

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK**



**ANALISIS PERFORMANSI KONTROLER PID PADA
PENGENDALIAN MOTOR DC DENGAN MENGGUNAKAN
METODE TUNING COHEN-COON**

SKRIPSI

Disusun Oleh :
**DINI WAHYUNI
NIM. 01.12.037**

MARET 2006

UNITED STATES DEPARTMENT OF JUSTICE
FEDERAL BUREAU OF INVESTIGATION
WASHINGTON, D. C. 20535
MAY 15 1964

MEMORANDUM FOR THE DIRECTOR
SUBJECT: [Illegible]

DATE: [Illegible]

BY: [Illegible]
TITLE: [Illegible]

APPROVED: [Illegible]

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISIS PERFORMANSI KONTROLER PID PADA
PENGENDALIAN MOTOR DC DENGAN MENGGUNAKAN
METODE TUNING COHEN-COON**

SKRIPSI

*Disusun dan Diajukan Untuk Melengkapi dan Memenuhi Syarat-Syarat
Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik*

**Disusun Oleh :
DINI WAHYUNI
NIM 01.12.037**

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro**

N. F. YUDI LIMPRAPTONO, MT
NIP.Y. 103 950 0274

**Diperiksa dan disetujui,
Dosen Pembimbing**

Ir. WIDODO PUDJI M, MT
NIP. P. 102 870 0171

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2006**

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

الله

*"Bacalah dengan BISMILLAH, itulah permulaan ilmu
Seperti yang diwahyukan, menuntut ilmu satu kewajiban
Sabda Rasul junjungan * Carilah Ilmu Pengetahuan
Dari Dalam Buaian Hingga Hari Kematian"*

*Ilmu menjadi penunjuk jalan dengan ilmu dapat kemuliaan
Ilmu memajukan kehidupan, ilmu yang baik dapat keberkatan
Dimulakan dengan BISMILLAH Disudahi dengan ALHAMDULILLAH
Begitulah sehari dalam hidup, Semoga diberkahi ALLAH"*

*Puja, puji dan syukur hambamu ucapkan ya ALLAH atas segala rahmat,
nikmat dan karunia-MU yang telah KAU berikan. Tak lupa puja syukur ini
kupersembahkan kepada junjunganku Nabi Muhammad
yang telah memberikan seluruh Hidayahnya kepadaku.*

*"Alhamdulillah" kata pertama yang hanya bisa terucapkan, semua takkan
seperti sekarang ini tanpa restu dariMU ya ALLAH, semua takkan sampai
di hari ini tanpaMU ya ALLAH, aku takkan seperti ini tanpa tuntunan
dariMU ya ALLAH"*



Papa 'n Mama

yang selalu menyayangku sepenuh hati
Memberi 'n memenuhi pinta dan mauku

Dalam hidup ini.....

hanya yang terbaik.....

selalu ingin kuberikan

Sebagaimana kalian telah berikan Semua yang terbaik untukku

.....Dan sekarang sudah kubuktikan.....

satu dari semua yang akan kuberikan

sebagai bukti baktiku sebagai seorang anak.....

Tanpa dukungan dari kalian aku takkan bisa sampai pada hari ini

TERIMA KASIH

'n.....*I LOVE YOU* so much....

Rama 'n Aldi

Tiada kata dapat tertulis dilembar ini selain "**TERIMA KASIH**" atas
dukungan yang kalian berikan. berbagi tawa ☺, tangis ☹, rahasia ☺
bersama.....Semua hari-hari bersama kalian akan selalu kuingat

Hanya kalian yang bisa.....

membuatku sepenuhnya menjadi

B☺S!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! he..he..he..

keep call me 'B☺B☺S'

'cos I'am the B☺Z right!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!



Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT, dosen pembimbingku,
Big Boss di Lab. Kendali Industri tempatku nambah ilmu.

TERIMA KASIH atas dukungan, bimbingan,
pengertian, kesabaran, kebebasan
dan buku-bukunya. Ir. I Made Wartana, MT,
dosen waliku yang 'ga pernah marah
walaupun da "DRAGON BALL".he...he...he...

TERIMA KASIH dukungannya di saat-saat
terakhir. Bapak Sotyohadi, MT, **TERIMA KASIH**
sudah mau bertukar pikiran saat menjelang
seminar hasil. Bu Mimien (yang benar-benar jail),
Pak Djayenk biang 'KISRUH' 'n Bu Pudji
(Bantuan dan kebaikannya selalu saya ingat
Pak, Bu...**TERIMA KASIH** karena sudah
direpotin....), Pak Sugeng yang
selalu tersenyum.....(tetap
pertahankan Pak....), Pak Budi
n Bu.....????? =lupa tanya namanya????(Bu...Pak...

TERIMA KASIH atas semangat
n wejangan-wejangannya) serta
dosen-dosen n karyawan
ITN Malang yang tidak bisa
disebutkan satu-satu disini
.....**TERIMA KASIH**.....



☪ Mas wiwied & Mas widjaya (2W or w&w) ☪

Tanpa mas-mas aku ga bakalan Lulus!!!!!!!

Serius Nich..... MAKASIH BANYAK ya Mas.....

Maafin juga nich kalo udah dibuat pusing n repot ngajarin MATLAB n Motor DC nya.....

*** XIE.....XIE ***

♥ My SWEETHEART ♥

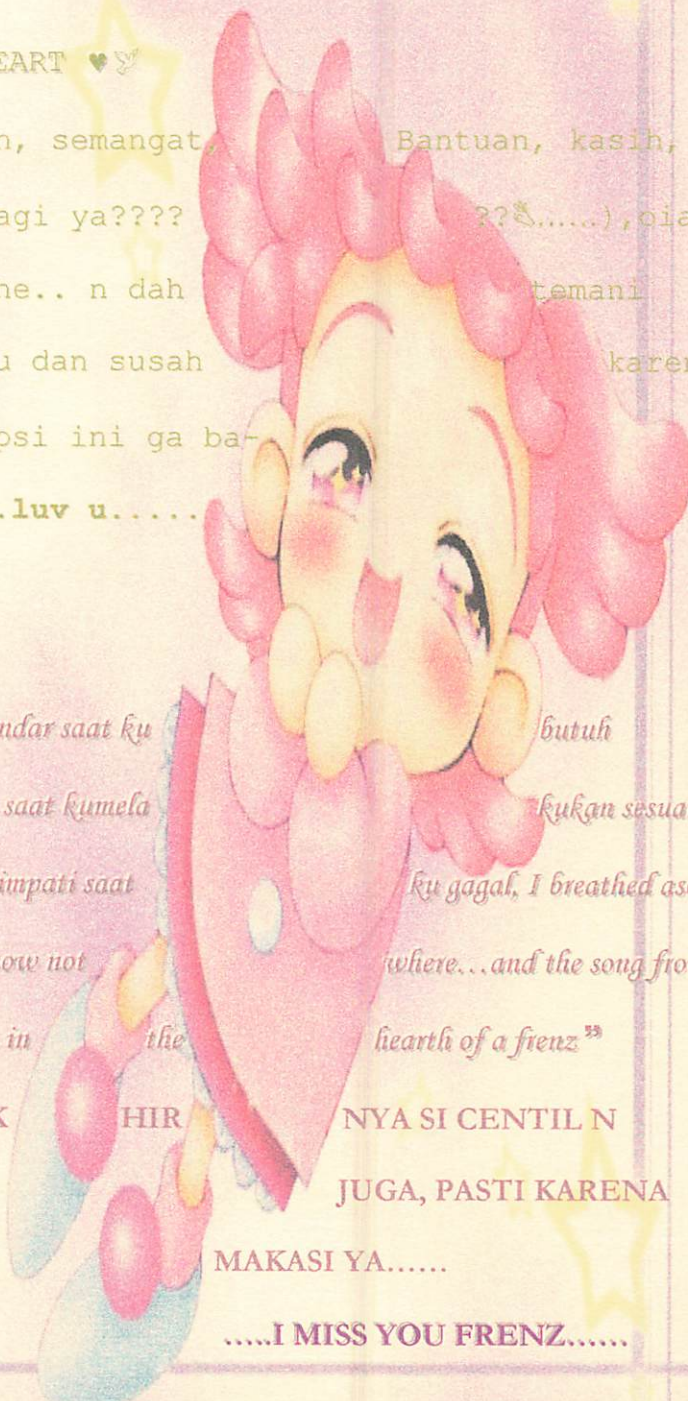
Makasih Buat dukungan, semangat, Bantuan, kasih, sayang, cinta, (apa lagi ya???? ??&.....), oia jemputannya he..he..he.. n dah temani aku, repot karena aku dan susah karena aku.....Tanpamu Skripsi ini ga bakalan Selesai.....luv u.....

☪ My Bestfrenz Rinna ☪

" Sahabat adalah bahu u/ bersandar saat ku butuh dukungan, tepukan dipunggung saat kumela kukan sesuatu dengan baik, dan telinga yg bersimpati saat ku gagal, I breathed asong into the air, it feels to earth I kyow not where...and the song from beginning to end, I Found again in the hearth of a frenz"

RINNA!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! AKHIR NYA SI CENTIL N CEREWET NI LULUS JUGA, PASTI KARENA DOA-DOAMU JUGA..... MAKASI YA.....

.....I MISS YOU FRENZ.....





Rika, teman shopping n ngegossipku, jangan pernah lupain Kalo kita sama-sama gila, n malu-maluin yaaaaa.....we hav a moment 2gether. Selalu ingat temanmu yang suka shopping n cantik ni oce ☺. Pokoke kita seperti tangan kanan n kiri.....aku yang kanan kamu yang kiri....haaaaaaa.....

JANGAN LUPAIN AKU!!!!!!!!!!!!!! hidup **BUCER....**

Crew Lab. Kendali Industri



Mas Rahmadi (makasi buat masukan-masukannya ya mas....pokoke Bravo Mr.R!!!!), boz Kaliz (tar ta bantuin cari pretty zintanya lagi ok...), Zahid (akhirnya barengan juga lulusnya), Bruddin (monyet tetaplah monyet ok... he..he..he), Marsandez (thanks yo buat bantuan-bantuannya), Kiki (without you we are'nt 3 angels), Junior-juniorku (yang rajin ya.....) semuanya!!!!

MAKASIH..MAKASIH..MAKASIH

*** PLERES 16 ***

- ★ Bani 'aum'(e..qt orang..orang qt) ★ ★ OM aries yang katanya sexy,om makaCI ya da bantuin bikin Berita acara ★ ★ [Agung, Becker n Joe] (Trio Lawang, kapan qt bakar-bakar lagi????) ★ ★ 'lahung' cha-cha (Jangan suka maen cewe ya bang...) ★ ★ deden my baby (cepat lulus dong baby...tar jadi mbah nya ITN!!!!) ★ ★ Kholik 'aus-aus' (Jangan suka ketawa aja, tar garing untunya ok!!!!) ★ ★ Memed (Sorry ya kalo ta gangguin aja ☺) ★ ★ Oon (Ada Yang Baru GA???? ★ ★ rULLY 'q-ZILL' (tunggu aku jadi dosen ya????) ★ ★ Revi (Jangan pacaran aja ya...ingat tuh cepet lulus, biar mbaknya ga lama nunggu....he..he..he) ★ ★ Ucke (Abang yang PLG TOP BGT.....) ★ ★ Yayan (Makasi jurnalnya ya....) ★
- Ga lupa buat temen-temen lain yang ga bisa disebutin **TERIMA KASIH.....**

♣ My Lovely Pets

Micky 'boneng' (Tommy 'ga Githu Dech...)

Fero (Jangan Suka ngambek ya),

Excel (MAKAN, MAKAN, MAKAN, MAKAN LAGI.....),

3 M [Michan, Mugan, M... ←belum dikasih

(Jangan suka Malu-malu 'KUCING' ya)

Kur-kur yang kesepian (Ga bosan To?????),

Pepeng (Kemana aja???)

WAUWAU (keep remember ~~Benawa~~ is a SIN!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!),

MoMON (Sorry...), ☹

Icha, Cunat, Beceng (Because of You.....)

Ikan-ikan di aquarium kecilku (pengorbanan kalian takkan

kulupakan!!) ☺

and My Dearest POPO (you'll always be my SOON B... takkan

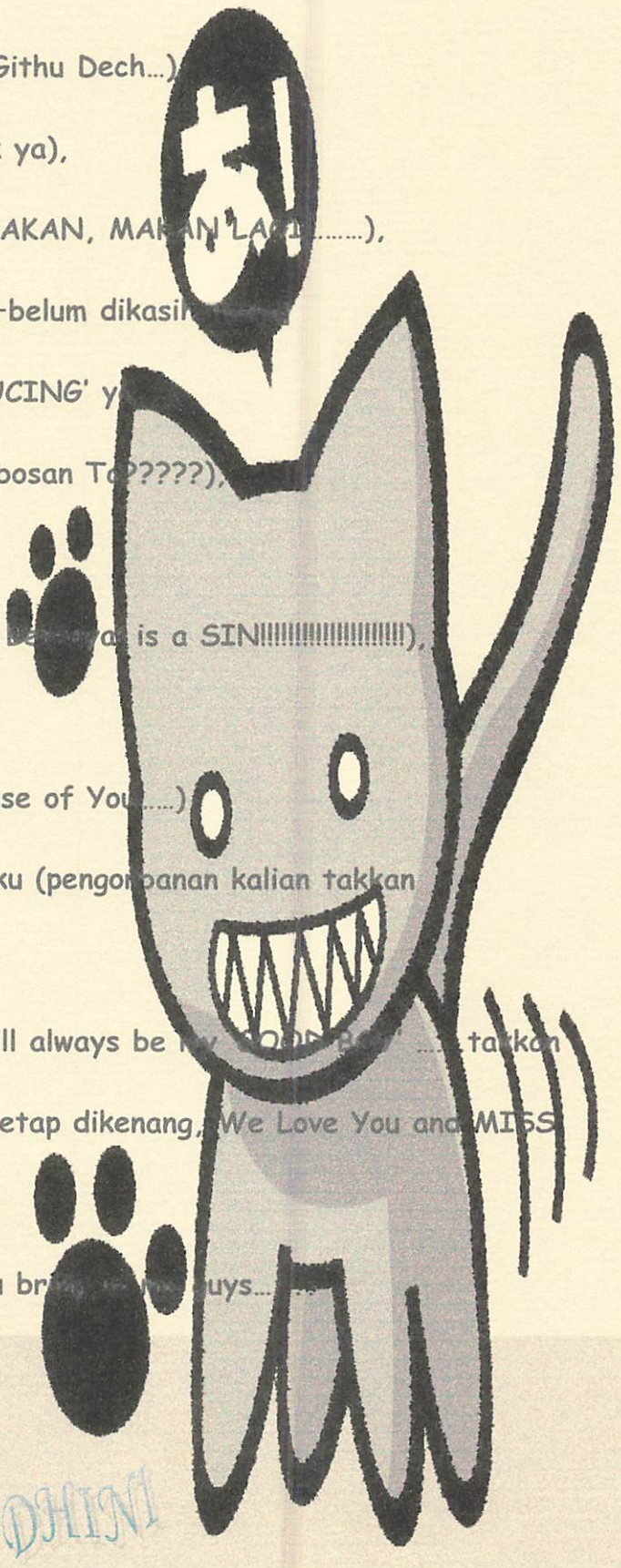
terlupakan, tergantung 'n tetap dikenang, We Love You and MISS

you).

.....Just Happiest to you bro... guys.....

Thanks 4 Everything.....

DELINI



ABSTRAKSI

“ANALISIS PERFORMANSI KONTROLER PID PADA PENGENDALIAN MOTOR DC DENGAN MENGGUNAKAN METODE TUNING COHEN-COON”

(Dini Wahyuni, 01.12.037, TEKNIK ENERGI LISTRIK, 2006)
(Dosen Pembimbing : Ir. Widodo Pudji Muljanto M, MT)

Kata kunci : *Kontroler PID, Tuning, Performansi.*

Teknologi dipakai membantu manusia meningkatkan budaya hidupnya. Teknologi direncanakan dan diwujudkan oleh manusia untuk kepentingan manusia. Walaupun ada keterbatasan secara kecepatan, ketepatan serta ketahanan dalam melakukan tugas-tugasnya, manusia telah merancang begitu banyak peralatan dan mesin, yang semakin lama makin serba otomatis.

Kontroler *PID* merupakan kontroler yang bisa di pakai untuk mendapatkan tanggapan atau respon yang diinginkan dalam sebuah sistem, karena kontroler ini telah terbukti mampu memberikan respon sesuai yang diharapkan.

menganalisis performansi pengendalian dalam sebuah sistem, karena metode ini telah terbukti mampu memberikan performansi yang baik dengan akurasi hasil perkiraan yang bagus dan mempunyai tingkat error yang kecil.

Metode *Tuning Cohen-Coon* merupakan pengembangan dari metode *Tuning Kurva Reaksi*, metode ini biasanya dipakai untuk menganalisis performansi pengendalian dalam sebuah sistem, karena metode ini telah terbukti mampu memberikan performansi yang baik dengan akurasi hasil yang bagus dan mempunyai tingkat error yang kecil. keunggulan dari metode ini adalah adanya kepraktisan dalam menentukan *tuning* sistemnya.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT dan junjungan kami nabi Muhammad SAW, atas rahmat dan karunia-Nya jualah penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul, ***“ANALISIS PERFORMANSI KONTROLER PID PADA PENGENDALIAN MOTOR DC DENGAN MENGGUNAKAN METODE TUNING COHEN-COON ”***.

Skripsi ini bertujuan untuk memenuhi kurikulum akademik yang harus ditempuh oleh setiap mahasiswa ITN Malang guna mengakhiri pendidikan pada jenjang strata satu jurusan Teknik Elektro konsentrasi Teknik Energi Listrik di Institut Teknologi Nasional Malang.

Atas segala bimbingan, pengarahan dan bantuan yang diberikan, sehingga tersusunnya skripsi ini, maka penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. **Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE**, selaku Rektor ITN Malang.
2. **Ir. Mochtar Asroni, MSME**, selaku Dekan FTI ITN Malang.
3. **Ir. F Yudi Limpraptono, MT**, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro (S1) ITN Malang.
4. **Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT**, Selaku Dosen Pembimbing
5. Kedua orang tuaku yang telah membesarkan, mendidik dan selalu mendoakanku sampai terwujud cita-citaku.
6. Rekan-rekan di lab. Kendali Industri yang memberikan banyak support.

7. Rekan-rekan elektro energi listrik yang saling membantu dan saling mengisi dalam pengerjaan skripsi ini.

Akhirnya penulis mengharapkan skripsi dapat berguna dan bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa khususnya pada jurusan Teknik Elektro konsentrasi Teknik Energi Listrik dan pembaca pada umumnya.

