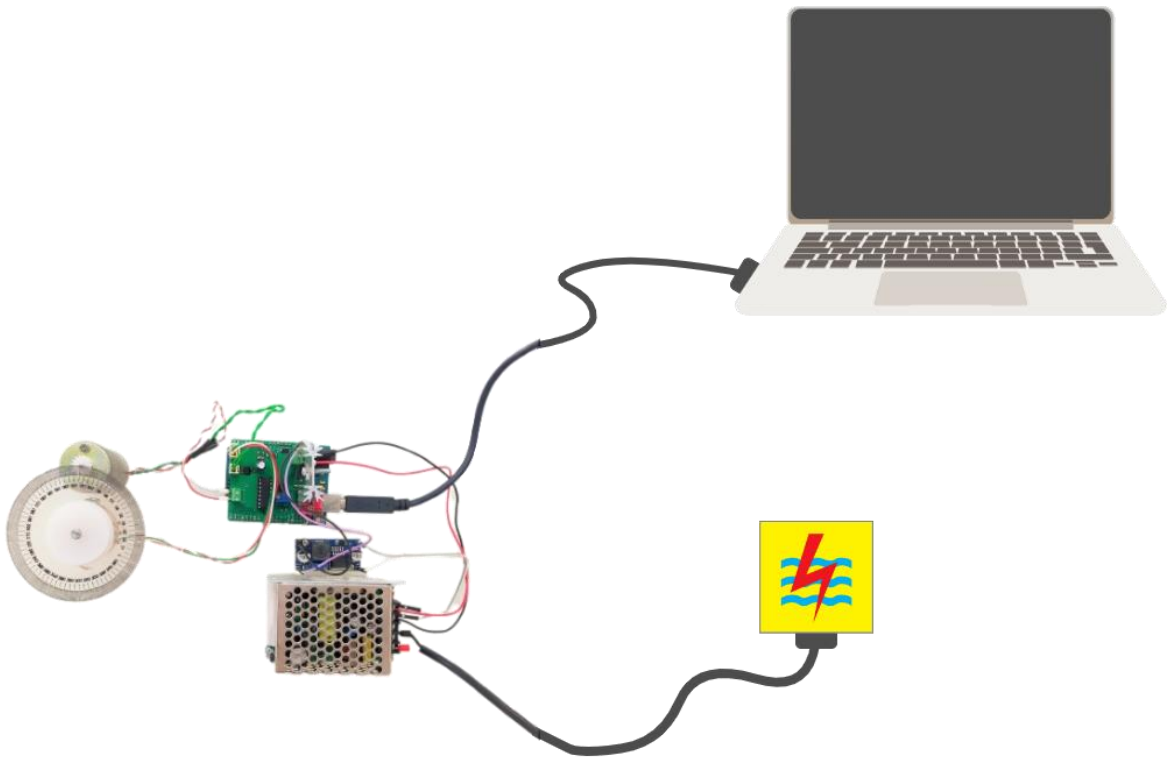


TF4022 – Sistem Kontrol Diskrit

Praktikum Modul 2

Kontrol Kecepatan Motor DC



Estiyanti Ekawati,
Faqihza Mukhlis,
Natsir Habibullah,
Nazuwatussya'Diyah

September – November 2023

Modul 2 Praktikum SKD

Kontrol Kecepatan Motor DC

2.1 Latar Belakang

Pengendalian kecepatan putaran motor, merupakan kasus yang inti dari aplikasi di berbagai bidang, seperti pengendalian elevator, ban berjalan, pengaturan laju aliran fluida melalui pompa, dan sebagainya. Pada praktikum sebelumnya, telah dilakukan pemodelan sistem kecepatan motor DC, menggunakan model sistem orde pertama, dengan waktu tunda. Telah dilakukan pula banyak percobaan kalang terbuka, untuk mengetahui karakteristik statik, maupun karakteristik dinamik sistem. Selain itu telah dilakukan kompensasi, untuk meningkatkan hubungan antara masukan dan keluaran sistem. Dengan bekal semua percobaan itu, pada praktikum kali ini, percobaan akan menggunakan sistem kalang tertutup.

