point* nol. Konstruksi dalam motor yang tidak diketahui, menyebabkan kesulitan untuk mencari penyebabnya, namun dapat diperkirakan hal ini terjadi karena adanya arus sisa pada motor. Hasil pengujian untuk jarak pendek dapat dilihat pada Gambar 27 dan Gambar 28.



Gambar 27 Pengujian turun dengan jarak <40cm



Gambar 28 Pengujian naik dengan jarak <40cm

SIMPULAN

Simpulan yang diperoleh dari hasil pengujian sistem ini adalah:

1. Pengaturan kecepatan terhadap pembebanan dapat dikendalikan dengan menggunakan kontroler.
2. Data dari pengujian menunjukkan metode Ziegler-Nichols menghasilkan respon yang baik dengan penyesuaian nilai K_p .
3. Kontrol *inverter* dengan pengaturan tegangan input, nilainya akan berbanding lurus dengan kecepatan motor.
4. TR pada kontroler DCS merupakan T_i .
5. Bunyi yang dihasilkan motor diakibatkan oleh pengereman paksa yang terjadi pada motor karena adanya perubahan kecepatan yang signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Astrom, K. J. dan Murray, R. M. 2008. *Feedback System*. New Jersey: Princeton University Press
- [2] Bequette, B. W. 2003. *Process Control*. New Jersey: Prentice Hall.
- [3] Chapman, S. J. 2005. *Electric Machine Fundamental*. New York: McGraw-Hills Companies, Inc.
- [4] Christoforus, A. 2015. *Perancangan Hoist Crane dengan Pengaturan Kecepatan Motor Traksi pada Pembebanan dan Lintasan Variabel*. Tugas Akhir. Jakarta: Fakultas Teknik Unika Atma Jaya.
- [5] Erikson, Y. 2012. *Rancang Bangun Sistem Robot Ular Pengikut Garis dengan Metode Kontroler PID*. Tugas Akhir. Jakarta: Fakultas Teknik Unika Atma Jaya.
- [6] Fraden, J. 2010. *Handbook of Modern Sensors, 4th edition*. New York: Springer.
- [7] Ogata, K. 2010. *Modern Control Engineering Fifth Edition*. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- [8] Petruzella, F. D. 2006. *Elektronik Industri*. Diterjemahkan oleh: Sumanto. Yogyakarta: ANDI
- [9] Phillips, C. L. dan Harbor, R. D. 1996. *Sistem Kontrol Dasar-Dasar*. Diterjemahkan oleh Widodo, R. J. 1998. Indonesia: Victory Jaya Abadi.
- [10] Simpson, C. D. 1996. *Industrial Electronics*. New Jersey: Prentice Hall International, Inc.
- [11] Zuhail. 1993. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.