Malang, Maret 2006

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PERSEMBAHAN	iii
ABSTRAKSI	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GRAFIK	xix

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan.....	4
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Metodologi	4
1.6. Sistematika	4

BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Umum.....	6
----------------	---

2.2. Prinsip Kerja Motor DC	7
2.3. Jenis-Jenis Motor DC	10
2.4. Motor DC Penguatan Terpisah.....	12
2.5 Pengaturan Kecepatan Motor DC	14
2.6. Pengaturan Tegangan Jangkar	15
2.7. Spesifikasi Motor DC	16

BAB III SISTEM PENGENDALIAN

3.1. Umum.....	18
3.2. Prinsip-Prinsip Pengendalian Proses	20
3.3. Prinsip Kerja Pengendali	21
3.4. Pengendali Proporsional (<i>Proporsional Controler</i>)	22
3.5. Pengendali Integral (<i>Integrator Controler</i>)	25
3.6. Pengendali Differensial (<i>Derivative Controler</i>)	27
3.7. Pengendali Proporsional Plus Integral (<i>PI Controler</i>)	29
3.8. Pengendali Proporsional Plus Differensial (<i>PD Controler</i>)	30
3.9. Pengendali Proporsional Plus Integral Plus Differensial (<i>PID Controler</i>)	31
3.10. Tuning Sistem.....	33
3.11. Penalaan Parameter Kontroler PID	35
3.12. Metode Kurva Reaksi	35
3.13. Metode Tuning Cohen-Coon.....	37

BAB IV ANALISIS SIMULASI DAN PENGUJIAN SISTEM

4.1. Umum.....	39
----------------	----

4.2. Performansi Sistem.....	41
4.3. Penyusunan Model Matematis Sistem	43
4.4. Penyusunan Blok Diagram	46
4.5. Respon <i>Open Loop</i>	47
4.6. Perancangan Parameter Kontroler PID Menggunakan Metode Tuning <i>Cohen-Coon</i>	57
4.7. Analisis Performansi Sistem	60
4.7.1. Analisis <i>Error Steady State</i>	61
4.7.2. Analisis <i>Rise Time</i>	61
4.7.3. Analisis <i>Maximum Overshoot</i>	62
4.7.4. Analisis <i>Settling Time</i>	63

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan.....	64
5.2. Saran.....	67

DAFTAR PUSTAKA	xx
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1	Konstruksi Motor DC	7
Gambar 2-2	Interaksi Antara Medan Magnet Dan Penghantar Yang Dialiri Arus	8
Gambar 2-3	Rangkaian Jenis Motor DC Penguatan Terpisah.....	11
Gambar 2-4	Rangkaian Jenis Motor DC Penguat Sendiri	12
Gambar 2-5	Diagram Skematik Jangkar-Magnet Terkontrol Motor DC	15
Gambar 3-1	Kontroler Dan Diagram Kotaknya	21
Gambar 3-2	Diagram Blok Kontroler Proporsional	23
Gambar 3-3	Response Sebuah Pengendali Proporsional	24
Gambar 3-4	Blok Diagram Kontroler Integral	26
Gambar 3-5	Blok Diagram Kontroler Differensial	28
Gambar 3-6	Kurva Waktu Hubungan Input-Output Kontroler Differensial	28
Gambar 3-7	Diagram Kotak Pengendali Proporsional Plus Integral	29
Gambar 3-8	Hubungan Input-Output Pengendali PI Dalam Fungsi Waktu	30
Gambar 3-9	Output Pengendali Proporsional Plus Differensial Terhadap Input Fungsi Step	31
Gambar 3-10	Blok Diagram Kontroler PID	32
Gambar 3-11	Hubungan Dalam Fungsi Waktu Antara Sinyal Keluaran Dengan Masukan Untuk Kontroler PID	33

Gambar 3-12	Respon Tangga Satuan Sistem	36
Gambar 3-13	Kurva Respon Berbentuk S	36
Gambar 3-14	Kurva Respon Quarter Amplitude Decay	37
Gambar 4-1	Bentuk Umum Response Yang Stabil	41
Gambar 4-2	Kurva Tanggapan Tangga Satuan Menunjukkan t_d , t_r , t_p , M_p Dan t_s	42
Gambar 4-3	Diagram Skematik Jangkar-Magnet Terkontrol Motor DC	43
Gambar 4-4	Diagram Blok Permodelan Motor DC Pengaturan Jangkar	47
Gambar 4-5	Diagram Blok Permodelan Motor DC Secara Sederhana	47
Gambar 4-6	Kurva Respons Berbentuk S.....	48
Gambar 4-7	Blok Diagram Sistem <i>Open Loop</i> Dalam <i>Simulink-MATLAB</i> 7.0	48
Gambar 4-8	Perhitungan K_p P Kontrol Dengan Menggunakan <i>MATLAB</i> 7.0	51
Gambar 4-9	Hasil Perhitungan Nilai K_p P Kontrol	52
Gambar 4-10	Perhitungan K_p , T_i , PI Kontrol Dengan Menggunakan <i>MATLAB 7.0</i>	53
Gambar 4-11	Hasil Perhitungan Nilai K_p , T_i , PI Kontrol.....	53
Gambar 4-12	Perhitungan K_p , T_d , PD Kontrol Dengan Menggunakan <i>MATLAB 7.0</i>	54
Gambar 4-13	Hasil Perhitungan Nilai K_p , T_d , PD Kontrol.....	55
Gambar 4-14	Perhitungan K_p , T_i Dan T_d , PID Kontrol Dengan Menggunakan <i>MATLAB 7.0</i>	56

Gambar 4-15 Hasil Perhitungan K_p , T_i Dan T_d PID Kontrol.....	57
Gambar 4-16 Blok Diagram Sistem <i>Close Loop</i> Dalam <i>Simulink-MATLAB</i>	
7.0	58

DAFTAR TABEL

Tabel 3-1	Panalaan Parameter PID Dengan Metode Tuning Cohen-Coon	38
Tabel 4-1	Panalaan Parameter PID Dengan Metode Tuning Cohen-Coon	50

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4-1	Performansi Sistem Tanpa Kontroler	49
Grafik 4-2	Performansi Sistem Dengan Kontroler P <i>Cohen-Coon</i>	58
Grafik 4-3	Performansi Sistem Dengan Kontroler PI <i>Cohen-Coon</i>	59
Grafik 4-4	Performansi Sistem Dengan Kontroler PD <i>Cohen-Coon</i>	59
Grafik 4-5	Performansi Sistem Dengan Kontroler PID <i>Cohen-Coon</i>	60

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam era globalisasi, sektor industri memegang peranan yang sangat penting, khususnya di Indonesia. Banyak industri yang berkembang secara pesat. Di dalam industri, sangat dibutuhkan sistem kontrol yang baik untuk dapat menunjang proses berjalannya industri tersebut dan untuk meningkatkan efisiensi dalam proses produksi.

Dalam sistem kontrol dikenal pula istilah kontroler PID. Kontroler PID merupakan kontroler berumpan balik yang paling populer di dalam dunia industri saat ini. Kontroler PID terbukti telah dapat memberikan performansi kontrol yang baik meskipun memiliki algoritma yang sederhana dan sangat mudah dipahami. Kontroler PID pun dikenal sebagai kontroler klasik yang dapat menghasilkan performansi yang paling baik.

Salah satu yang sangat dikenal dalam desain kontrol PID adalah *tuning* atau yang lazim dikenal dengan pemberian parameter P, I dan D agar didapatkan respon sistem yang diinginkan.

Kontrol *tuning* adalah aspek yang sangat penting dalam desain kontroler PID adalah penentuan parameter kontroler PID sebagai sistem *close loop* memenuhi kriteria performansi yang diinginkan.

Pada sistem kontrol *close loop*, dimana informasi penting yang digunakan dalam komputasi sinyal kesalahan, yaitu beda antara nilai *set point* dengan *output*

yang sebenarnya dari proses terkontrol. Beberapa strategi komputasi sinyal kontrol adalah sebagai berikut :

- a. Kontroler *on-off*
- b. Kontroler P
- c. Kontroler P+I
- d. Kontroler P+I+D

Kontroler *on-off* adalah strategi kontrol *close loop* yang paling sederhana, ciri utamanya adalah memberikan *output* terkontrol yang berosilasi disekitar *set point*.

Dalam sistem pengendalian dikenal ada tiga jenis pengendalian kontinu yang sering digunakan, yaitu proporsional yang disingkat dengan P, pengendali integral yang disingkat dengan I dan pengendali differensial yang disingkat dengan D.

Karena kelebihan dan kekurangan ketiga pengendali tersebut, maka biasanya seringkali digunakan dalam bentuk kombinasi. Sebagai contoh kombinasi penggabungan P dan I yang disingkat dengan PI, kombinasi antara P dan D yang disingkat dengan PD atau dapat pula gabungan antara P, I dan D yang lebih dikenal dengan PID.

Istilah proporsional sendiri datang dari sifat unit itu sendiri yaitu outputnya selalu sebanding (proporsional) dengan inputnya. Begitu pula, disebut dengan integral karena output unit tersebut merupakan hasil integral dari inputnya. Dan disebut *derivative* atau differensial karena output unit tersebut merupakan hasil defferensial atau *derivative* dari inputnya.

Kontroler PID merupakan kontroler yang sampai sekarang masih banyak digunakan di dunia industri. Hal yang penting pada desain kontrol ini ialah menentukan parameter kontroler atau yang disebut juga dengan *tuning*. Adapun

beberapa metode tuning yang biasanya digunakan adalah metode *Ziegler-Nichols*, *Cohen-Coon* dan *Direct Syntesis*.

Dalam Skripsi ini akan dianalisis mengenai performansi metode *tuning* dengan menggunakan metode *Cohen-Coon* pada pengendalian motor DC, agar dapat dilihat bagaimana performansi pengendalian motor DC tersebut jika diterapkan metode tuning *Cohen-Coon* didalamnya.

Dengan mengimplementasikan kontroler PID pada pengendalian motor DC maka akan dianalisis performansi dari sistem pengendalian tersebut.

Mengingat pentingnya hal tersebut diatas maka Skripsi ini diberi judul :

ANALISIS PERFORMANSI KONTROLER PID PADA PENGENDALIAN MOTOR DC DENGAN MENGGUNAKAN METODE TUNING COHEN-COON

1.2. Perumusan Masalah

Penganalisaan performansi kontroler PID pada pengendalian motor DC disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak *simulink-MATLAB 7.0*.

Permasalahan yang ada adalah bagaimana membuat performansi dari sistem pengontrolan sesuai dengan yang dikehendaki, yaitu sistem yang stabil. Sehingga dapat dianalisa performansi sistem yang nantinya berupa *Error Steady State*, *Rise Time*, *Maximum Overshoot* dan *Settling Time* yang dihasilkan dari pengontrolan pada motor DC yang telah diimplementasikan metode tuning *Cohen-Coon* didalamnya.

1.3. Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang telah dikemukakan diatas, maka penulisan Skripsi ini bertujuan untuk menganalisis performansi pengendali sebuah motor DC menggunakan kontroler PID yang ditala dengan menggunakan metode tuning *Cohen-Coon*.

1.4. Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah yang dibahas dalam Skripsi ini adalah :

- a. Analisis performansi kontroler PID dengan menggunakan metode tuning *Cohen-Coon*.
- b. Analisis dilakukan dengan mengimplementasikan motor DC penguatan terpisah tanpa beban sebagai objek yang dikendalikan, motor DC yang digunakan dianggap ideal serta tidak dibahas secara mendetail.
- c. Hanya membahas masalah kontroler PID dengan metode tuning *Cohen-Coon*.
- d. Software yang digunakan adalah *simulink-MATLAB 7.0*.

1.5. Metodologi

Metode-metode yang diambil untuk pemecahan masalah meliputi :

- a. Studi literatur, yang mempelajari teori-teori yang terkait melalui literatur yang telah ada, yang berhubungan dengan pembahasan masalah.
- b. Studi penelitian yang berkaitan dengan permasalahan.
- c. Simulasi dan pembahasan masalah yang dilakukan dengan bantuan perangkat lunak dengan menggunakan *simulink-MATLAB 7.0*.
- d. Menarik kesimpulan dari hasil penelitian dan pembahasan masalah.

1.6. Sistematika

Pembahasan dalam Skripsi ini akan diuraikan dalam lima bab, yang penjabarannya adalah sebagai berikut :

Bab I : PENDAHULUAN

Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, metodologi dan sistematika pembahasan yang akan dipaparkan dalam laporan Skripsi ini.

Bab II : LANDASAN TEORI

Membahas tentang berbagai macam teori yang mendukung dalam mengendalikan motor DC sebagai objek yang akan disimulasikan dengan menggunakan metode tuning *Cohen-Coon*.

Bab III : SISTEM PENGENDALIAN

Membahas tentang proses pada pengendalian motor DC dan parameter-parameter yang digunakan dalam menganalisis performansi sistem dengan menggunakan metode tuning *Cohen-Coon*.

Bab IV : ANALISIS SIMULASI DAN PENGUJIAN SISTEM

Membahas tentang pengujian terhadap pengendalian motor DC setelah diimplementasikan metode tuning *Cohen-Coon* di dalamnya.

Bab V : PENUTUP

Merupakan bagian akhir dari laporan yang terdiri dari kesimpulan dan saran.

BAB II

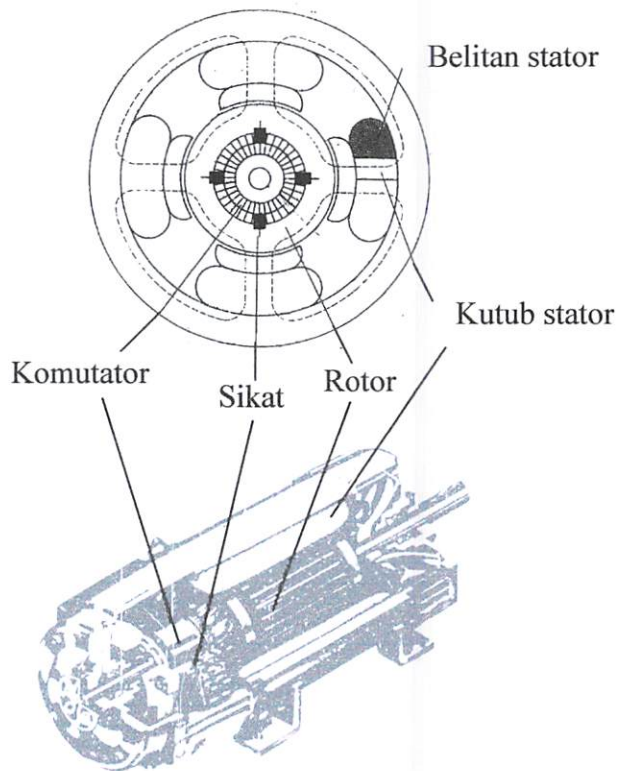
LANDASAN TEORI

2.1. Umum

Motor DC adalah peralatan elektromekanis yang mengubah daya listrik menjadi daya mekanis dengan arus searah sebagai suplai energi listriknya. Motor DC terdiri dari dua bagian dasar yaitu *stator* dan *rotor*. Stator merupakan bagian dari motor DC yang tidak bergerak sedangkan rotor merupakan bagian yang bergerak. Pada stator terdapat belitan yang dinamakan belitan medan karena berfungsi menghasilkan medan magnet, sedangkan pada rotor terdapat belitan yang dinamakan belitan jangkar karena berfungsi membawa arus beban. Pada poros rotor terdapat komutator dan sikat, komutator bergerak bersamaan dengan poros rotor sedangkan sikat tidak bergerak tetapi menyentuh komutator. Komutator berupa silinder yang terbuat dari beberapa segmen tembaga yang terisolasi satu sama lain, dan sikat terbuat dari bahan karbon. Komutator dan sikat secara bersamaan berfungsi sebagai penyearah. *Gambar 2.1* merupakan gambar konstruksi motor DC.

Penggunaan motor arus searah sudah sangat dikenal secara luas. Keuntungan-keuntungan yang menonjol akan penggunaan motor-motor arus searah tersebut timbul dengan penunjukan karakteristik operasinya. Motor DC secara luas dipergunakan dalam berbagai macam penerapan yang memerlukan putaran yang dapat diatur dan beberapa penerapannya digunakan pada industri tekstil, industri kertas dan lain-lain.

Motor DC terutama motor DC penguatan terpisah mempunyai keunggulan-keunggulan tersendiri, yang mana motor DC penguatan terpisah ini mempunyai kecepatan yang hampir konstan pada tegangan jepit yang konstan meskipun terjadi perubahan beban.



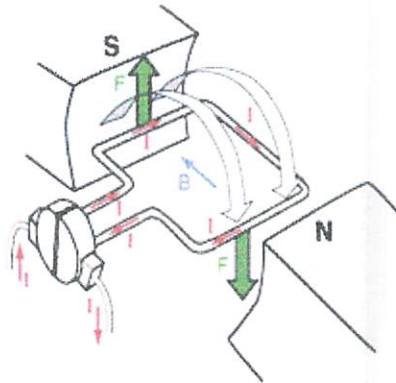
Gambar 2.1. Konstruksi Motor DC

Sumber: www.NEETS.com

2.2. Prinsip Kerja Motor DC

Prinsip kerja motor DC berdasarkan pada penghantar yang dialiri arus ditempatkan dalam suatu medan magnet sehingga penghantar tersebut akan mengalami gaya. Gaya menimbulkan torsi sehingga menghasilkan putaran.

Penghantar yang berputar akan menimbulkan tegangan AC sehingga diubah menjadi tegangan DC oleh komutator dan sikat.



Gambar 2.2. Interaksi Antara Medan Magnet Dan Penghantar Yang Dialiri Arus

Sumber: www.HyperPhysics.com

Gaya yang dihasilkan sebesar: (Cathey, 2001:50)

$$F = B.I.l \tag{2-1}$$

Gaya itu menimbulkan torsi sebesar:

$$T = F.r \tag{2-2}$$

$$T = B.I.l.r$$

dengan:

F = Gaya (N).

B = Rapat fluks (T).

I = Arus yang mengalir pada penghantar (A).

l = Panjang penghantar (m).

r = Jari-jari inti jangkar (m).

T = Torsi (Nm).

Jangkar memiliki jumlah penghantar dan cabang paralel penghantar sehingga dari Persamaan (2-1) dan (2-2) didapatkan:

$$T = \frac{Z}{a} B.I_a.l.r \quad (2-3)$$

dengan:

Z = Jumlah penghantar jangkar.

a = Jumlah cabang paralel penghantar jangkar yang berada di antara sikat.

I_a = Arus jangkar (A).

Rapat fluks yang dihasilkan sebesar:

$$B = \frac{\phi.p}{2\pi.r.l} \quad (2-4)$$

Jika Persamaan (2-4) diberikan ke Persamaan (2-3) didapatkan:

$$T = \frac{z}{a} B.I_a.l.r = \frac{z}{a} \frac{\phi.p}{2\pi.r.l} B.I_a.l.r$$

maka akan didapatkan nilai T sebesar :

$$T = \frac{p.Z}{2\pi.a} \phi.I_a \quad (2-5)$$

Dimana telah diketahui bahwa besarnya nilai K pada motor DC sebagai berikut :

$$K = \frac{p.z}{2\pi.a}$$

Sehingga persamaan (2-5) dapat ditulis juga sebagai berikut :

$$T = K.\phi.I_a \quad (2-6)$$

dengan:

p = Jumlah kutub stator.

ϕ = Fluks tiap kutub stator (Wb).

K = Konstanta mesin.

Putaran jangkar yang berada dalam medan magnet akan menghasilkan gaya gerak listrik lawan sebesar:

$$E_a = K \cdot \phi \cdot \omega_m \quad (2-7)$$

Daya yang dihasilkan sebesar:

$$P = E_a \cdot I_a \quad (2-8)$$

Dari persamaan (2-7) dan (2-8):

$$P = K \cdot \phi \cdot I_a \cdot \omega_m \quad (2-9)$$

$$P = T \cdot \omega_m \quad (2-10)$$

dengan:

E_a = Gaya gerak listrik lawan (V).