Pada modul kedua praktikum Sistem Kontrol Diskrit ini, akan dilakukan pengontrolan kecepatan motor DC. Model sistem orde pertama dengan waktu tunda, yang sudah didapatkan sebelumnya, dapat digunakan untuk menghitung parameter kontrol, berdasarkan metode empirik Ziegler Nichols, ataupun Cohen Coon. Sebelum mengimplementasikan pengontrolan ke dalam sistem, pada praktikum kedua ini akan dilakukan simulasi. Selain itu, program perhitungan kontrol juga perlu ditambahkan. Berdasarkan performa pengontrolan, akan dilakukan penalaan halus, untuk menghasilkan performa yang lebih baik. Akan diamati pula pengaruh waktu cacah terhadap pengontrolan, serta perbandingan hasil simulasi dengan percobaan sebenarnya.

2.2 Tujuan Praktikum

Modul kedua praktikum Sistem Kontrol Diskrit ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mahasiswa mampu menentukan parameter kontrol, melakukan simulasi kontrol, dan menerapkan pengontrolan pada suatu sistem.
2. Mahasiswa mampu menilai performa kontrol secara kualitatif dan kuantitatif.
3. Mahasiswa mampu meningkatkan performa kontrol dengan cara melakukan penalaan halus.
4. Mahasiswa mampu mengamati respon sistem terkontrol dengan waktu cacah berbeda.

2.3 Alat

Peralatan pada modul kedua praktikum Sistem Kontrol Diskrit ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Peralatan praktikum modul kedua Sistem Kontrol Diskrit

No	Alat	Keterangan
1	Laptop	Disiapkan sendiri
2	Kit Praktikum	Disediakan asisten
3	Modul Praktikum Kedua	Disediakan, dapat diunduh di kuliah2021 dan Edunex
4	Dokumentasi Kit Praktikum	Disediakan, dapat diunduh di kuliah2021 dan Edunex
5	<i>Software</i> Arduino IDE	Instal sendiri, unduh di https://www.arduino.cc/en/Main/Software
6	<i>Software</i> Matlab	Dapat menggunakan Matlab <i>online</i>
7	Program SKD23.ino	Disediakan, dapat diunduh di kuliah2021 dan Edunex
8	Program Simulasi.m	Disediakan, dapat diunduh di kuliah2021 dan Edunex

2.4 Persiapan Praktikum

Sebelum praktikum dilaksanakan, sebaiknya hal-hal berikut perlu dipersiapkan terlebih dahulu:

1. Membaca dokumentasi kit praktikum untuk mendapatkan pemahaman mendalam tentang kit.
2. Membaca dan memahami program pada setiap *tab*. Gunakan panduan untuk mempermudah memahami perbedaan antar *main* program.
3. Mencoba dan memahami program Simulasi.m.
4. Membaca prosedur praktikum untuk mengetahui gambaran umum pelaksanaan praktikum. Program untuk menjalankan prosedur juga dapat dipersiapkan sebelum praktikum.
5. Membaca bagian laporan untuk membagi tugas dan mempersiapkan laporan.

2.5 Prosedur Praktikum

Prosedur modul kedua praktikum Sistem Kontrol Diskrit, dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu parameter kontrol sistem dan simulasi, implementasi kontrol kecepatan, dan penalaan halus. Pada parameter kontrol sistem dan simulasi, akan dihitung parameter kontrol berdasarkan identifikasi karakteristik sistem, kemudian akan dilakukan simulasi kalang tertutup dan kalang terbuka. Pada implementasi kontrol kecepatan, sistem akan dilengkapi dengan perhitungan kontrol, kemudian parameter kontrol akan diujicobakan. Pada penalaan halus, akan dilakukan penalaan parameter kontrol untuk menghasilkan performa kontrol terbaik, kemudian dilakukan uji coba penukaran parameter kontrol terbaik untuk kedua waktu cacah. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam melakukan prosedur praktikum adalah sebagai berikut:

1. Praktikan dipersilakan mengubah main program untuk setiap prosedur sesuai dengan kebutuhan. Simpan setiap modifikasi main program untuk disampaikan di laporan. Pastikan program modifikasi berjalan sesuai keinginan dengan mengamati *Serial Monitor*. Untuk mencegah kerusakan pada kit praktikum, lepas transistor ketika sedang memastikan keberjalanan program.
2. Bila tidak ada data yang ditunjukkan pada *serial monitor* atau data yang ditunjukkan tidak

- jasas, mungkin pengaturan baudrate belum tepat, atur baudrate 115200. Selain menggunakan *serial monitor*, praktikan juga dapat mengamati data percobaan menggunakan *serial plotter*.
3. Bila memberikan masukan melalui serial monitor paling optimal menggunakan pengaturan *Newline*. Pengaturan lain akan memberikan sedikit *delay* ketika memberikan masukan. Tidak direkomendasikan memberikan masukan positif ketika masukan motor negatif dan sebaliknya, ubah masukan menjadi nol terlebih dahulu.
 4. Upayakan untuk menyelesaikan prosedur praktikum secepat dan semudah mungkin. Prosedur tidak harus dikerjakan secara tuntas sebelum melanjutkan ke prosedur berikutnya, anda dapat mengulangi prosedur yang belum tuntas atau dilewati.
 5. Selain menggunakan kit praktikum, terdapat prosedur yang dikerjakan menggunakan simulasi matlab. Prosedur menggunakan kit praktikum dan simulasi matlab dapat dikerjakan secara paralel. Gunakan waktu praktikum seefisien mungkin.

2.5.1 Parameter Kontrol Sistem dan Simulasi

Sebelum melakukan pengontrolan, di bagian ini hasil identifikasi dari praktikum sebelumnya akan dituliskan terlebih dahulu. Kemudian dari hasil tersebut akan dihitung parameter kontrol menggunakan metode Ziegler Nichols dan Cohen Coon. Berikutnya, semua nilai yang sudah didapatkan ini dicoba untuk disimulasikan dalam program simulasi matlab. Akhirnya performa pengontrolan akan diamati dan dituliskan. Adapun prosedur parameter kontrol sistem dan simulasi adalah sebagai berikut:

1. Lengkapi tabel 2 identifikasi karakteristik sistem kecepatan kit praktikum Sistem Kontrol Diskrit. Waktu cacah pertama adalah nilai waktu cacah yang ditentukan pada modul sebelumnya. Waktu cacah kedua adalah tiga kali waktu cacah pertama. *Gain*, *Tau*, dan *DeadTime* diisi sesuai dengan hasil identifikasi pada modul sebelumnya. Keluaran maksimum adalah kecepatan putar maksimum hasil observasi pada modul sebelumnya. Model sistem dapat dituliskan berupa fungsi transfer ataupun model matematis sistem.
2. Menggunakan nilai-nilai pada tabel 2, lakukan simulasi pada matlab menggunakan program simulasi.m. Ubah nilai-nilai variabel (*Gain*, *Tau*, *Deadtime*, *SetPoint*) pada program tersebut. Nilai *SetPoint* ditentukan sekitar 75% dari Keluaran Maksimum. Tidak direkomendasikan mengubah formula program. Hitunglah nilai parameter kontrol menggunakan metode Ziegler Nichols dan Cohen Coon. Lengkapi tabel 3 parameter kontrol Ziegler Nichols dan Cohen Coon.
3. Lakukan identifikasi performa kontrol untuk tiap parameter kontrol. Lengkapi tabel 4 performa simulasi kontrol kecepatan.
4. Sebagai pembandingan, lakukan percobaan kalang terbuka pada kit praktikum menggunakan masukan sebesar 75% dari Keluaran Maksimum. Simpan dinamika perubahan kecepatan untuk setiap waktu cacah.

Tabel 2. Identifikasi karakteristik sistem kecepatan kit praktikum Sistem Kontrol Diskrit

No	Parameter	Nilai	Satuan	Model Sistem
1	Waktu Cacah Pertama		Milidetik	
2	Waktu Cacah Kedua		Milidetik	
3	Penguatan (<i>Gain</i>)			

No	Parameter	Nilai	Satuan	Model Sistem
4	Konstanta Waktu (Tau)		Milidetik	
5	Waktu Tunda (DeadTime)		Milidetik	
6	Keluaran Maksimum		Persen	

Tabel 3. Parameter kontrol Ziegler Nichols dan Cohen Coon

No	Kontrol	Ziegler Nichols					Cohen Coon				
		K_p	T_i	T_d	K_i	K_d	K_p	T_i	T_d	K_i	K_d
1	P		-	-	-	-		-	-	-	-
2	PI			-		-			-		-
3	PID										

Tabel 4. Performa simulasi kontrol kecepatan

No	Kontrol	Ziegler Nichols					Cohen Coon				
		<i>Delay Time</i>	<i>Rise Time</i>	<i>Over shoot</i>	<i>Settling Time</i>	<i>Offset</i>	<i>Delay Time</i>	<i>Rise Time</i>	<i>Over shoot</i>	<i>Settling Time</i>	<i>Offset</i>
1	P										
2	PI										
3	PID										