P = Daya (W).

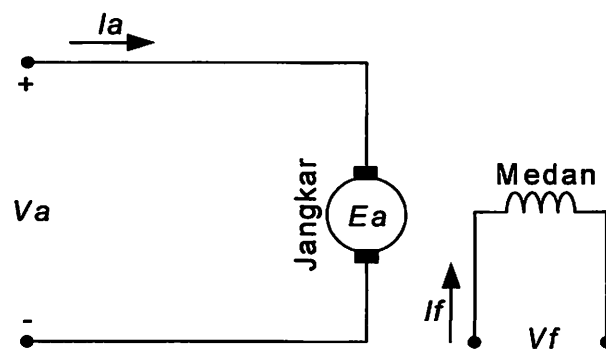
ω_m = Putaran (rad/s).

2.3. Jenis-Jenis Motor DC

Motor DC berdasarkan jenis penguatannya terbagi menjadi 2 yaitu: motor DC penguatan terpisah dan motor DC penguatan sendiri. Penguatan pada motor DC diberikan oleh belitan medan sehingga jenis penguatan motor DC berdasarkan pada cara pemberian catu tegangan pada belitan medan yang akan menimbulkan medan magnet.

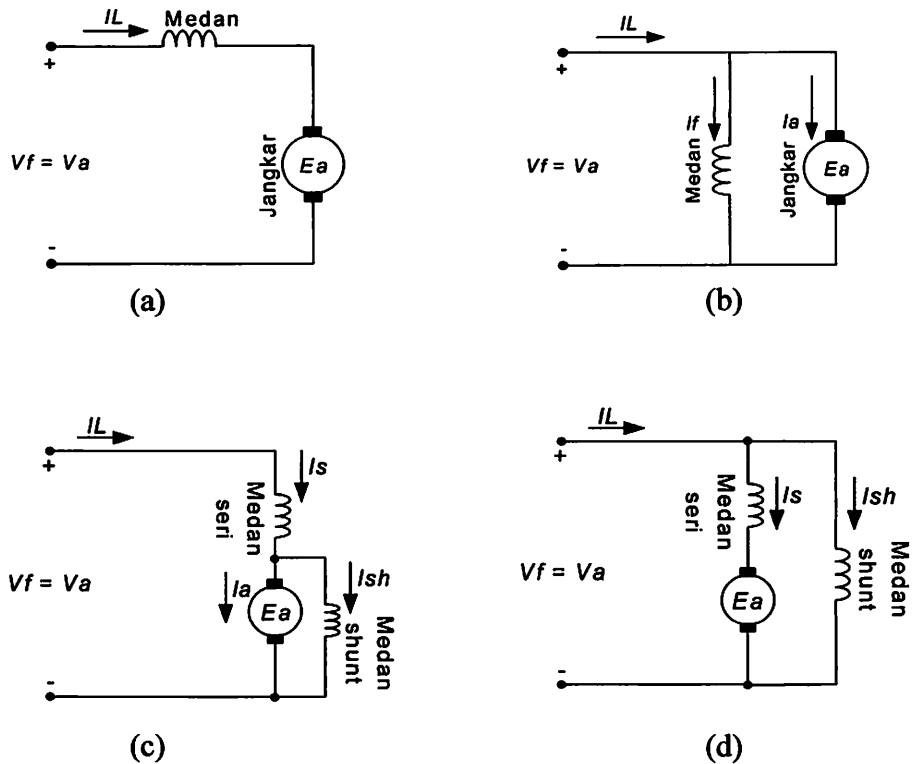
Motor DC penguatan terpisah dicatu oleh dua sumber tegangan terpisah pada belitan medan dan belitan jangkarnya seperti pada *Gambar 2.3*. Motor DC penguatan sendiri dicatu oleh satu sumber pada belitan medan dan belitan jangkarnya. Motor DC penguatan sendiri berdasarkan cara menghubungkan belitan medan dan belitan jangkarnya terbagi menjadi tiga yaitu: motor DC *shunt*, seri dan kompon. Motor DC

shunt belitan medan dan belitan jangkarnya dihubungkan paralel, motor DC seri belitan medan dan belitan jangkarnya dihubungkan seri, sedangkan motor DC kompon merupakan penggabungan dari motor DC *shunt* dan motor DC seri yang terbagi menjadi dua macam yaitu: kompon panjang dan kompon pendek seperti pada *Gambar 2.4*. Motor DC penguatan terpisah dibandingkan motor DC penguatan sendiri memiliki kelebihan dalam pengaturan tegangan sumbernya yaitu pengaturan tegangan jangkar dan pengaturan tegangan medan sehingga memiliki jangkauan pengaturan yang lebih luas.



Gambar 2.3. Rangkaian Jenis Motor DC Penguatan Terpisah

Sumber: Cathey, 2001:242



Gambar 2.4. Rangkaian jenis motor DC penguatan sendiri (a) seri. (b) shunt.

(c) kompon pendek. (d) kompon panjang

Sumber: Cathey, 2001:242

Untuk selanjutnya di sini hanya akan ditinjau motor DC penguatan terpisah.

2.4. Motor DC Penguatan Terpisah

Rangkaian motor DC penguatan terpisah seperti pada Gambar 2.3. terdiri atas belitan medan dan belitan jangkar yang modelnya dapat diwakili oleh unsur-unsur resistansi dan induktansi. Berdasarkan rangkaian tersebut didapatkan persamaan:

(Slemon, 1992:146)

$$V_f = R_f \cdot I_f + L_f \frac{dI_f}{dt} \quad (2-11)$$

$$V_a = E_a + I_a \cdot R_a + L_a \frac{dI_a}{dt} \quad (2-12)$$

Jika persamaan (2-7) diberikan ke persamaan (2-12) didapatkan:

$$V_a = K \cdot \phi \cdot \omega_m + I_a \cdot R_a + L_a \frac{dI_a}{dt} \quad (2-13)$$

Berdasarkan persamaan (2-6) untuk model mekanis motor DC penguatan terpisah adalah:

$$T = J \frac{d\omega}{dt} + B \cdot \omega + T_w \quad (2-14)$$

dengan:

V_f = Tegangan medan (V).

L_f = Induktansi belitan medan (H).

R_f = Resistansi belitan medan (Ω).

I_f = Arus medan (A).

V_a = Tegangan jangkar (V).

L_a = Induktansi belitan jangkar (H).

R_a = Resistansi belitan jangkar (Ω).

I_a = Arus jangkar (A).

J = Momen inersia ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$).

B = Koefisien gesekan motor $\{\text{Nm}/(\text{rad/s})\}$.

T_w = Torsi beban (Nm).

Untuk operasi motor dalam keadaan mantap pada persamaan (2-11), (2-12), (2-13), dan (2-14) turunan terhadap waktunya adalah nol sehingga persamaannya berturut-turut menjadi:

$$V_f = R_f \cdot I_f \quad (2-15)$$

$$V_a = E_a + I_a \cdot R_a \quad (2-16)$$

$$V_a = K \cdot \phi \cdot \omega_m + I_a \cdot R_a \quad (2-17)$$

$$T = B \cdot \omega + T_w \quad (2-18)$$

Untuk menghitung kinerja dari motor DC maka digunakan keempat persamaan di atas, yang terdiri atas tiga persamaan sistem listrik pada jangkar dan medan yaitu: persamaan (2-15), (2-16), (2-17) dan satu persamaan sistem mekanik pada poros rotor yaitu persamaan (2-18).

Berdasarkan persamaan (2-17) didapatkan hubungan antara torsi dan kecepatan motor DC penguatan terpisah sebagai berikut:

$$\omega = \frac{V_a - I_a \cdot R_a}{(K\phi)} \quad (2-19)$$

2.5. Pengaturan Kecepatan Motor DC

Motor DC merupakan mesin penggerak yang banyak digunakan karena memiliki kelebihan pada pengaturan kecepatannya. Pada umumnya pengaturan kecepatan motor DC penguatan terpisah dan motor DC penguatan sendiri hampir sama. Pengaturan kecepatan pada motor DC penguatan terpisah lebih luas dibandingkan pengaturan kecepatan pada motor DC penguatan sendiri dikarenakan motor DC penguatan terpisah dicatu oleh dua sumber.

Untuk selanjutnya di sini hanya akan ditinjau pengaturan kecepatan motor DC penguatan terpisah.

Kecepatan motor DC penguatan terpisah dapat diatur sesuai persamaan (2-19)

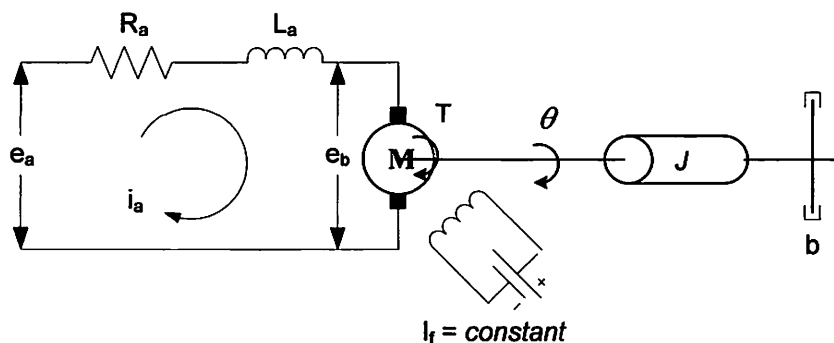
dengan menggunakan tiga metode yaitu:

- Pengaturan fluksi/medan.
- Pengaturan resistansi jangkar.
- Pengaturan tegangan jangkar.

Untuk selanjutnya di sini hanya akan ditinjau motor DC penguatan terpisah dengan pengaturan jangkar.

2.6. Pengaturan Tegangan Jangkar

Pada metode ini resistansi jangkar dan sisi medannya dijaga konstan sehingga pengaturan hanya dilakukan pada tegangan jangkarnya. Pengaturan kecepatan dilakukan dengan mengatur tegangan jangkar seperti pada *Gambar 2.5*.



Gambar 2.5. Diagram Skematik Jangkar-Magnet Terkontrol Motor DC

Sumber : Ogata, 1996 : 130

Dimana :

- R_a = tahanan kumparan jangkar (*ohm*)
- L_a = induktansi kumparan jangkar (*Henry*)
- e_a = tegangan yang dikenakan pada jangkar (*volt*)

- e_b = gaya gerak listrik (ggl) lawan motor (*volt*)
- i_a = arus kumparan jangkar (*ampere*)
- i_f = arus medan (*ampere*)
- θ = perpindahan sudut dari poros motor (*radian*)
- T = torsi yang diberikan oleh motor (*radian*)
- J = moment inersia ekivalen dari motor dan beban pada poros ($Kg-m^2$)
- b = koefisien gesek ($N-m/rad/det$)

2.7. Spesifikasi Motor DC

Adapun parameter motor DC yang akan digunakan dalam Skripsi ini adalah sebagai berikut :

Adapun spesifikasi dari motor DC yang digunakan adalah sebagai berikut :

Data motor DC penguatan terpisah yang dipergunakan berdasarkan *name plate* adalah sebagai berikut:

- Jenis Motor : Motor DC *shunt*
- Daya : 0,3 kW
- Tegangan nominal jangkar : 220 V
- Arus nominal jangkar : 2,2 A
- Tegangan nominal medan : 220 V
- Arus nominal medan : 0,45 A
- Putaran : 2000 rpm

Dari pengujian didapat nilai-nilai parameter motor DC sebagai berikut :

- V_a = 190 V
- T = 0,413 Nm

- $N = 1939 \text{ rpm}$
- $I_a = 0,46 \text{ A}$
- $R_a = 11,846 \Omega$
- $L_a = 0,09396 \text{ H}$
- $R_f = 392,322 \Omega$
- $L_f = 12,253 \text{ H}$

Untuk menentukan konstanta motor ($K\phi$) diambil beberapa parameter dari data pengujian sebelumnya yaitu:

- $V_a = 190 \text{ V}$
- $T = 0,413 \text{ Nm}$
- $N = 1939 \text{ rpm}$
- $I_a = 0,46 \text{ A}$

Berdasarkan data di atas maka konstanta motor ($K\phi$) dapat dihitung sesuai persamaan (2-19).

BAB III

SISTEM PENGENDALIAN

3.1 Umum

Kontrol otomatis telah memegang peranan yang sangat penting dalam perkembangan ilmu dan teknologi. Disamping banyak diperlukan pada pesawat ruang angkasa, peluru kendali, sistem pengemudi pesawat dan sebagainya. Kontrol otomatis telah menjadi bagian penting dan terpadu dari proses-proses dalam pabrik dan industri modern. Misalnya, kontrol otomatis telah memegang peranan yang sangat penting dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Disamping banyak diperlukan pada pesawat ruang angkasa, peluru kendali, sistem pengemudi pesawat, dan sebagainya. Kontrol otomatis telah menjadi bagian yang sangat penting dan terpadu dari proses – proses dalam pabrik dan industri modern. Misalnya, kontrol otomatis sangat diperlukan di dalam dunia industri seperti pengontrolan tekanan, suhu, kelembaban, viskositas, dan arus dalam industri proses.

Karena kemajuan dalam teori dan praktek kontrol otomatis memberikan kemudahan dalam mendapatkan performansi dari sistem dinamik, mempertinggi kualitas dan menurunkan biaya produksi, mempertinggi laju produksi, meniadakan pekerjaan-pekerjaan rutin dan membosankan yang harus dilakukan oleh manusia, dan sebagainya.

Sejarah perkembangan. Hasil karya pertama yang sangat penting dalam kontrol otomatis adalah governor sentrifugal untuk pengontrolan kecepatan mesin uap yang dibuat oleh *James Watt* pada abad ke delapan belas. Hasil karya lainnya

yang penting pada tahap awal perkembangan teori kontrol dibuat oleh *Minorsky*, *Hazen*, *Nyquiste*, dan sebagainya. Pada tahun 1922, *Minorsky* membuat kontroler otomatis untuk mengendalikan pengemudian kapal dan menunjukkan cara menentukan kestabilan dari persamaan differensial yang melukiskan sistem. Pada tahun 1932 *Nyquis* mengembangkan suatu prosedur yang relatif sederhana untuk menentukan kestabilan sistem loop tertutup pada basis sistem loop terbuka terhadap masukan tunak (*steady state*) sinusoida. Pada tahun 1934 *Hazen*, yang memperkenalkan istilah servomekanis untuk sistem kontrol posisi, membahas desain servomekanis relay yang mampu mengikuti dengan baik masukan yang berubah.

Selama dasawarsa 1940-an, metode respon frekuensi memungkinkan para insinyur untuk mendesain sistem kontrol linier berumpan balik yang memenuhi persyaratan kinerja. Metode respon frekuensi dan tempat kedudukan akar, yang merupakan inti teori kontrol fisik, akan membawa sistem yang stabil dan memenuhi seperangkat persyaratan kinerja yang hampir seimbang.

Hampir semua proses dalam industri membutuhkan peralatan – peralatan otomatis untuk mengendalikan parameter – parameter prosesnya. Otomatisasi tidak saja diperlukan demi operasi, keamanan, ekonomi maupun mutu produk, tetapi lebih merupakan kebutuhan pokok. Kelak akan dipelajari alat tidak mungkin menjalankan suatu proses industri tanpa bantuan sistem pengendali. Contohnya adalah pengendalian penggilingan minyak. Proses disuatu penggilingan minyak tidak mungkin dapat dijalankan tanpa bantuan fungsi sistem dari pengendalian.

Ada banyak parameter yang baru dikendalikan di dalam suatu proses. Diantaranya yang paling umum adalah tekanan (*pressure*) didalam sebuah *vassel* atau pipa, aliran (*flow*) didalam pipa, suhu temperatur di unit proses seperti *heat*

exchanger, atau permukaan zat cair (*level*) disebuah tangki. Ada beberapa parameter lain diluar keempat parameter diatas yang cukup penting dan perlu dikendalikan karena kebutuhan spesifik proses, diantaranya : PH di industri petrokimia, *water cut (w&w)* diladang minyak mentah, warna produksi suatu facility pencairan gas (NGL) dan sebagainya.

Gabungan serta kerja alat-alat pengendalian otomatis inilah dinamai sistem pengendalian proses (proses contoh sistem). Sedangkan semua peralatan yang menjalankan sistem pengendali disebut instrumentasi pengendalian proses (*Process Control Instrumentation*).

Kedua hal ilmu tersebut berhubungan satu dengan yang lain, dimana keduanya mempunyai hakikat yang berbeda. Pembahasan tentang ilmu proses kontrol sistem lebih dipusatkan pada kerja sistem, sering kali diperlukan penjelasan melalui alat kerja.

3.2. Prinsip-Prinsip Pengendalian Proses

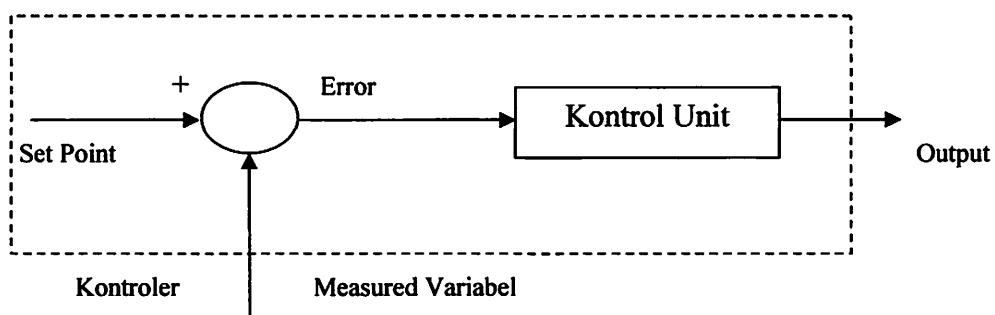
Dalam pengendali proses, operator mengerjakan empat langkah sebagai berikut : *Mengukur, Membandingkan, Menghitung dan Mengoreksi*. Keempat langkah yang dilakukan operator itu, seluruhnya dapat dikerjakan oleh instrumentasi. Manusia kemudian sama sekali tidak menentukan keempat langkah tadi. Operator hanya perlu menentukan besarnya *set point*, dan semuanya akan dikerjakan secara otomatis oleh instrument. Sistem pengendali semacam inilah yang disebut **sistem pengendali otomatis (*automatic control system*)**. Keempat tahap pengendaliannya, sepenuhnya dilakukan oleh instrumentasi. Mata rantai pengendalinya kemudian

disebut mata rantai tertutup, dan sistemnya juga disebut sistem pengendalian tertutup atau *sistem closed loop*.

3.3. Prinsip Kerja Pengendali

Ada tiga jenis pengendali kontinu, yaitu pengendali proposional di singkat P, pengendali integral di singkat I, dan pengendali diferensial di singkat D. Karena kelebihan dan kekurangan ketiga pengendali itu, mereka seringkali dipakai dalam bentuk kombinasi, yaitu P+I disingkat PI, P+D disingkat PD, dan P+I+D disingkat PID. Ketiga jenis pengendali ini memberikan respon yang berbeda-beda. Pada dasarnya, tugas sebuah kontinu terbagi dalam dua tahap, yaitu membandingkan dan menghitung.

Pembandingan itu sendiri dilakukan dengan mengurangi besarnya *set point* dengan besaran *measurement variabel*, yang hasilnya adalah besaran yang disebut *error*. Karena set point bisa lebih besar atau lebih kecil dari *measurement variable*, nilai *error* bisa positif dan bisa juga negatif. Jadi *error* adalah input unit kontrol dan *manipulated variable* adalah output unit kontrol. Besarnya *manipulated variable* dihitung berdasarkan *error* dan *transfer function* unit kontrol. Bentuk *transfer function* dari unit kontrol terhitung pada “mode” yang ada dikontroler.



Gambar 3.1 Kontroler Dan Diagram Kotaknya

Sumber : Gunterus, 1977 : 6-4

Dari *gambar 3.1* diatas, jelas bahwa *set point* diproduksi oleh kontroler itu sendiri, yang besarnya dapat diatur dengan memutar knob *set point* yang ada pada kontroler. Kontrol menerima sinyal *measurement variable* di bagian yang lazim ditulis "*input*", dan menghasilkan sinyal *manipulated variable* dibagian yang lazim disebut "*output*".

Kita tidak akan dapat membedakan kontrol mode unit kontrol dengan melihat kontroler dari luar. Untuk mengetahui mode dari satu unit kontroler, kita harus membuka bagian dalam kontroler tersebut dan melihat apa saja yang ada pada unit tersebut. Bentuk luar semua unit kontrol sama. Karena tidak semua dari ketiga mode tersebut cocok dengan aplikasi kita, maka hanya mode yang dibutuhkan yang akan difungsikan di unit ini. Konsekuensinya, orang tidak dapat melihat mode suatu kontroler hanya dengan melihat bentuk fisik luarnya saja.

Selanjutnya untuk memudahkan pembahasan, maka akan dijabarkan bahwa kontroler adalah seluruh bagian dari diagram kotak yang ada pada *gambar 3.1*. Sedangkan unit kontrol hanyalah bagian dari kontroler yang secara langsung menghitung besarnya koreksi atau besarnya *manipulated variable*.

Seperti yang telah dikatakan diatas, ada tiga unsur unit kontroler, yaitu proporsional, integral dan defferensial, yang akan dijelaskan secara bertahap.

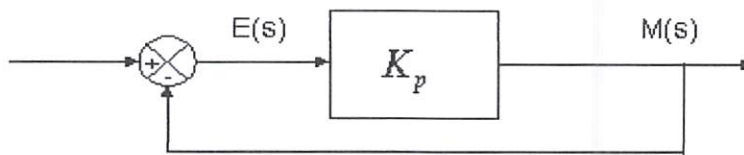
3.4. Pengendali Proporsional (*Proporsional Controller*)

Salah satu dari ketiga unit kontrol yang paling populer dan paling banyak dipakai adalah unit kontrol P, seperti tercermin dari namanya, besar *output* unit kontrol P selalu sebanding dengan besarnya *input*. Bentuk *transfer function* unit kontrol *proporsional* oleh karenanya akan sederhana sekali, sehingga bentuk *transfer*

function-nya juga sederhana. Unit kontrol P adalah unit kontrol yang paling banyak dipakai, baik tersendiri dalam bentuk pengendali *P-only* maupun dalam kombinasi dengan mode integral (I) dan differensial (D).

Kontroler proporsional memiliki keluaran yang sebanding / proporsional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya). Secara lebih sederhana dapat dikatakan bahwa keluaran kontroler proporsional merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan masukan. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengubah keluarannya sebesar konstanta pengalinya.

Gambar 3.2 menunjukkan blok diagram yang menggambarkan hubungan antara besaran *setting*, besaran *actual* dengan besaran keluaran kontroler proporsional. Sinyal kesalahan (*error*) merupakan selisih antara besaran *setting* dengan besaran aktualnya. Selisih ini akan mempengaruhi kontroler, untuk mengeluarkan sinyal positif (mempercepat pencapaian harga *setting*) atau negative (memperlambat tercapainya harga yang diinginkan).



Gambar 3.2 Diagram Blok Kontroler Proporsional

Sumber : www.elektroindonesia.com

Kontroler proporsional memiliki 2 parameter, yaitu pita proporsional (*proporsional band*) dan konstanta proporsional.

Hubungan antara pita proporsional (*PB*) dengan konstanta proporsional (K_p) ditunjukkan secara prosentase oleh persamaan berikut ini :

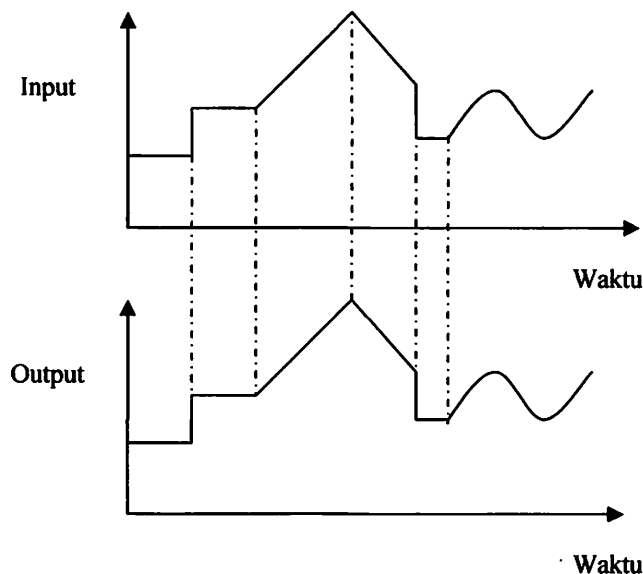
$$PB = \frac{1}{K_p} \times 100\%$$

Dimana :

PB = Proporsional Band

K_p = Konstanta Proporsional

Walaupun hubungan input-output unit kontrol proporsional bukan merupakan fungsi waktu, untuk bahan perbandingan dengan unit kontrol lain, ada baiknya kalau hubungan itu dinyatakan dalam bentuk kurva fungsi waktu. Dari *gambar 3.3* jelas terlihat bahwa output selalu mengikuti input secara proporsional. Naik turunnya input diikuti secara langsung oleh output, dan besarnya selalu sama dengan input kali gain. Karena unit kontrol proporsional ini bukan fungsi waktu, dinamik gain pengendali ini sama dengan *steady state* gainnya. Dengan kata lain, besarnya gain tidak tergantung pada besarnya frekuensi loop.



Gambar 3.3 Response Sebuah Pengendali Proporsional

Sumber : Gunterus, 1977 : 6-7

Contoh pengendali integral proporsional yang mudah ditemui dalam kehidupan sehari-hari adalah pengisian tangki penampung air di kloset. Hal yang perlu diperhatikan pada contoh ini adalah bahwa kontrol unit di contoh bekerja secara proporsional. Artinya, koreksi dalam hal ini buka tutupnya *control valve* akan selalu sebanding dengan ketinggian level. *Set point* dalam hal ini adalah sama dengan ketinggian level maksimum.

3.5. Pengendali Integral (*Integrator Controller*)

Setelah pengendali proporsional diketahui “gagal” mengendalikan sistem secara sempurna dalam arti masih adanya *offset*. Dikarenakan sifat dasar pengendali proporsional yang masih memerlukan *error* untuk menghasilkan *output*. Oleh karena itu, untuk menghilangkan *offset*, diperlukan pengendali lain yang dapat menghasilkan *output* walaupun sudah tidak ada *input* lagi. Sifat unit inilah yang dimiliki oleh pengendali integral. Sayangnya, kemampuan pengendali integral menghilangkan *offset* tidak disertai kemampuan bereaksi secara cepat. Karena lambatnya reaksi tersebut maka pengendali integral biasanya dipakai dalam kombinasi dengan pengendali proporsional. Kedua pengendali tersebut dipasang secara paralel sehingga kelebihan kedua pengendali dapat dimanfaatkan secara serempak.

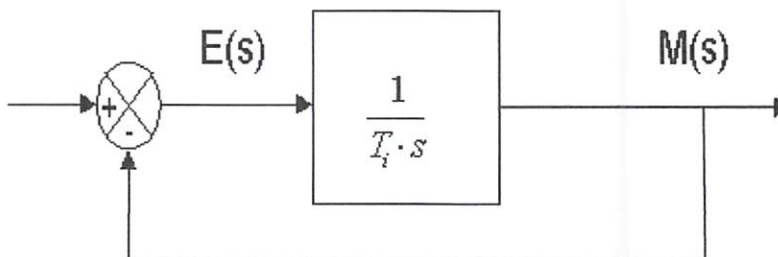
Kalau diteliti dengan seksama, *offset* dapat terjadi di sistem pengendali proporsional, karena pengendali proporsional selalu membutuhkan *error* (dalam hal ini *input* ke *unit control*) untuk menghasilkan suatu *output*. Kalau tidak ada *error*, *output* yang keluar dari pengendali proporsional hanyalah bias yang biasanya disetel 50%.

Jadi untuk menghasilkan *offset* dibutuhkan sebuah pengendali lain, yang dapat menghasilkan output walaupun padanya tidak diberikan *input*. Dengan kata lain, diperlukan pengendali yang dapat menghasilkan *output* lebih besar atau lebih kecil dari bias pada saat *input (error)* sama dengan nol. Pengendali yang memenuhi kriteria ini adalah pengendali integral, disingkat I.

Kontroler integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan mantap nol. Kalau sebuah plant tidak memiliki unsur *integrator* ($1/s$), kontroler proporsional tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan mantapnya nol. Dengan kontroler integral, respon sistem dapat diperbaiki, yaitu mempunyai kesalahan keadaan mantapnya nol.

Kontroler integral memiliki karakteristik seperti halnya sebuah integral. Keluaran kontroler sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Keluaran kontroler ini merupakan jumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Kalau sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan.

Gambar 3.4 menunjukkan blok diagram antara kesalahan dengan keluaran suatu kontroler integral.



Gambar 3.4 Blok Diagram Hubungan Antara Besaran Kesalahan Dengan Kontroler Integral

Sumber : www.elektroindonesia.com

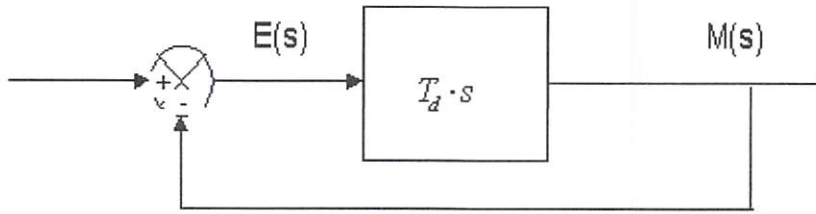
3.6. Kontroler Differensial (*Derivative Controller*)

Setelah kekurangan pengendali P yang meninggalkan *offset* diperbaiki oleh pengendali PI, namun masih saja ada ketidakpuasan karena masih lambatnya respon pengendali PI maka digunakanlah pengendali D untuk mengatasi kelambatan respon pengendali PI ini.

Pengendali jenis ini mengandung unsur *derivative* pada *transfer function*-nya, itulah sebabnya pengendali differensial juga disebut pengendali *derivative (derivative controller)*, disingkat pengendali D. Kemudian karena sifatnya yang mampu mengeluarkan output ekstra disaat-saat awal, pengendali differensial juga sering disebut *pre-act kontroler*.

Namun dari segi lain sifat reaktif ini justru membatasi pemakaian pengendali differensial. Pengendali differensial tidak akan pernah dapat dipakai pada proses *variable* yang bergelombang atau mengandung *noise*, misalnya pengendali level atau *flow*. Sinyal yang keluar dari kedua proses *variable* tersebut, biasanya mengandung riak dan gelombang yang oleh pengendali D akan dideferensialkan menjadi pulsa-pulsa yang tidak beraturan dan sistem menjadi kacau. Keadaan kacau itu akan diikuti kerusakan peralatan mekanik yang ada pada loop dan berakibat fatal.

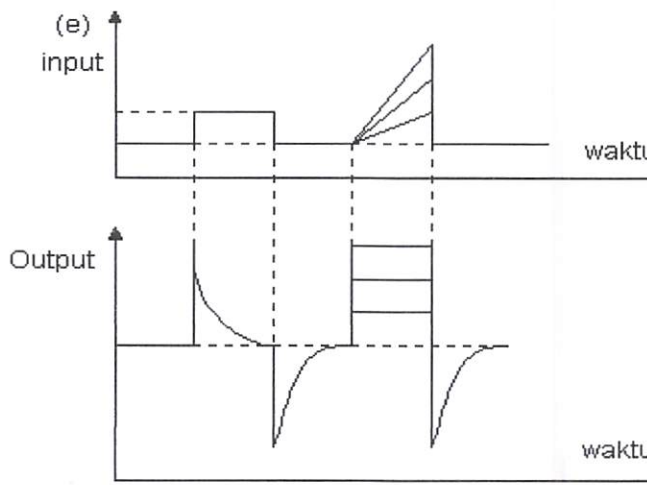
Keluaran kontroler differensial memiliki sifat seperti halnya suatu operasi *derivative*. Perubahan yang mendadak pada masukan kontroler, akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. *Gambar 3.5* menunjukkan blok diagram yang menggambarkan hubungan antara sinyal kesalahan dengan keluaran kontroler.



Gambar 3.5 Blok Diagram Kontroler Differensial

Sumber : www.elektroindonesia.com

Gambar 3.6 menyatakan hubungan antara sinyal masukan dengan sinyal keluaran kontroler differensial. Ketika masukannya tidak mengalami perubahan, keluaran kontroler juga tidak mengalami perubahan, sedangkan apabila sinyal masukan berubah mendadak naik (berbentuk fungsi *step*), keluaran menghasilkan sinyal berbentuk *impuls*. Jika sinyal masukan berubah naik secara perlahan (fungsi *ramp*), keluarannya justru merupakan fungsi *step* yang besar *magnitude*-nya sangat dipengaruhi oleh kecepatan naik dari fungsi *ramp* dan faktor konstanta differensialnya T_d .



Gambar 3.6 Kurva Waktu Hubungan Input-Output Kontroler Differensial

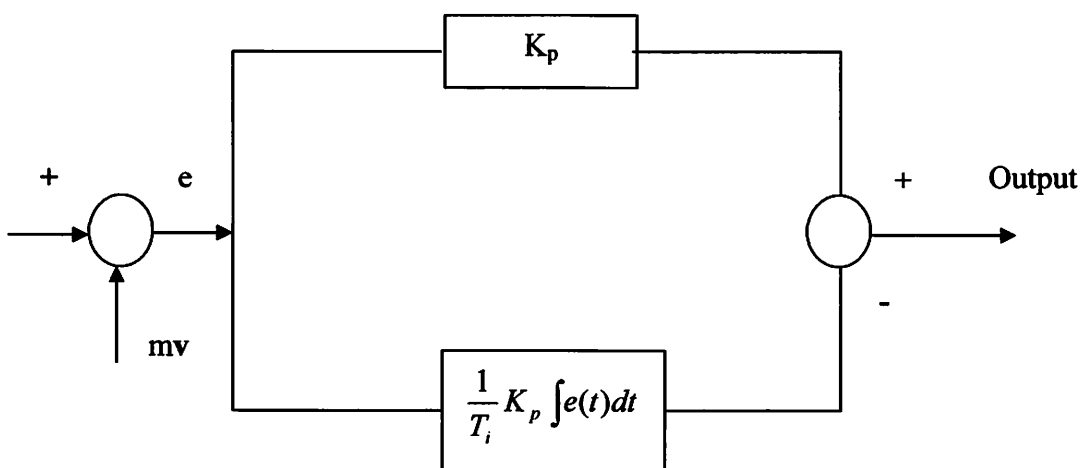
Sumber : Gunterus, 1977 : 8-5

Berdasarkan karakteristik kontroler tersebut, kontroler differensial umumnya dipakai untuk mempercepat respon awal suatu sistem, tetapi tidak memperkecil

kesalahan pada keadaan tunaknya. Kerja kontroler differensial hanyalah efektif pada lingkup yang sempit, yaitu pada periode peralihan. Oleh sebab itu kontroler differensial tidak pernah digunakan tanpa ada kontroler lain di dalam sistem tersebut.

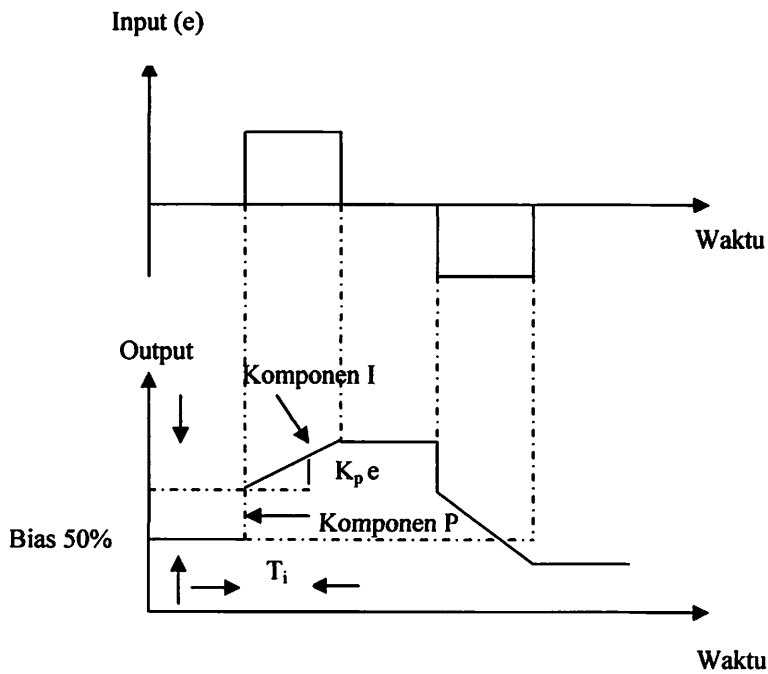
3.7. Pengendali Proporsional Plus Integral (*PI Controller*)

Karena sifatnya yang tidak mengeluarkan *output* sebelum selang waktu tertentu, pengendali integral jadi memperlambat respon, walaupun *offset* hilang oleh karenanya. Untuk memperbaiki lambatnya respon, umumnya pengendali integral dipasang paralel dengan pengendali proporsional seperti *gambar 3.7* Gabungan kedua pengendali tersebut lazim disebut dengan pengendali PI atau PI kontroler, dan pengendali dikatakan punya dua mode, yaitu P dan I.



Gambar 3.7 Diagram Kotak Pengendali Proporsional Plus Integral

Sumber : Gunterus, 1977 : 7-9

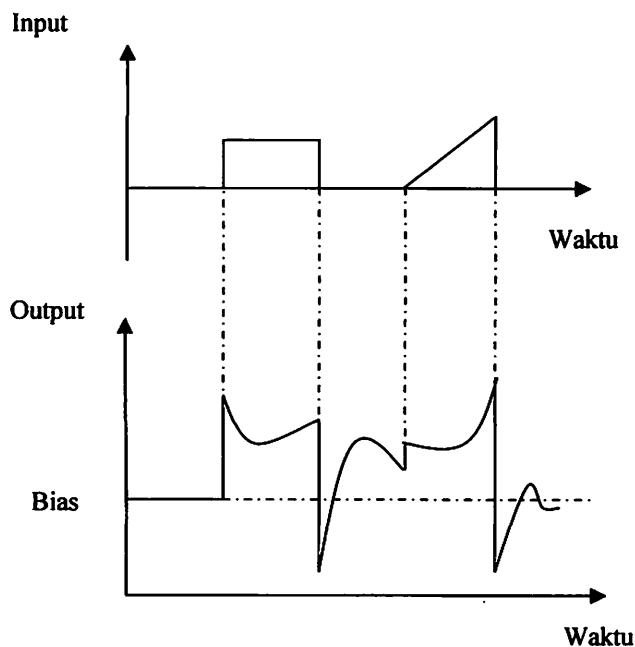


Gambar 3.8 Hubungan Input-Output Pengendali PI dalam Fungsi Waktu

Sumber : Gunterus, 1977: 7-7

3.8. Pengendali Proporsional Plus Differensial (*PD Controller*)

Karena sifatnya yang hanya menghasilkan *output* bila ada perubahan input, pengendali differensial tidak pernah dipakai sendirian. Desain, pengendali differensial dipasang paralel dengan pengendali proporsional, kemudian disebut pengendali PD. Karena pengendali PD adalah gabungan proporsional dan pengendali differensial, ia memiliki sifat yang ada pada pengendali P dan pengendali D.