2.5.2 Implementasi Kontrol Kecepatan

Saatnya mengimplementasikan kontrol kecepatan pada kit praktikum Sistem Kontrol Diskrit. Pada bagian ini, pertama-tama akan diprogram perhitungan kontrol dimulai dari perhitungan *error* hingga perhitungan *manipulated variable*. Setelah program siap, parameter kontrol akan diujicobakan dengan memberikan setpoint kepada sistem. Adapun prosedur implementasi kontrol kecepatan adalah sebagai berikut:

1. Rancang sebuah fungsi kontrol pada tab control untuk menghitung aksi kontrol.
2. Lakukan pengontrolan terhadap kecepatan putar motor dengan set point sekitar 75% dari Keluaran Maksimum. Pilih parameter kontrol Ziegler Nichols atau Coheen Coon untuk percobaan ini. Simpan dinamika perubahan kecepatan untuk setiap struktur kontrol (P, PI, PID) dan setiap waktu cacah.
3. Lakukan pengontrolan terhadap kecepatan putar motor dengan *set point* 50, 80, dan 20. Berikan jeda antar *set point* minimal dua detik. Simpan dinamika perubahan kecepatan. Simpan dinamika perubahan kecepatan untuk setiap struktur kontrol (P, PI, PID), setiap metode (ZN, CC), dan setiap waktu cacah. Lakukan identifikasi performa kontrol, berdasarkan dinamika tersebut. Lengkapi tabel 5 performa implementasi kontrol kecepatan.

Tabel 5. Performa implementasi kontrol kecepatan.

Waktu Cacah	Kontrol	Ziegler Nichols					Cohen Coon				
		<i>Delay Time</i>	<i>Rise Time</i>	<i>Over shoot</i>	<i>Settling Time</i>	<i>Offset</i>	<i>Delay Time</i>	<i>Rise Time</i>	<i>Over shoot</i>	<i>Settling Time</i>	<i>Offset</i>
Pertama	P										
	PI										
	PID										
Kedua	P										
	PI										
	PID										

2.5.3 Penalaan Halus

Parameter kontrol hasil perhitungan metode Ziegler Nichols ataupun Cohen Coon, biasanya menghasilkan performa kontrol yang cukup baik. Tetapi performa kontrol masih dapat ditingkatkan, dengan melakukan penalaan halus. Pada bagian ini, akan dilakukan penalaan halus parameter pengontrolan. Penalaan halus tidak dilakukan untuk jenis pengontrol P, karena dari simulasi dan percobaan, ditemukan bahwa pengontrol P selalu menghasilkan *offset*. Sebaiknya bagian ini dilakukan setelah mengidentifikasi performa kontrol dari prosedur sebelumnya. Agar performa kontrol dapat dibandingkan secara kuantitatif, saat penalaan halus dilakukan.

Peningkatan performa yang diharapkan dari penalaan halus ini adalah, sistem cepat mencapai target dan tidak menghasilkan *offset*. *Overshoot* yang dihasilkan juga diharapkan tidak terlalu berlebihan. Di bagian akhir penalaan halus, akan diamati respon pengontrolan, apabila parameter kontrol kedua waktu cacah dipertukarkan. Prosedur penalaan halus adalah sebagai berikut:

1. Lakukan penalaan halus dengan mengubah nilai parameter kontrol, untuk pengontrol PI dan PID kedua waktu cacah. Nilai awal parameter kontrol dapat dipilih dari salah satu metode yang menghasilkan performa kontrol lebih baik. Penalaan halus dilakukan untuk menghasilkan performa pengontrolan yang lebih cepat, dengan *overshoot* yang lebih kecil atau tidak terlalu berlebihan. Simpan respon pengontrolan terbaik dari masing-masing pengontrol tiap waktu cacah. Lengkapi tabel 6 performa kontrol setelah penalaan halus.
2. Kita akan melakukan sedikit percobaan unik, yaitu menukar parameter kontrol akhir untuk setiap waktu cacah. Jadi kontrol kecepatan menggunakan waktu cacah pertama dilakukan dengan parameter kontrol waktu cacah kedua, dan sebaliknya, kontrol kecepatan menggunakan waktu cacah kedua dilakukan dengan parameter kontrol waktu cacah pertama. Simpan dinamika perubahan kecepatan setiap percobaan. Lengkapi tabel 7 performa kontrol dengan parameter kontrol ditukar.