Gambar 3.9 Output Pengendali Proporsional Plus Differensial Terhadap Input

Fungsi Step

Sumber : Gunterus, 1977 : 8-7

Transfer function pengendali PD adalah *transfer function* pengendali P ditambah *transfer function* pengendali D, sehingga dinamik gain pengendali D.

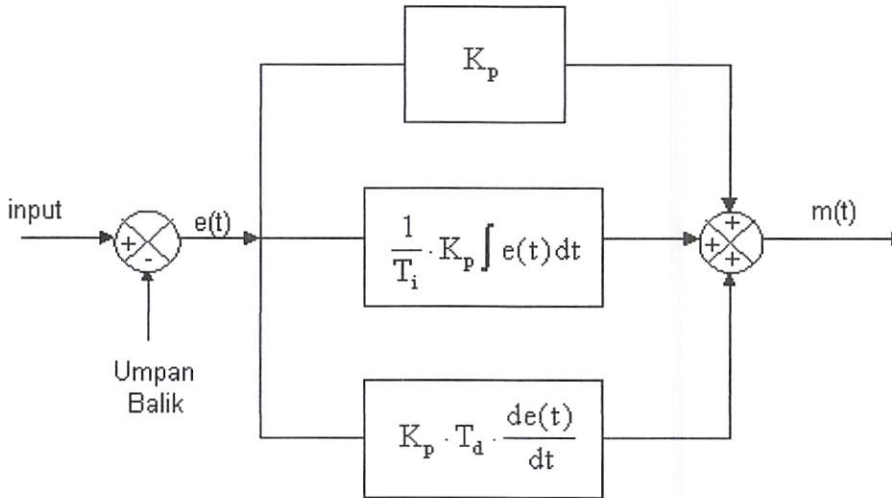
Selain itu, unit kontrol D dirangkaikan secara unik didalam sebuah pengendali, baik pengendali dengan mode PID. Unit D dibuat hanya bekerja untuk perubahan load, namun tidak untuk perubahan *set point*.

3.9. Pengendali PID (*PID Controller*)

Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi kontroler proporsional plus integral plus differensial (kontroler PID). Elemen-elemen kontroler P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk

mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar.

Gambar 3.10 menunjukkan blok diagram kontroler PID.



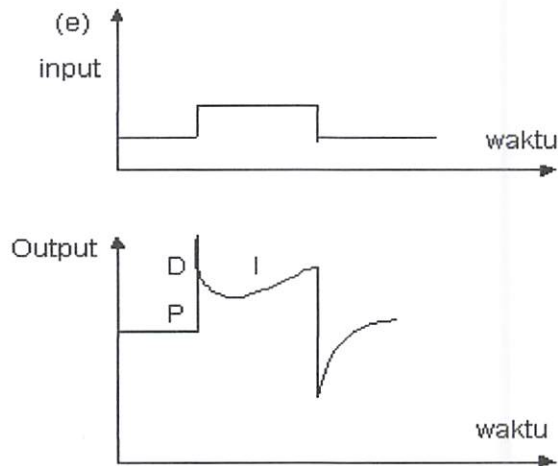
Gambar 3.10 Blok Diagram Kontroler PID

Sumber : www.elektroindonesia.com

Keluaran kontroler PID merupakan jumlahan dari keluaran kontroler proporsional, keluaran kontroler integral. Gambar 3.11 menunjukkan hubungan tersebut. Seperti pengendali PI dan PD, diagram kotak pengendali PID akan merupakan bentuk paralel dari ketiga unit kontrol seperti gambar 3.10. Transfer function pengendali ini adalah sebagai berikut :

$$O = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

$$= \frac{100\%}{PB} \left(1 + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$



Gambar 3.11 Hubungan Dalam Fungsi Waktu Antara Sinyal Keluaran Dengan Masukan Untuk Kontroler PID

Sumber : www.elektroindonesia.com

Karakteristik kontroler PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar dari ketiga parameter P, I dan D. Penyetelan konstanta K_p , T_i dan T_d akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Satu atau dua dari ketiga konstanta tersebut dapat disetel lebih menonjol dibandingkan dengan yang lain. Konstanta yang menonjol itulah akan memberikan kontribusi pengaruh pada respon sistem secara keseluruhan.

3.10. Tuning Sistem

Hakikat utama sistem pengendalian adalah menjaga atau mengendalikan proses variable agar selalu sama dengan nilai set pointnya. Walaupun keadaan ideal itu tidak pernah tercapai sepenuhnya, maka diusahakan agar proses variable dapat sedekat mungkin dengan nilai set point pada keadaan load dan operasi bagaimanapun. Upaya utama yang dilakukan adalah menyetel sistem agar proses *variable* mengikuti *set point*. Sistem harus disetel agar tidak pernah berosilasi pada

semua kondisi operasi. Keadaan sistem yang seperti ini disebut juga dengan keadaan stabil.

Penyetelan sistem pengendalian serupa dengan penalaan suatu *instrument* musik. Tuning sistem pengendalian dilakukan dengan menyetel K_p , T_i dan T_d yang ada pada pengendali. Adapun beberapa metode tuning yang sudah diteliti dan diperkenalkan oleh para ahli adalah Metode Osilasi, Metode Kurva Reaksi, Metode *Quarter Decay* dan Metode Peta Tuning. Dalam sebuah sistem pengendalian atau sebuah sistem *close loop*, pada dasarnya juga sebuah sumber frekuensi. Osilasi bisa terjadi pada *natural frequency*-nya bila pengendali hanya memiliki unit kontrol P saja, dan bisa juga terjadi pada frekuensi-frekuensi lainnya bila mana pengendali mengandung unsur I dan D. Bahkan sistem *underdamped* dan *overdamped* juga memiliki frekuensi, karena ekor dari *transient response*-nya juga mengandung gelombang sinus dengan periode tertentu.

Sebelum melangkah teori tentang tuning, maka terlebih dahulu harus dipahami betul mutu dari sistem pengendalian. Dalam mutu sistem pengendalian ini dikenal beberapa istilah-istilah yang sering dipakai untuk menerangkan mutu suatu sistem pengendalian baik secara kualitatif maupun secara kuantitatif. Biasanya istilah-istilah yang sering dipakai adalah istilah *Overshoot*, *Rise Time*, *Settling Time*, *Damping Factor* maupun *Error Steady State*. *Overshoot* biasanya dinyatakan dalam persentasi, *Rise Time* dan *Settling Time* dalam satuan waktu dan *Damping Ratio* dalam pecahan. Yang mana istilah-istilah inilah yang nanti akan dipakai dalam menganalisa performansi sistem pada bab selanjutnya di dalam laporan Skripsi ini.

3.11. Penalaan Parameter Kontroler PID

Penalaan parameter kontroler PID selalu didasari atas tinjauan terhadap karakteristik yang diatur (*plant*). Dengan demikian betapapun rumitnya suatu *plant*, perilaku *plant* tersebut harus diketahui terlebih dahulu sebelum penalaan parameter kontroler 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. Dengan menggunakan metode itu model matematik perilaku *plant* tidak diperlukan lagi, karena dengan menggunakan data yang berupa kurva keluaran, penalaan kontroler PID dapat dilakukan. Penalaan bertujuan untuk mendapatkan kinerja sistem sesuai spesifikasi perancangan. Dan hal tersebut biasanya dinyatakan sebagai alat kontrol (*controller tuning*).

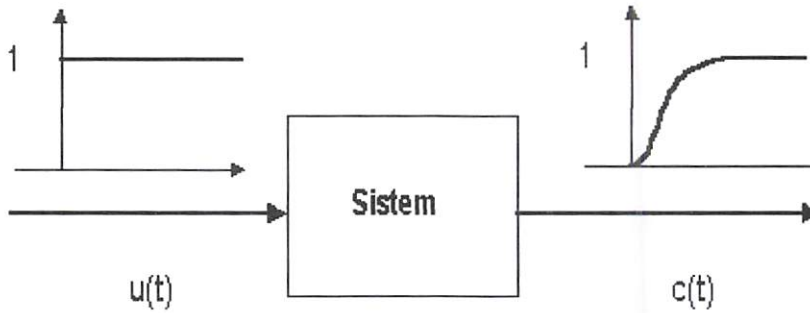
Ada beberapa cara penalaan kontroler PID diantaranya yaitu : Metode Osilasi, Metode Kurva Reaksi atau yang lebih populer dengan metode *Ziegler-Nichols*, Metode *Quarter Decay* yang populer dengan nama metode *Cohen-Coon* serta Peta Tuning.

Sedangkan dalam skripsi ini dibatasi atau digunakan salah satu metode tuning (penalaan) yaitu metode tuning *Cohen-Coon*.

3.12. Metode Kurva Reaksi

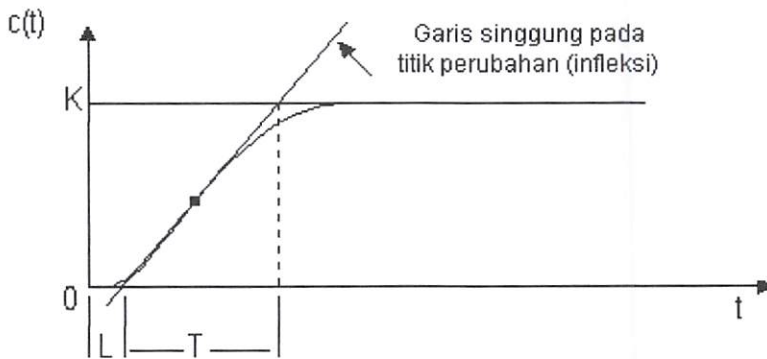
Metode ini didasarkan terhadap reaksi sistem untai terbuka. *Plant* sebagai untai terbuka dikenai sinyal fungsi tangga satuan (*gambar 3.12*). Jika *plant* minimal tidak mengandung unsur *integrator* ataupun *pole-pole kompleks*, reaksi sistem akan berbentuk S. *Gambar 3.13* menunjukkan kurva berbentuk S tersebut.

Kelemahan metode ini terletak pada ketidakmampuannya untuk plant integrator maupun plant yang memiliki pole kompleks.



Gambar 3.12 Respon Tangga Satuan Sistem

Sumber : www.elektroindonesia.com



Gambar 3.13 Kurva Respons Berbentuk S

Sumber : www.elektroindonesia.com

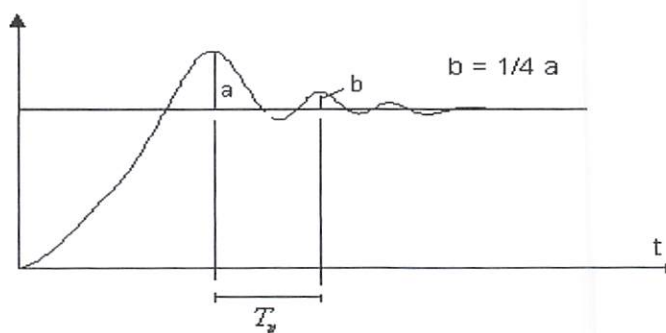
Kurva berbentuk S mempunyai dua konstanta, waktu mati (*dead time*) L dan waktu tunda T . Dari gambar 3.13 terlihat bahwa kurva reaksi berubah naik, setelah selang waktu L . Sedangkan waktu tunda menggambarkan perubahan kurva setelah mencapai 66% dari keadaan mantapnya. Pada kurva dibuat suatu garis yang bersinggungan dengan garis kurva. Garis singgung itu akan memotong dengan sumbu absis dan garis maksimum. Perpotongan garis singgung dengan sumbu absis

merupakan ukuran waktu mati, dan perpotongan dengan garis maksimum merupakan waktu tunda yang diukur dari titik waktu L. Dengan K sebagai konstanta.

Penalaan parameter PID didasarkan perolehan ketiga konstanta itu. *Cohen* dan *Coon* melakukan eksperimen dan menyarankan parameter penyetelan nilai K_p , T_i dan T_d dengan didasarkan pada ketiga parameter tersebut. *Tabel 3.1* merupakan rumusan penalaan parameter PID berdasarkan cara *quarter decay*.

3.13. Metode Tuning *Cohen-Coon*

Karena tidak semua proses dapat mentolerir keadaan osilasi dengan amplitude tetap, *Cohen-Coon* berupaya dapat mentolerir keadaan osilasi dengan amplitude tetap, *Cohen-Coon* berupaya memperbaiki metode osilasi dengan menggunakan metode *Quarte Amplitude Decay*. Tanggapan untai tertutup sistem, pada metode ini, dibuat sehingga respon berbentuk *quarter amplitude decay*. *Quarter amplitude Decay* didefinisikan sebagai respon transient yang amplitudanya dalam periode pertama memiliki perbandingan sebesar seperempat ($1/4$).



Gambar 3.14 Kurva Respon *Quarter Amplitude Decay*

Sumber : www.elektroindonesia.com

Kontroler proportional K_p ditala hingga diperoleh tanggapan *quarter amplitude decay*, periode pada saat tanggapan ini disebut T_p dan parameter T_i dan T_d dihitung dari hubungan K_p dan T_i . Sedangkan penalaan parameter kontroler PID untuk metode tuning *Cohen-Coon* ini bisa dihitung dengan aturan praktis yang parameter-parameter plantnya diambil dari tabel sebagai berikut ini :

Tabel 3.1

Penalaan Parameter PID Dengan Metode Tuning Cohen-Coon

Sumber : Wicaksono, Handy, 2004 : 70-78

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{1}{K} \left(\frac{T}{L} \right) \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{L}{T} \right) \right]$	-	-
PI	$\frac{1}{K} \left(\frac{T}{L} \right) \left[0.9 + \frac{1}{12} \left(\frac{T}{L} \right) \right]$	$L \left[\frac{30 + 3 \left(\frac{L}{T} \right)}{9 + 20 \left(\frac{L}{T} \right)} \right]$	-
PD	$\frac{1}{K} \left(\frac{T}{L} \right) \left[\frac{5}{4} + \frac{1}{6} \left(\frac{L}{T} \right) \right]$	-	$L \left[\frac{6 - 2 \left(\frac{L}{T} \right)}{22 + 3 \left(\frac{L}{T} \right)} \right]$
PID	$\frac{1}{K} \left(\frac{T}{L} \right) \left[\frac{4}{3} + \frac{1}{4} \left(\frac{L}{T} \right) \right]$	$L \left[\frac{32 + 6 \left(\frac{L}{T} \right)}{13 + 8 \left(\frac{L}{T} \right)} \right]$	$L \left[\frac{4}{11 + 2 \left(\frac{L}{T} \right)} \right]$

BAB IV

ANALISIS SIMULASI DAN PENGUJIAN SISTEM

4.1. Umum

Sistem kendali berfungsi untuk mengendalikan atau mengatur satu atau lebih variabel proses agar seimbang terhadap perubahan dalam sistem berdasarkan ada tidaknya sinyal umpan balik, sistem kendali dibagi menjadi dua bagian yaitu sistem kendali loop terbuka dan sistem kendali loop tertutup.

Pada sistem kendali loop terbuka, pengendalian proses beroperasi secara bebas tak tergantung pada *variable* proses yang dikendalikan, sehingga masih membutuhkan seorang operator untuk memonitor sistem. Sedangkan pada sistem kendali loop tertutup mengizinkan *variable* proses dikendalikan untuk mendapatkan nilai yang diinginkan. Pada pembahasan selanjutnya hanya sistem kendali loop tertutup saja yang akan dibahas.

Berikut ini adalah beberapa variabel yang berhubungan dengan sistem kendali loop tertutup, yang digunakan untuk mengevaluasi performansi sistem kendali proses, yaitu :

❖ Tanggapan Transien

Adalah tanggapan sistem yang berlangsung dari awal sampai dengan keadaan akhir atau sampai sistem stabil, hal ini berkenaan dengan lonjakan (*overshoot*) sistem saat awal ataupun saat sistem terkena gangguan dari luar.

Peredaman (*damping*) adalah metode yang digunakan untuk meredam lonjakan pada sistem kendali proses. Berbagai bentuk variasi tingkat peredaman antara lain adalah :

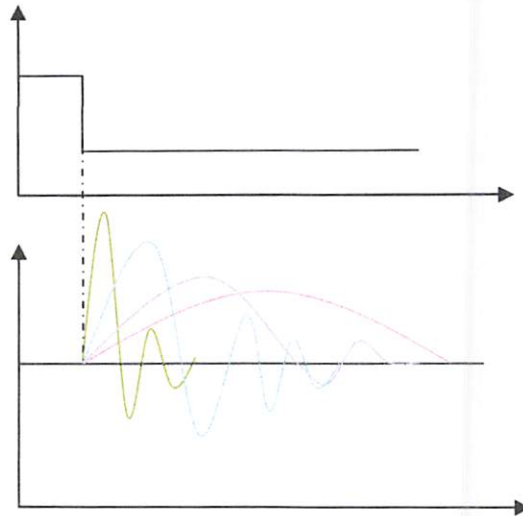
- Sistem tak teredam
- Sistem teredam kritis
- Sistem teredam lebih

❖ Kesalahan Keadaan Tunak

Kesalahan keadaan tunak adalah perbedaan antara keluaran yang dicapai saat *steady state* dengan nilai yang dikehendaki, disebut juga sebagai *offset*. Kesalahan ini dapat juga dikurangi dengan peningkatan penguatan sistem, namun penambahan ini akan diimbangi oleh variable keluaran yang berfluktuasi, yang mungkin menyebabkan sistem tidak stabil.

❖ Stabilitas

Variabel ini berkenaan dengan kemampuan sistem untuk memperkecil keluaran yang berosilasi sebagai akibat dari gangguan. Sistem tidak stabil akan menyebabkan keluaran berosilasi di atas dan di bawah nilai yang dikehendaki atau dengan kata lain keluaran sistem tidak sesuai dengan yang diharapkan.



Gambar 4.1 Bentuk Umum Response Yang Stabil

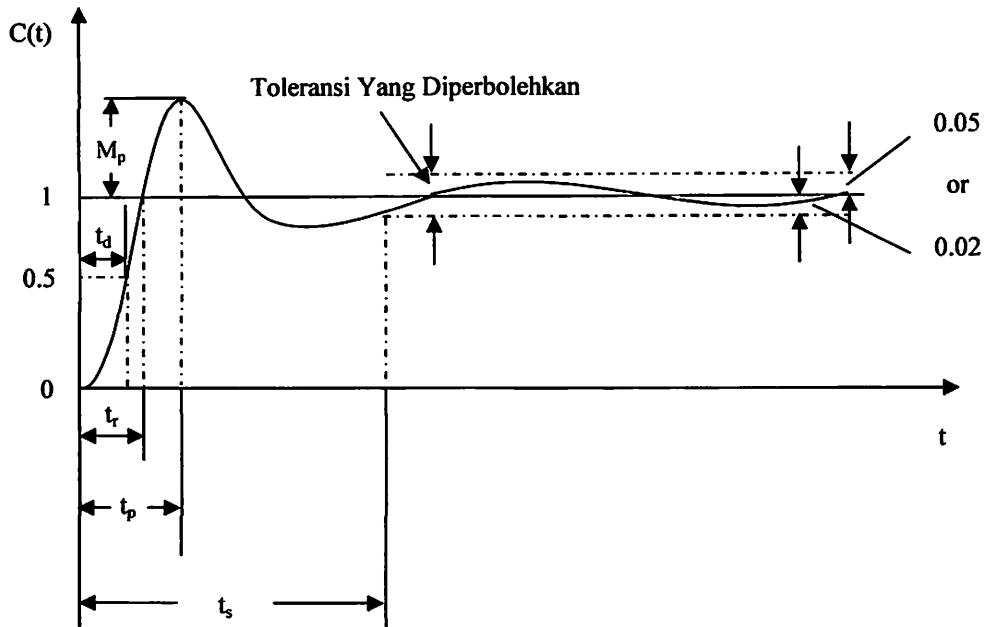
Sumber : Gunterus, 1977: 9-5

Dimana :

- = *Overdamped*
- = *Underdamped*
- = *Quarter Amplitude Decay*
- = *Critically Damped*

4.2. Performansi Sistem

Dalam mendesain suatu sistem kontrol, yang terpenting adalah spesifikasi atau kriteria performansi yang ditampilkan. Karena sistem kontrol adalah sistem yang dinamik, maka spesifikasi kinerja sistem mungkin diberikan dalam suku-suku kelakuan tanggap transien untuk masukan tertentu seperti masukan langkah, masukan landai dan sebagainya, atau spesifikasi mungkin diberikan dalam suku indeks kinerja.



Gambar 4.2 Kurva Tanggapan Tangga Satuan Menunjukkan t_d, t_r, t_p, M_p Dan t_s

Sumber : Ogata, Jilid I, 1996 : 289

Berikut ini penjelasan dari beberapa komponen kriteria performansi yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

- *Error Steady State*

Nilai selisih antara nilai set point dengan nilai *actual plant* pada kondisi *steady state*.

- *Rise Time* atau Waktu Naik (t_r)

Waktu yang dibutuhkan oleh tanggapan untuk naik dari 0% sampai 100%.

- *Maksimum Overshoot*

Nilai puncak maksimum dari kurva respon sistem.

Dalam prosentase *maximum overshoot* dinyatakan sebagai berikut :

$$\%M = \frac{M - Y_{ss}}{Y_{ss}} \times 100\%$$

Dimana :

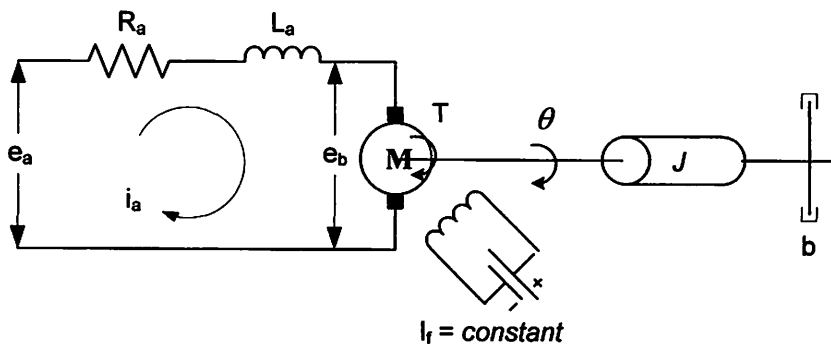
- M = maksimum *overshoot*
- Y_{ss} = nilai y dalam keadaan *steady state*

▪ *Settling Time* atau Waktu Turun (t_s)

Waktu yang diperlukan kurva respon untuk mencapai dan menetap dalam daerah sekitar harga akhir yang ukurannya dengan prosentase mutlak dari harga akhir (biasanya 2% sampai 5%).

4.3. Penyusunan Model Matematis Sistem

Langkah pertama dari perancangan kontroler PID dengan metode tuning *Cohen-Coon* adalah penyusunan model matematis dari sistem. Adapun penyusunan model matematis sistem adalah jika ditinjau motor arus searah dengan pengontrolan jangkar yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.3 Diagram Skematik Jangkar-Magnet Terkontrol Motor DC

Sumber : Ogata, Jilid I, 1996 : 130

Pada sistem ini :

- R_a = tahanan kumparan medan, *ohm*
- L_a = induktansi kumparan jangkar, *henry*
- i_a = arus kumparan, *ampere*
- i_f = arus medan, *ampere*

- e_a = tegangan yang dikenakan pada kumparan, *volt*
- e_b = gaya gerak listrik balik, *volt*
- θ = perpindahan sudut dari poros medan, *radian*
- T = torsi yang diperlukan oleh motor, *N-m*
- J = momen inersia ekivalen dari motor dan beban pada poros motor, *kg-m²*
- b = koefisien gesekan viskos ekivalen dari motor dan beban pada poros motor, *N-m/rad/sec*

Torsi T yang dihasilkan motor adalah berbanding lurus dengan hasil kali dari arus kumparan i_a dan fluks celah udara Ψ , yang berbanding lurus dengan arus medan atau :

$$\Psi = K_f I_f$$

Dengan K_f adalah konstanta. Sehingga torsi T dapat ditulis sebagai berikut

$$T = K_f J_f K_1 i_a$$

dengan K_1 konstanta.

Untuk medan arus konstan, fluks juga konstan dan torsi mempunyai arah sesuai arus kumparan magnet, sehingga :

$$T = K i_a$$

Dengan K adalah konstan Torsi motor. Apabila tanda arus i_a dibalik maka tanda dari torsi T akan berbalik pula. Hal ini akan menyebabkan berbaliknya arah putaran motor.

Bila kumparan magnet berputar, maka tegangan akan sebanding dengan hasil kali fluks dan kecepatan sudut yang diinduksikan pada kumparan magnet. Untuk fluks yang konstan, tegangan induksi e_b berbanding lurus dengan kecepatan sudut $d\theta/dt$, atau :

$$e_b = K_b \frac{d\theta}{dt} \quad (4.1)$$

dengan e_b adalah emf balik dan K_b konstanta emf balik.

Persamaan differensial rangkaian kumparan magnet adalah sebagai berikut ini :

$$L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a + e_b = e_a \quad (4.2)$$

Arus jangkar magnet menghasilkan torsi yang bekerja terhadap inersia dan gesekan , sehingga :

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} + b \frac{d\theta}{dt} = T = K i_a \quad (4.3)$$

Apabila dianggap bahwa semua syarat awal nol, dan diambil *transformasi Laplace* persamaan (4.1), (4.2), (4.3), diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$K_b s \Theta(s) = E_b(s) \quad (4.4)$$

$$(L_a s + R_a) I_a(s) + E_b(s) = E_a(s) \quad (4.5)$$

$$(J s^2 + b s) \Theta(s) = T(s) = K I_a(s) \quad (4.6)$$

Jangkar magnet motor DC merupakan sistem umpan balik. Efek emf balik dapat dilihat sebagai sinyal umpan balik yang sebanding dengan kecepatan motor. Fungsi untuk motor DC dapat ditulis sebagai berikut :

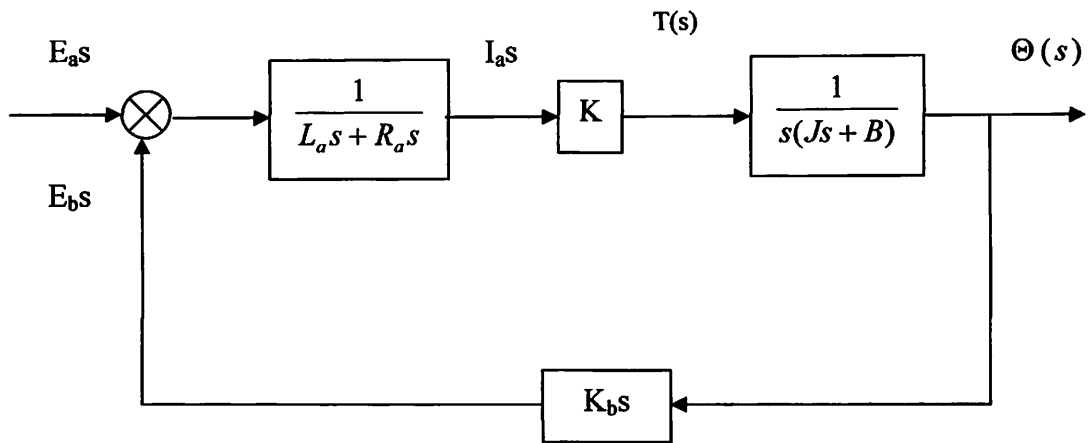
$$\frac{\Theta(s)}{E_a(s)} = \frac{K}{s[L_a J s^2 + (L_a b + R_a J)s + R_a b + K K_b]} \quad (4.7)$$

Induktansi L_a dalam kumparan magnet biasanya kecil dan dapat diabaikan. Bila L_a diabaikan maka fungsi alih yang diberikan oleh persamaan (4.7) menjadi :

$$\frac{\Theta(s)}{E_a(s)} = \frac{K_m}{s(T_m s + 1)} \quad (4.8)$$

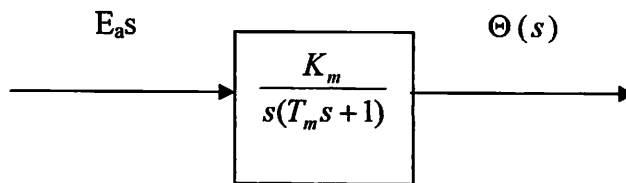
4.4. Penyusunan Blok Diagram

Setelah didapatkan model matematis dari sistem pada bagian sebelumnya maka langkah selanjutnya adalah penyusunan blok diagram dari sistem sebagai berikut ini :



Gambar 4.4 Diagram Blok Permodelan Motor DC Pengaturan Jangkar

Sumber : Ogata, Jilid I, 1996 : 130



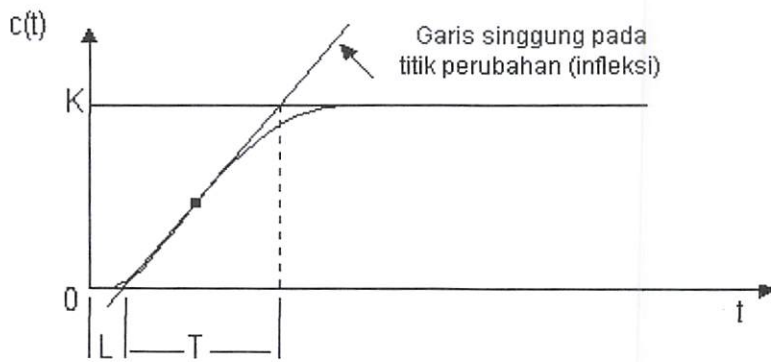
Gambar 4.5 Diagram Blok Permodelan Motor DC Secara Sederhana

Sumber : Ogata, Jilid I, 1996 : 130

4.5. Respon *Open Loop*

Langkah ketiga adalah mencari respon *open loop* dari sistem. Mencari respon *open loop* dari sistem dengan menggunakan metode kurva reaksi. Metode ini didasarkan terhadap reaksi sistem untai terbuka. Jika plant minimal tidak mengandung unsur *integrator* ataupun *pole-pole kompleks*, reaksi sistem akan

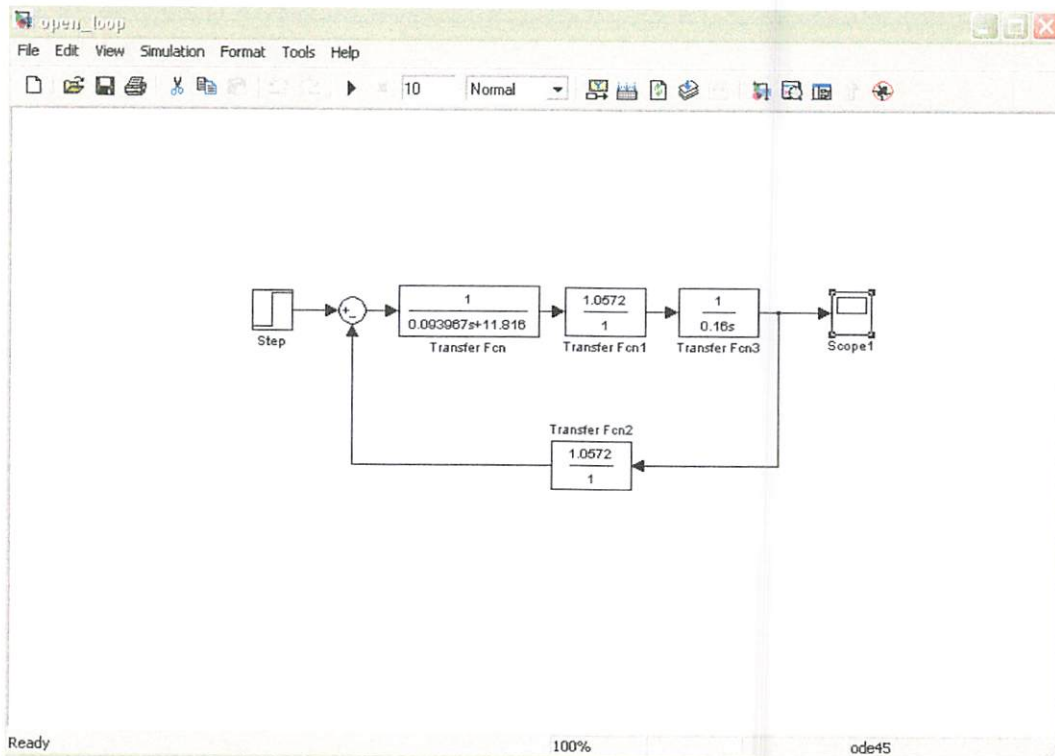
berbentuk S. Yang dapat dilihat pada *gambar 4.6*. Adapun tujuan mencari respon open loop adalah agar diperoleh nilai-nilai K, L dan T. Yang kemudian menjadi parameter pencarian nilai-nilai K_p , T_i dan T_d .



Gambar 4.6 Kurva Respons Berbentuk S

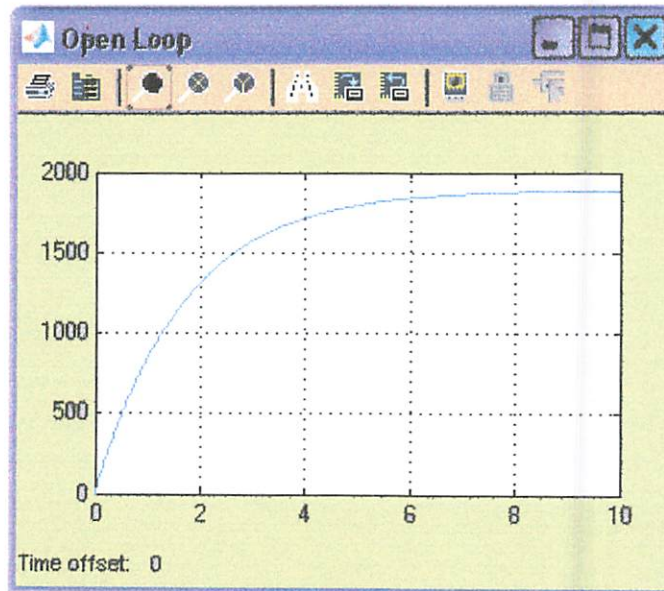
Sumber : www.elektroindonesia.com

Sedangkan didalam *simulink-MATLAB 7.0*. Blok diagram respon *open loop* diperlihatkan sebagai berikut ini :



Gambar 4.7 Blok Diagram Sistem Open Loop Dalam Simulink-Matlab 7.0

Sedangkan grafik performansi sistem pada sistem *open loop* atau sistem yang belum diimplementasikan kontroler, dalam *simulink-MATLAB 7.0* diperlihatkan sebagai berikut ini :



Grafik 4.1 Grafik Performansi Sistem Tanpa Kontroler

Dari grafik diatas maka akan didapatkan nilai-nilai parameter K,L dan T dengan nilai-nilai sebagai berikut :

- $K = 1$
- $L = 0.0499s$
- $T = 1.8387s$

Dimana :

- $K =$ penguatan
- $L =$ waktu mati (*dead time*)
- $T =$ waktu tunda (*delay time*)

Setelah didapatkan nilai K, L dan T, maka dimasukkan nilai K, L dan T kedalam tabel penalaan parameter PID dengan metode tuning Cohen-Coon sebagai berikut :

Tabel 4.1

Penalaan Parameter PID Dengan Metode Tuning Cohen-Coon

Sumber : Wicaksono, Handy, 2004 : 70-78

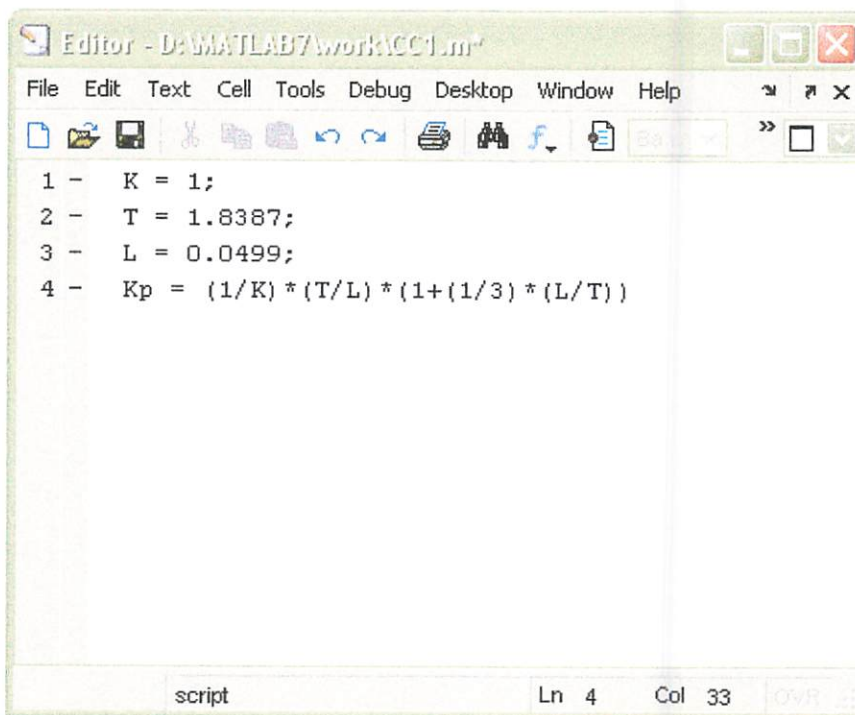
Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{1}{K} \left(\frac{T}{L} \right) \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{L}{T} \right) \right]$	-	-
PI	$\frac{1}{K} \left(\frac{T}{L} \right) \left[0.9 + \frac{1}{12} \left(\frac{T}{L} \right) \right]$	$L \left[\frac{30 + 3 \left(\frac{L}{T} \right)}{9 + 20 \left(\frac{L}{T} \right)} \right]$	-
PD	$\frac{1}{K} \left(\frac{T}{L} \right) \left[\frac{5}{4} + \frac{1}{6} \left(\frac{L}{T} \right) \right]$	-	$L \left[\frac{6 - 2 \left(\frac{L}{T} \right)}{22 + 3 \left(\frac{L}{T} \right)} \right]$
PID	$\frac{1}{K} \left(\frac{T}{L} \right) \left[\frac{4}{3} + \frac{1}{4} \left(\frac{L}{T} \right) \right]$	$L \left[\frac{32 + 6 \left(\frac{L}{T} \right)}{13 + 8 \left(\frac{L}{T} \right)} \right]$	$L \left[\frac{4}{11 + 2 \left(\frac{L}{T} \right)} \right]$