Tabel 6. Performa pengontrolan setelah penalaan halus

No	Waktu Cacah	K_p	K_i	K_d	<i>Delay Time</i>	<i>Rise Time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Settling Time</i>	<i>Offset</i>
1	Pertama			-					
2									
3	Kedua			-					
4									

Tabel 7. Performa pengontrolan dengan parameter kontrol ditukar

No	Waktu Cacah	Parameter Kontrol	Kontrol	<i>Delay Time</i>	<i>Rise Time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Settling Time</i>	<i>Offset</i>
1	Pertama	Kedua	PI					
2			PID					
3	Kedua	Pertama	PI					
4			PID					

2.6 Laporan dan Analisis

Bagian ini berisi panduan umum penyusunan dan ketentuan pengumpulan laporan praktikum. Selain itu juga berisi pertanyaan-pertanyaan untuk dibahas di bagian analisis.

2.6.1 Laporan

Laporan praktikum diunggah per kelompok pada kuliah2021.tf.itb.ac.id paling lambat dua minggu setelah hari praktikum. Nilai bonus akan diberikan kepada kelompok yang mengumpulkan dalam waktu seminggu setelah praktikum. Laporan dikumpulkan dalam file .pdf dengan melampirkan file spreadsheet yang berisi pengolahan data dan grafik. Program-program yang dimodifikasi juga harus dilampirkan. Semua file tersebut digabungkan dan diupload dalam .zip. Laporan minimum memiliki garis besar sebagai berikut:

1. Latar Belakang
2. Tujuan
3. Alat
4. Prosedur
5. Analisis
6. Kesimpulan
7. Kontribusi
8. Referensi

Latar belakang, tujuan, alat, dan prosedur tidak boleh sama persis dengan yang tertulis pada modul ini. Silakan dituliskan kembali, sesuai dengan pemahaman kelompok, terhadap latar belakang dan tujuan praktikum. Alat dan prosedur yang digunakan atau dilakukan juga disesuaikan dengan kondisi aktual keberjalanan praktikum kelompok. Analisis dituliskan menjawab pertanyaan-pertanyaan pada bagian berikutnya. Kesimpulan dituliskan sesuai dengan pemahaman kelompok. Kontribusi berisi tabel 8 dilengkapi dengan keterangan peran tiap anggota kelompok dalam keberjalanan praktikum maupun penyusunan laporan praktikum. Tambahkan juga referensi di laporan praktikum.

Tabel 8. Kontribusi anggota kelompok dalam praktikum Sistem Kontrol Diskrit.

No	NIM	Nama Lengkap Anggota	Kontribusi
1			
2			
3			
4			
5			

2.6.2 Analisis

Pembahasan analisis akan dibagi menjadi tiga bagian, sesuai dengan pembagian prosedur praktikum. Bagian ini akan menjadi penilaian utama dari laporan praktikum. Penyusunan analisis pada laporan sebaiknya mengalir, sehingga alur penyampaian analisis tidak lompat-lompat. Jawaban pertanyaan tidak harus urut, silakan disesuaikan dengan alur penyampaian analisis. Perhatikan penggunaan angka penting untuk semua angka yang dihasilkan dari perhitungan.

A. Parameter Kontrol Sistem dan Simulasi

Analisislah pertanyaan berkaitan dengan prosedur parameter kontrol sistem dan simulasi sebagai berikut:

1. Tunjukkan dinamika kecepatan kalang terbuka hasil simulasi dan hasil akuisisi dalam satu grafik! Apakah respon kalang terbuka antara simulasi dengan kit praktikum mirip atau justru signifikan berbeda? Apa kesimpulan yang dapat diambil apabila simulasi dan hasil akuisisi menunjukkan kemiripan? Apabila berbeda secara signifikan, kenapa hal ini bisa terjadi?
2. Tunjukkan semua hasil simulasi pengontrolan kecepatan dalam satu grafik! Apakah pengontrol dapat menjalankan fungsinya dengan baik? Pisahkan grafik apabila ada hasil simulasi yang mengganggu pengamatan hasil simulasi yang lain!
3. Sebutkan pengertian setiap parameter performa kontrol (Delay Time, Rise Time, Overshoot, Settling Time, dan Offset)! Bagaimana semua parameter ini diidentifikasi nilainya dari hasil simulasi? Jelaskan!
4. Berdasarkan perbandingan grafik hasil simulasi pengontrolan dan hasil identifikasi parameter performa kontrol, pengontrol manakah yang memberikan kontrol kecepatan terbaik? Jelaskan!