■ Hasil perhitungan untuk tipe kontroler P adalah sebagai berikut :

- Perhitungan dengan memasukkan nilai-nilai K, L dan T dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$K_p = \frac{1}{K} \left(\frac{T}{L} \right) \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{L}{T} \right) \right]$$

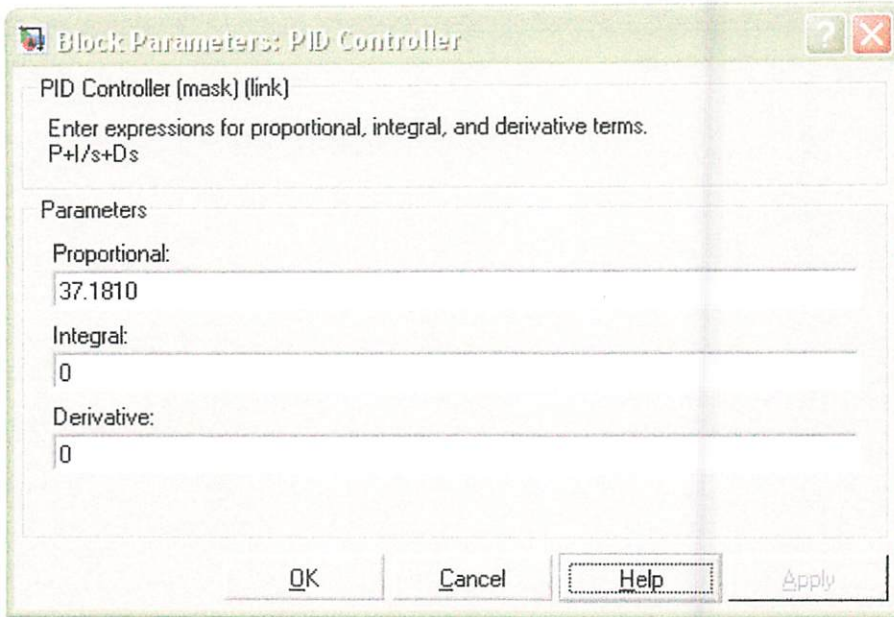
- Dengan menggunakan *simulink-MATLAB 7.0*, perhitungan nilai K_p akan diperlihatkan sebagai berikut ini :



```
Editor - D:\MATLAB7\work\KCC1.m
File Edit Text Cell Tools Debug Desktop Window Help
1 - K = 1;
2 - T = 1.8387;
3 - L = 0.0499;
4 - Kp = (1/K) * (T/L) * (1+(1/3) * (L/T))
script Ln 4 Col 33 OVR
```

Gambar 4.8 Perhitungan K_p P Kontrol Dengan Menggunakan Matlab 7.0

Hasil perhitungan K_p akan diperlihatkan pada gambar 4.9 sebagai berikut :



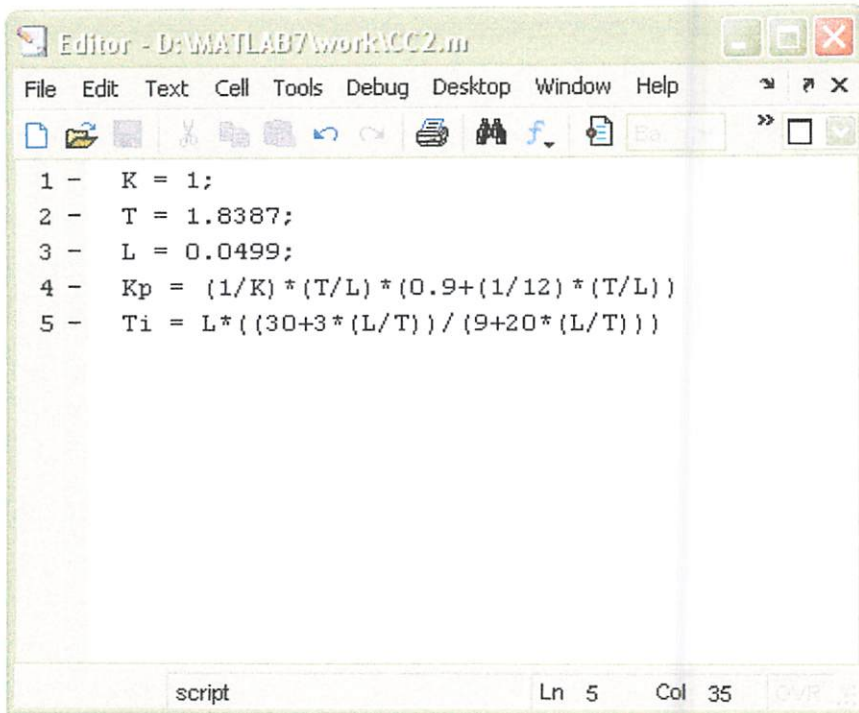
Gambar 4.9 Hasil Perhitungan Nilai K_p P Kontrol

- Hasil perhitungan untuk tipe kontroler PI adalah sebagai berikut :
 - Perhitungan dengan memasukkan nilai-nilai K , L dan T dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$K_p = \frac{1}{K} \left(\frac{T}{L} \right) \left[0.9 + \frac{1}{12} \left(\frac{T}{L} \right) \right]$$

$$T_i = L \left[\frac{30 + 3 \left(\frac{L}{T} \right)}{9 + 20 \left(\frac{L}{T} \right)} \right]$$

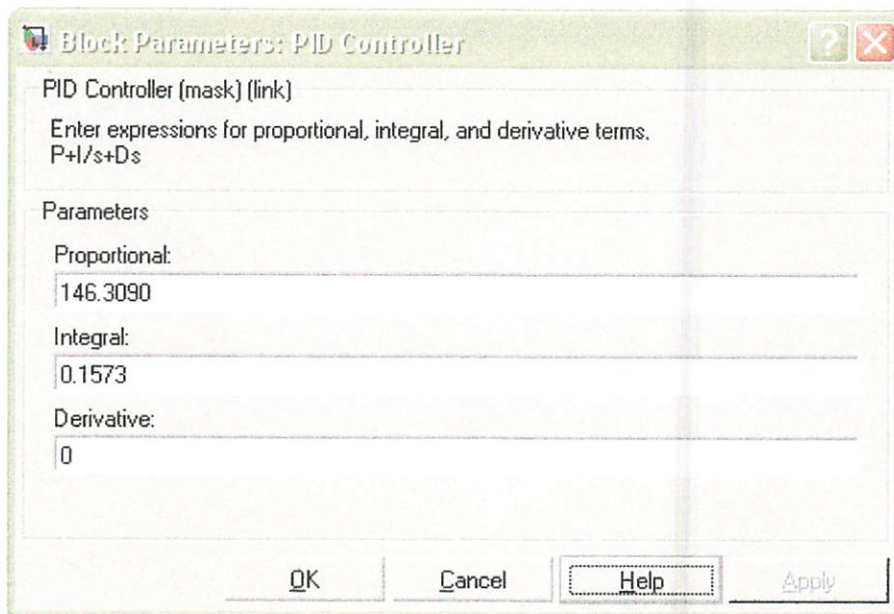
- Dengan menggunakan *simulink-MATLAB 7.0*, perhitungan nilai K_p dan T_i akan diperlihatkan sebagai berikut ini :



```
Editor - D:\MATLAB7\work\CC2.m
File Edit Text Cell Tools Debug Desktop Window Help
1 - K = 1;
2 - T = 1.8387;
3 - L = 0.0499;
4 - Kp = (1/K) * (T/L) * (0.9+(1/12) * (T/L) )
5 - Ti = L * ( (30+3 * (L/T) ) / (9+20 * (L/T) ) )
script Ln 5 Col 35
```

Gambar 4.10 Perhitungan K_p , T_i PI Kontrol Dengan Menggunakan Matlab 7.0

Hasil perhitungan K_p dan T_i akan diperlihatkan pada gambar 4.11 sebagai berikut :



Block Parameters: PID Controller

PID Controller (mask) (link)

Enter expressions for proportional, integral, and derivative terms.
P+I/s+Ds

Parameters

Proportional:
146.3090

Integral:
0.1573

Derivative:
0

OK Cancel Help Apply

Gambar 4.11 Hasil Perhitungan Nilai K_p , T_i PI Kontrol

- Hasil perhitungan untuk tipe kontroler PD adalah sebagai berikut :
 - Perhitungan dengan memasukkan nilai-nilai K, L dan T dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$K_p = \frac{1}{K} \left(\frac{T}{L} \right) \left[\frac{5}{4} + \frac{1}{6} \left(\frac{L}{T} \right) \right]$$

$$T_d = L \frac{6 - 2 \left(\frac{L}{T} \right)}{22 + 3 \left(\frac{L}{T} \right)}$$

- Dengan menggunakan *simulink-MATLAB 7.0*, perhitungan nilai K_p dan T_d akan diperlihatkan sebagai berikut ini :

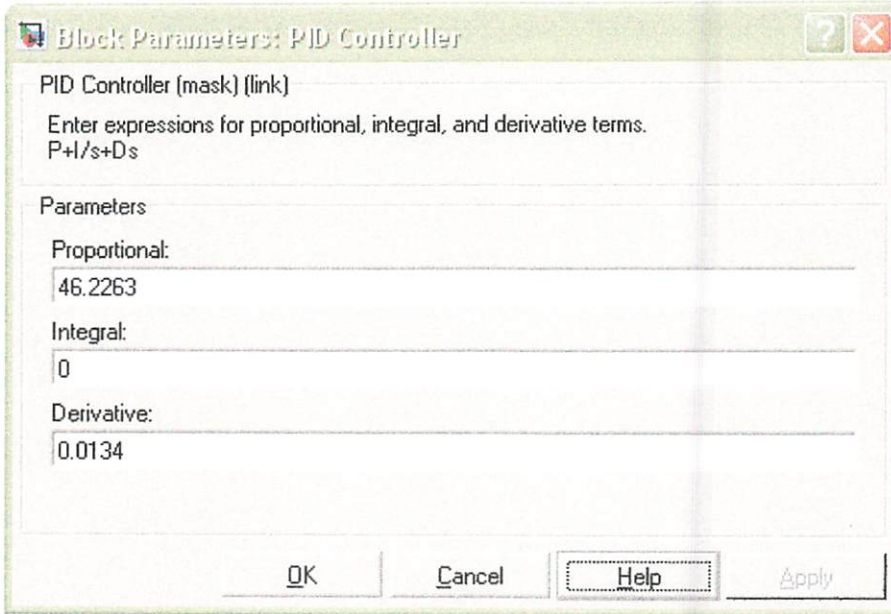
```

Editor - D:\MATLAB7\work\YCC3.m
File Edit Text Cell Tools Debug Desktop Window Help
1 - K = 1;
2 - T = 1.8387;
3 - L = 0.0499;
4 - Kp = (1/K) * (T/L) * ((5/4) + (1/6) * (L/T))
5 - Td = L * ((6 - (2 * (L/T))) / (22 + (3 * (L/T))))
script Ln 5 Col 38
  
```

Gambar 4.12 Perhitungan K_p , T_d , PD Kontrol Dengan Menggunakan Matlab 7.0

Hasil perhitungan K_p dan T_d akan diperlihatkan pada *gambar 4.13*

sebagai berikut :



Gambar 4.13 Hasil Perhitungan Nilai K_p , T_d , PD Kontrol

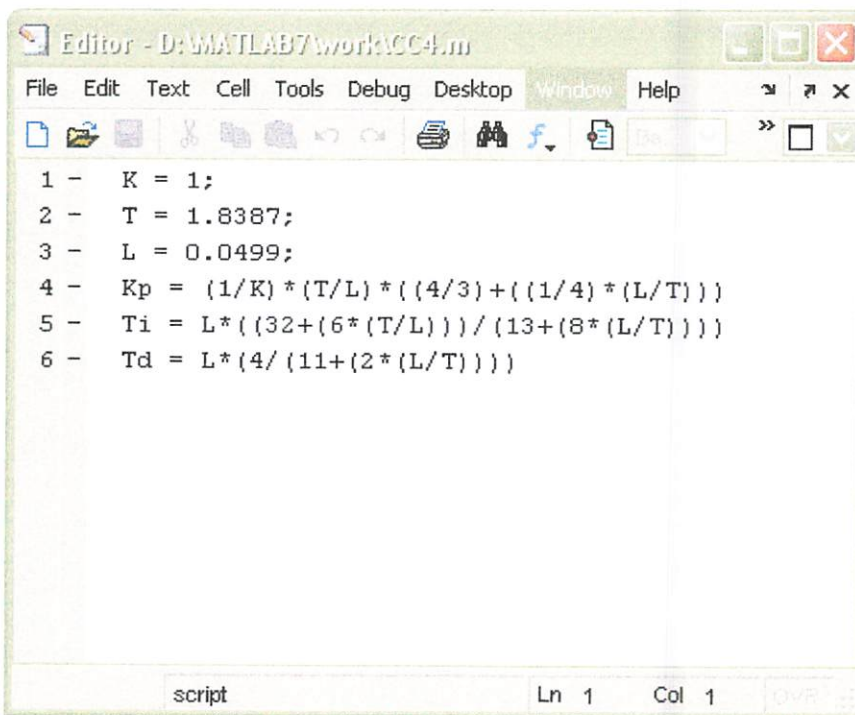
- Hasil perhitungan untuk tipe kontroler PID adalah sebagai berikut :
 - Perhitungan dengan memasukkan nilai-nilai K , L dan T dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$K_p = \frac{1}{K} \left(\frac{T}{L} \right) \left[\frac{4}{3} + \frac{1}{4} \left(\frac{L}{T} \right) \right]$$

$$T_i = L \left[\frac{32 + 6 \left(\frac{L}{T} \right)}{13 + 8 \left(\frac{L}{T} \right)} \right]$$

$$T_d = L \left[\frac{4}{11 + 2 \left(\frac{L}{T} \right)} \right]$$

- Dengan menggunakan *simulink-MATLAB 7.0*, perhitungan nilai K_p , T_i dan T_d akan diperlihatkan sebagai berikut ini :



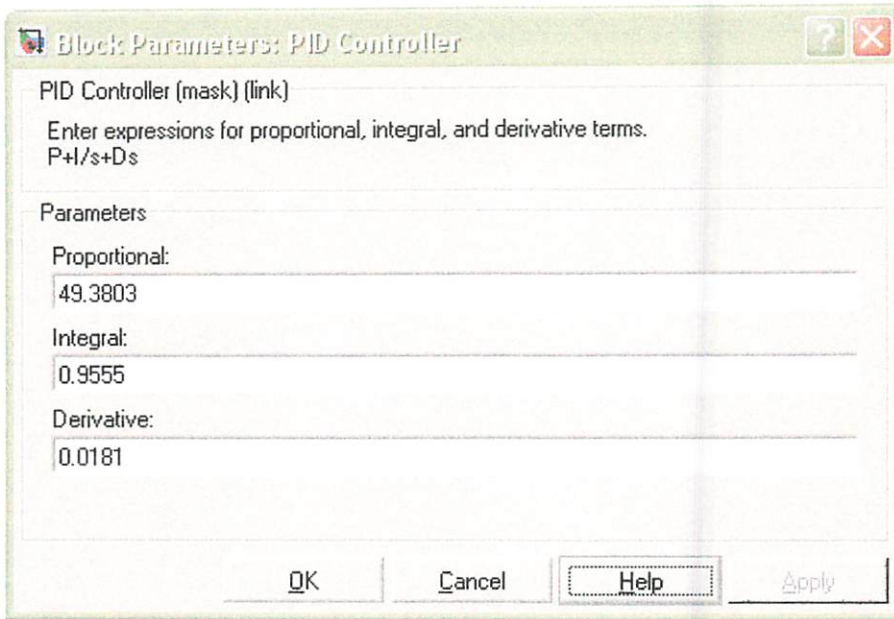
```

Editor - D:\MATLAB7\work\ACC4.m
File Edit Text Cell Tools Debug Desktop Window Help
1 - K = 1;
2 - T = 1.8387;
3 - L = 0.0499;
4 - Kp = (1/K) * (T/L) * ((4/3) + ((1/4) * (L/T)))
5 - Ti = L * ((32 + (6 * (T/L))) / (13 + (8 * (L/T))))
6 - Td = L * (4 / (11 + (2 * (L/T))))
script Ln 1 Col 1

```

Gambar 4.14 Perhitungan K_p , T_i dan T_d PID Kontrol Dengan Menggunakan Matlab 7.0

Hasil perhitungan K_p , T_i dan T_d akan diperlihatkan pada *gambar 4.15* sebagai berikut :



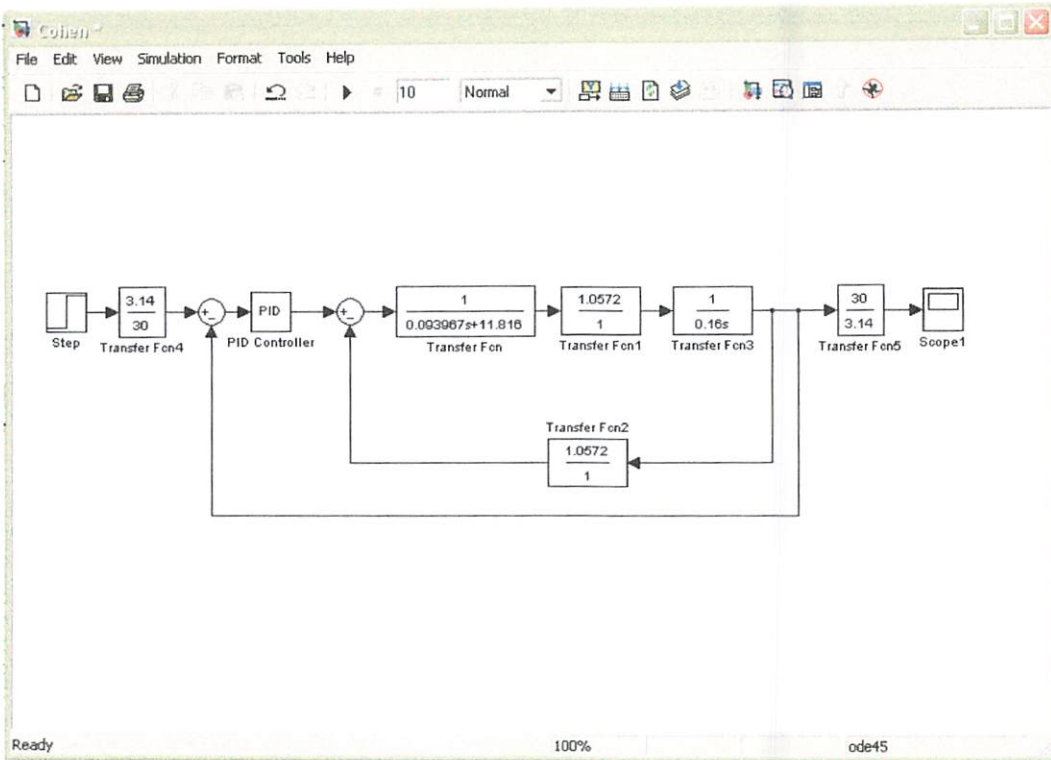
Gambar 4.15 Hasil Perhitungan K_p , T_i dan T_d PID Kontrol

4.6 Perancangan Parameter Kontroler PID Menggunakan Metode Tuning

Cohen-Coon

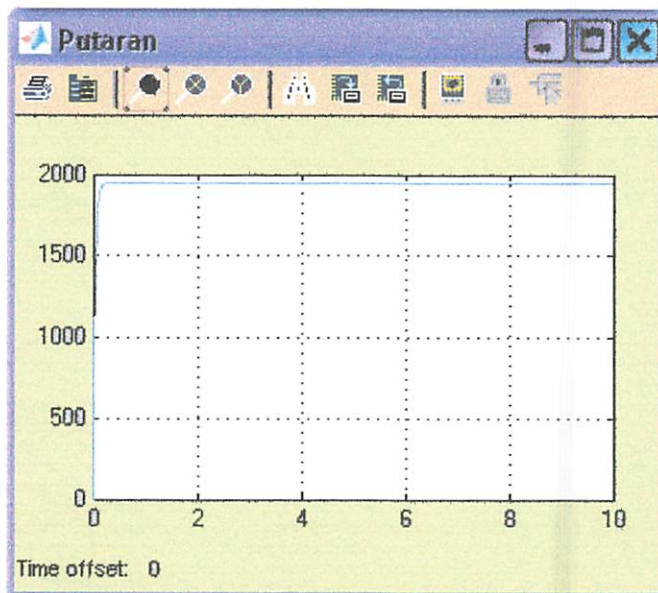
Langkah selanjutnya setelah didapat nilai-nilai K_p , T_i dan T_d dari *open loop* sistem, maka langkah selanjutnya adalah merancang parameter kontroler PID. Perancangan kontroler PID dinamakan juga dengan perancangan *close loop* sistem. Dimana didalam sistem *close loop* objek (motor DC) telah diimplementasikan kontroler didalamnya.

Blok Diagram respon *close loop* didalam *simulink-MATLAB 7.0* ditunjukkan pada gambar 4.16 sebagai berikut ini :

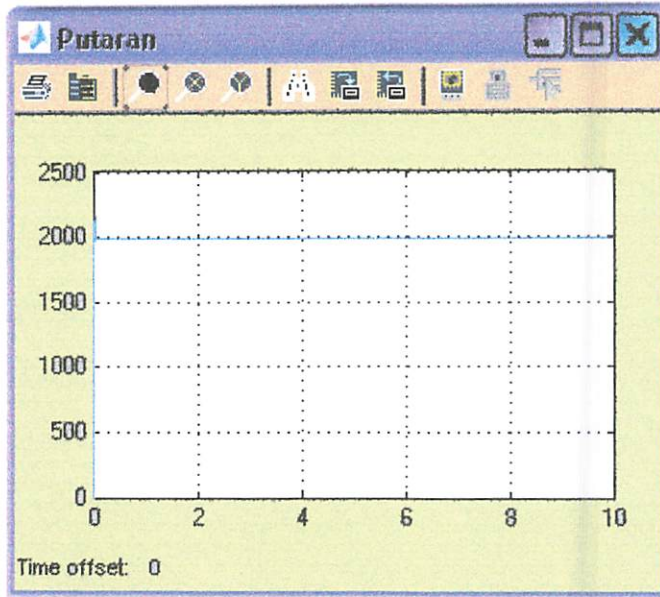


Gambar 4.16 Blok Diagram Sistem Close Loop Dalam Simulink-MATLAB

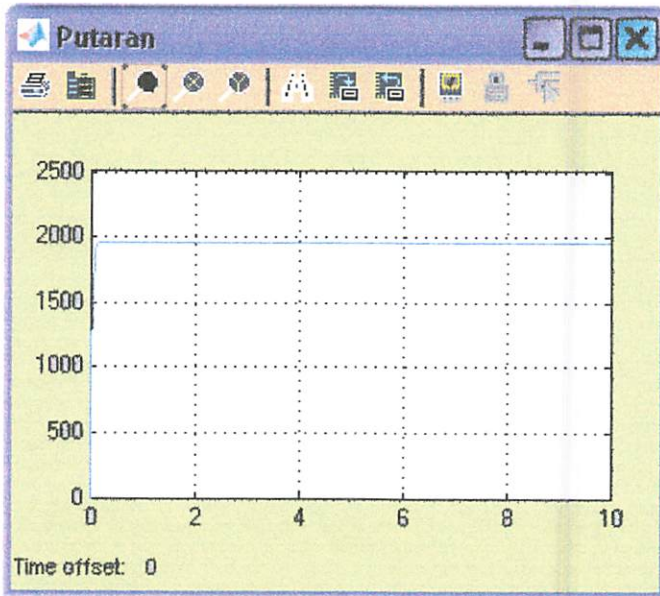
Sedangkan grafik performansi sistem pada sistem *close loop* atau sistem yang telah diimplementasikan kontroler P, PI, PD dan PID, dalam *simulink-MATLAB 7.0* diperlihatkan sebagai berikut ini :



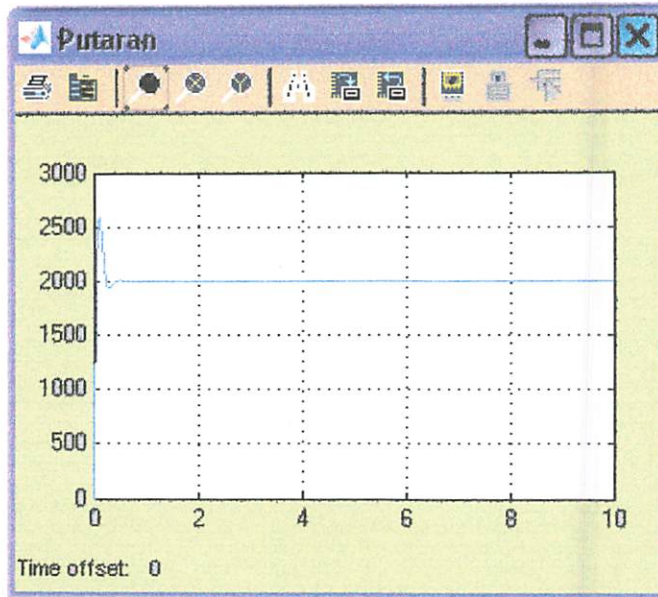
Grafik 4.2 Grafik Performansi Sistem Dengan Kontroler P Cohen-Coon



Grafik 4.3 Grafik Performansi Sistem Dengan Kontroler PI Cohen-Coon



Grafik 4.4 Grafik Performansi Sistem Dengan Kontroler PD Cohen-Coon



Grafik 4.5 Grafik Performansi Sistem Dengan Kontroler PID Cohen-Coon

4.7. Analisis Performansi Sistem

Setelah didapatkan grafik performansi sistem yang dapat dilihat pada grafik-grafik beberapa keadaan kontroler diatas maka akan dianalisa performansi dari sistem, telah dijabarkan diatas bahwa kriteria performansi yang akan dibahas dalam Skripsi ini adalah :

- ◇ *Error Steady State*
- ◇ *Rise Time*
- ◇ *Maximum Overshoot*
- ◇ *Settling Time*

Maka analisis performansi sistem dalam Skripsi ini pun didasarkan pada keempat hal diatas.

4.7.1. Analisis *Error Steady State*

Dari analisis grafik untuk empat keadaan diatas maka dapat diketahui nilai *error steady state* sebesar :

- Tanpa Kontroler

$$\text{Nilai } error \text{ steady state} : 2000 - 1886.79 = 113.21 \text{ rpm}$$

- Pada Kontrol P

$$\text{Nilai } error \text{ steady state} : 2000 - 1944.75 = 55.25 \text{ rpm}$$

- Pada Kontrol PI

$$\text{Nilai } error \text{ steady state} : 2000 - 1985.76 = 14.24 \text{ rpm}$$

- Pada Kontrol PD

$$\text{Nilai } error \text{ steady state} : 2000 - 1955.14 = 44.86 \text{ rpm}$$

- Pada Kontrol PID

$$\text{Nilai } error \text{ steady state} : 2000 - 2000 = 0 \text{ rpm}$$

4.7.2. Analisis *Rise Time*

Dari analisa grafik untuk empat keadaan diatas maka dapat diketahui nilai *rise time* sebesar :

- Tanpa Kontroler

$$\text{Nilai } rise \text{ time} : 5.5s$$

- Pada Kontrol P

$$\text{Nilai } rise \text{ time} : 0.3s$$

- Pada Kontrol PI

$$\text{Nilai } rise \text{ time} : 0.2s$$

- Pada Kontrol PD

Nilai *rise time* : 0.16s

- Pada Kontrol PID

Nilai *rise time* : 0.06s

4.7.3. Analisis *Maximum Overshoot*

Dari analisa grafik diatas maka dapat dilihat nilai *maximum overshoot* sebesar :

- Tanpa Kontroler

Nilai *maximum overshoot* : 0%

- Pada Kontrol P

Nilai *maximum overshoot* : 0%

- Pada Kontrol PI

Nilai *maximum overshoot* : 2275 rpm atau

$$\%M = \frac{2275 - 1985.76}{1985.76} \times 100\% = 14.57\%$$

- Pada Kontrol PD

Nilai *maximum overshoot* : 0 %

- Pada Kontrol PID

Nilai *maximum overshoot* : 2593.5 rpm atau

$$\%M = \frac{2593.5 - 2000}{2000} \times 100\% = 29.7\%$$

4.7.4. Analisis *Settling Time*

Dari analisa grafik diatas maka dapat dilihat nilai *settling time* sebesar :

- Pada Kontrol P

Nilai *settling time* : ~

- Pada Kontrol P

Nilai *settling time* : ~

- Pada Kontrol PI

Nilai *settling time* : 0.039s

- Pada Kontrol PD

Nilai *settling time* : ~

- Pada Kontrol PID

Nilai *settling time* : 0.02s

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat ditarik dari pembahasan masalah adalah sebagai berikut ini :

- ♦ Dari hasil analisis grafik sistem *open loop* maupun *close loop*, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Tanpa kontroler

- *Error steady state* = 113.21 rpm
- *Maximum overshoot* = 0%
- *Settling time* = ~
- *Rise time* = 5.5s

Dari data hasil analisis diatas maka dapat disimpulkan bahwa sistem tanpa kontroler masih memiliki *error steady state* dan *settling time* yang tidak terhingga serta *rise time* yang masih besar pula.

- Kontroler P

- *Error steady state* = 55.25 rpm
- *Maximum overshoot* = 0
- *Settling time* = ~
- *Rise time* = 0.3s

Dari data hasil analisis diatas maka dapat disimpulkan bahwa kontroler P memperbesar nilai *error steady state*, hal ini dikarenakan sifat kontroler P yang memang selalu membutuhkan *error* untuk dapat mengeluarkan *input*. Nilai *settling time* yang tak terhingga membuat sistem tidak dapat mencapai nilai *set point*-nya.

▫ Kontroler PI

- *Error steady state* = 14.24 rpm
- *Maximum overshoot* = 2275 rpm atau 14.57%
- *Settling time* = 0.039s
- *Rise time* = 0.2s

Dari data hasil analisis diatas maka dapat disimpulkan bahwa kontroler PI sudah memperkecil *error*, tetapi malah memiliki *overshoot*. *Settling time* yang ditunjukkan dari hasil analisis diatas sudah memiliki nilai yang tidak ~, hal ini menyebabkan *error* dapat ditekan yang mana hal ini berkaitan juga dengan adanya penambahan kontroler I. *Rise time* sistem juga semakin mengecil.

▫ Kontroler PD

- *Error steady state* = 44.86 rpm
- *Maximum overshoot* = 0%
- *Settling time* = ~
- *Rise time* = 0.16s

Dari data hasil analisis diatas maka dapat disimpulkan bahwa kontroler PD memiliki *error* yang besar, tidak memiliki *overshoot* namun memiliki nilai *settling time* yang tak terhingga.

- Kontroler PID

- ◊ *Error steady state* = 0 rpm
- ◊ *Maximum overshoot* = 2593.5 rpm atau 29.7%
- ◊ *Settling time* = 0.02s
- ◊ *Rise time* = 0.06s

Dari data hasil analisis diatas maka dapat disimpulkan bahwa kontroler PID tidak memiliki *error* namun memiliki *overshoot* yang besar, *settling time* yang lebih kecil serta *rise time* sistem yang kecil juga.

- ◊ Dari data hasil analisis untuk empat keadaan sistem diatas maka dapat disimpulkan bahwa sistem tanpa kontroler memiliki performansi yang buruk, karena adanya *error steady state* yang mengakibatkan sistem tidak pernah mencapai nilai *set point* karena *settling time* yang besarnya tak terhingga. Juga dapat dilihat bahwa penalaan parameter kontroler P dan PD memiliki *overshoot* yang paling baik. Hal ini dikarenakan tidak adanya penambahan kontroler I dalam sistem yang dapat menyebabkan timbulnya *overshoot*. Namun secara umum maka dapat disimpulkan bahwa pengontrolan dengan menggunakan kontroler PID yang paling baik kendati kontroler ini memiliki *maximum overshoot* yang cukup tinggi.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat ditarik dari pembahasan masalah adalah sebagai berikut ini :

- ◆ Dalam penentuan kontroler proporsional, integral dan defferensial beberapa hal yang harus diperhatikan dalam perancangannya adalah sebagai berikut :
 - PB tidak boleh dibuat terlalu kecil. Karena semakin kecil PB, sistem akan semakin sensitif dan cenderung tidak stabil. PB yang kecil akan membuat pengendali menjadi sensitif dan cenderung membawa loop berosilasi. Sedangkan PB yang besar akan meninggalkan *offset* yang besar juga.
 - Sistem pengendali yang menggunakan unit *P-only* akan selalu meninggalkan *offset*.
 - T_i yang kecil akan bermanfaat untuk menghilangkan *offset*, tetapi juga cenderung membawa sistem menjadi lebih sensitif dan lebih mudah berosilasi. Sedangkan T_i yang besar belum tentu efektif menghilangkan *offset* dan juga cenderung membuat respon menjadi lambat.
 - Fungsi utama pengendali integral hanyalah untuk menghilangkan *offset*.
 - T_d yang besar akan membawa unsur D menjadi lebih menonjol sehingga respon cenderung cepat. Sedangkan T_d yang kecil kurang memberi nilai ekstra di saat-saat awal.

DAFTAR PUSTAKA

1. **Wicaksono, Handy.**, “ *Analisa Performansi Dan Robustness Beberapa Metode Tuning Kontroler PID Pada Motor DC* ”, Jurnal Teknik Elektro Vol. 4, no. 2, September 2004 : 70-78.
2. **Gunterus, Frans.**, “ *Falsafah Dasar : Sistem Pengendalian Proses* ”, Salatiga, 1977.
3. **Ogata, Katsuhiko.**, “ *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1* ”, University Of Minnesota, Edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1997.
4. **Ogata, Katsuhiko.**, “ *Teknik Kontrol Automatik Jilid 2* ”, University Of Minnesota, Edisi kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1997.
5. **Chairuzzaini dkk.**, “ *Pengenalan Metode Ziegler-Nichols Pada Perancangan Kontroler PID* ”. 1998. URL : <http://www.elektroindonesia.com/elektro/tutor12.html>.
6. **Prajetno S, Judi.**, “ *Matlab Dasar-Dasar Pemakaian* ”, Laboratorium Komputer Growth Centre, Surabaya, 1998.
7. **Zuhal.**, “ *Dasar Tenaga Listrik* ”, Penerbit ITB, Bandung, 1991.
8. **Fitzgerald A. E., Kingsley Jr, Charles., D. Umans, Stephen.**, “ *Mesin-Mesin Listrik* ”, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1997.
9. **Pakpahan S.**, “ *Kontrol Otomatik Teori Dan Penerapan* ”, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1987.

LAMPYRAN



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**


1. Nama : Dini Wahyuni
2. NIM : 01.12.037
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : ANALISIS PERFORMANSI KONTROLER PID
PADA PENGENDALIAN MOTOR DC DENGAN
MENGUNAKAN METODE TUNING COHEN-
COON

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1)

Hari : Rabu
Tanggal : 22 Maret 2006
Dengan Nilai : 77,00 (B+)

Panitia Ujian Skripsi

Ketua Majelis Penguji



(Ir. Mochtar Asroni, MSEE)
NIP. Y. 101 810 0036


Sekretaris Majelis Penguji



(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT)
NIP. Y. 103 950 0274

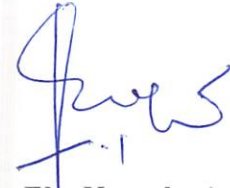
Anggota Penguji

Penguji I



(Ir. Choirul Saleh, MT)
NIP. Y. 101 880 0190

Penguji II



(Ir. Eko Nurcahyo)
NIP. Y. 102 870 0172



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK

LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

1. Nama : Dini Wahyuni
2. NIM : 01.12.037
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi : ANALISIS PERFORMANSI
KONTROLER PID PADA
PENGENDALIAN MOTOR DC
DENGAN MENGGUNAKAN
METODE TUNING COHEN-
COON
6. Tanggal Mengajukan Skripsi : 21 Desember 2006
7. Tanggal Menyelesaikan Skripsi : 01 Maret 2006
8. Dosen Pembimbing : Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT
9. Telah dievaluasi dengan nilai : 80,00 (Delapan Puluh Koma Nol Nol) *80*

Malang, 1 Maret 2006

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP.Y. 103 950 0274

Diperiksa dan Disetujui,
Dosen Pembimbing

Ir. Widodo Pudji Muljanto, MT
NIP. 102 870 0171



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Dini Wahyuni
Nim : 01.12.037
Masa Bimbingan : 21 DESEMBER 2005 – 21 MEI 2006
Judul Skripsi : ANALISIS PERFORMANSI KONTROLER PID PADA
PENGENDALIAN MOTOR DC DENGAN
MENGUNAKAN METODE TUNING COHEN-COON

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	26 Januari 2006	Konsultasi Bab I & II	
2.	28 Januari 2006	ACC Bab I & II	
3.	8 Februari 2006	Konsultasi Bab III (Tambahan Teori Tuning Sistem)	
4.	18 Februari 2006	Revisi Bab III	
5.	22 Februari 2006	ACC Bab III	
6.	24 Februari 2006	Konsultasi Bab IV dan V	
7.	27 Februari 2006	Revisi Bab IV & V (Tambahan Hasil Perhitungan P, PI dan PD)	
8.	28 Februari 2006	Revisi Bab V (Tambahan Hasil Perbandingan P, PI, PD, PID)	
9.	1 Maret 2006	ACC Bab IV & V	

Malang, 01 Maret 2006
Dosen Pembimbing

(Ir. WIDODO PUDJI M.MT)
NIP.P 1028700171