B. Implementasi Kontrol Kecepatan

Analisislah pertanyaan berkaitan dengan prosedur implementasi kontrol kecepatan sebagai berikut:

1. Jelaskan fungsi kontrol pada tab control! Tuliskan fungsi tersebut dalam persamaan matematika!
2. Tunjukkan dinamika kecepatan kalang tertutup hasil simulasi dan hasil akuisisi dalam satu grafik! Apakah respon kalang tertutup antara simulasi dengan kit praktikum mirip? Jelaskan!
3. Tunjukkan dinamika kecepatan hasil percobaan menggunakan beberapa set point

dalam satu grafik! Bandingkan performa kontrol kontrol yang dihasilkan antar struktur kontrol (P, PI, PID), antar metode (ZN, CC), dan antar waktu cacah!

4. Berdasarkan perbandingan tersebut, pengontrol manakah yang memberikan kontrol kecepatan terbaik? Apakah sama dengan pengontrol terbaik dari hasil simulasi? Jelaskan!
5. Kenapa pengontrol P tidak dapat mencapai set point yang ditentukan? Jelaskan!

C. Penalaan Halus

Analisislah pertanyaan berkaitan dengan prosedur penalaan halus sebagai berikut:

1. Bagaimana penalaan halus dilakukan? Jelaskan tahapan-tahapannya!
2. Tunjukkan dinamika kecepatan kalang tertutup sebelum dan setelah penalaan halus dalam satu grafik! Apakah penalaan halus dapat menghasilkan performa kontrol kecepatan jauh lebih baik? Jelaskan!
3. Tunjukkan dinamika kecepatan kalang tertutup setelah penalaan halus dan parameter kontrol yang ditukar dalam satu grafik! Apakah parameter kontrol yang ditukar memberikan respon yang lebih baik? Jelaskan!
4. Pilih satu parameter kontrol yang menghasilkan performa kontrol kecepatan terbaik! Lengkapi tabel 9 parameter kontrol dan performa pengontrolan terbaik.

Tabel 9. Identifikasi parameter model kit praktikum Sistem Kontrol Diskrit.

No	Waktu Cacah	K_p	K_i	K_d	<i>Delay Time</i>	<i>Rise Time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Settling Time</i>	<i>Offset</i>
1	Pertama								
2	Kedua								

2.7 Tugas Tambahan

Tugas bersifat opsional, tidak harus dikerjakan. Tugas boleh ditambahkan menjadi bagian dari laporan untuk nilai tambah. Mengerjakan tugas akan menambah pengalaman dalam simulasi pengontrolan. Tugas juga akan sangat bermanfaat untuk menambah pemahaman dan sebagai persiapan untuk praktikum berikutnya. Berikut tugas tambahannya:

1. Modifikasi program Simulasi.m menjadi program yang mensimulasikan sistem kalang terbuka dan kalang tertutup untuk posisi! Apa saja modifikasi yang diperlukan?
2. Bagaimanakah respon kalang terbuka posisi apabila diberikan masukan tegangan berupa fungsi step? Bagaimana bila masukan berupa impuls? Jelaskan!
3. Apakah untuk sistem posisi ini dapat digunakan penalaan kalang tertutup Ziegler Nichols untuk penentuan parameter pengontrolnya? Jelaskan!
4. Tentukan jenis pengontrol (P, PI, atau PID) yang paling tepat untuk kontrol posisi ini! Berikan justifikasi dari pilihan tersebut!
5. Persiapkan main program sehingga program akan berfungsi mengontrol posisi, tidak lagi mengontrol kecepatan! Apa saja modifikasi yang perlu dilakukan? Apakah fungsi kompensasi yang digunakan sama dengan fungsi kompensasi pada praktikum sebelumnya? Apakah fungsi kontrol yang digunakan untuk mengontrol posisi sama dengan fungsi kontrol untuk mengontrol kecepatan? Bila terdapat perbedaan, di bagian mana sajakah perbedaan itu?