

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Setelah melakukan praktikum pada laboratorium teknik kendali yaitu percobaan pengendalian posisi dengan tipe kontroler PID analog. Selaku mahasiswa telah merasakan dan melihat perkembangan aplikasi teknologi sangatlah cepat, salah satunya teknologi digital. Dengan perkembangan teknologi komputer yang begitu pesat, dimana saat ini dunia industri telah banyak menggunakan komputer sebagai komponen pengendali sistem yang lebih dikenal dengan sistem kendali digital (pengendalian berbasis komputer). Maka selaku mahasiswa ditahap akhir yang akan mengajukan judul dan pembahasan tugas akhir, berkeinginan untuk memilih pembahasan untuk melakukan studi memodifikasi sistem yang sudah ada dilaboratorium teknik kendali yaitu pengendalian posisi dengan kendali PID analog menjadi pengendalian berbasis komputer

1.2. Perumusan Masalah

Membangun pengendali digital untuk dapat digunakan mengendalikan suatu plant, maka dilakukan tiga (3) bagian penting :

1) Perangkat keras (komponen-komponen)

Perangkat keras (komponen-komponen) yang dimaksud diantaranya rangkaian ADC (Analog to Digital Converter) dan DAC (Digital to Analog Converter) yang berfungsi untuk menerima dan mengeluarkan sinyal analog, interface dan komponen lainnya.

2) Algoritma Pengujian dan Pengontrolan

Algoritma pengujian dan pengontrolan yang dimaksud meliputi algoritma membaca input, memperoleh bentuk digital dari input dan melakukan kontrol digital PID dari persamaan yang ada dimana masukan ADC adalah dari set point dan output sensor.

3) Program

Membuat program inisialisasi yaitu alamat port dan paramater kontroler PID, program setting, waktu sampling, program input, program kontroler PID, sub rutin ADA/DAC, program plant dan perekam data.

1.3. Tujuan Tugas Akhir

Melakukan studi modifikasi (mengetahui apa saja kebutuhan) untuk modifikasi sistem kendali PID analog pada plant motor servo DC seri 734 yang ada saat ini di laboratorium teknik kendali, menjadi sistem kendali PID digital berbasis komputer. Dengan terlaksananya Tugas akhir ini diharapkan dikemudian hari dapat di Implementasikan, menjadi jenis percobaan dilaboratorium teknik kendali

1.4. Kontribusi Tugas Akhir

Tugas Akhir ini akan memberikan kontribusi kepada:

- 1) Laboratorium teknik kendali agar dikemudian hari dapat di Implementasikan sistem kendali PID digital berbasis komputer.
- 2) Mahasiswa Fakultas Teknik khususnya program studi teknik elektro dapat menerapkan teori kendali digital dan teori kendali analog yang diperoleh pada saat perkuliahan, khususnya mata kuliah sistem kendali digital.
- 3) Mempermudah mahasiswa untuk mempelajari kendali PID analog dan PID digital.

1.5. Batasan Masalah

Untuk kemudahan dan lebih terperinci pembahasan penulisan, maka modifikasi sistem yang dimaksud dalam tugas akhir ini dibatasi pada sistem kendali servo mekanis motor servo DC yang ada pada laboratorium teknik kendali. Rancangan modifikasi hanya pada rancangan komponen-komponen perangkat keras yang dibutuhkan untuk modifikasi modul sistem pengendali analog yang sudah ada pada laboratorium teknik kendali menjadi sistem kendali digital. Komponen tersebut adalah seperti konverter digital to analog 8 bit (DAC 0808) dan konverter analog to digital 8 bit (ADC), interface digital 8255, komponen konverter tegangan bipolar ke polar, konverter tegangan polar ke bipolar dan komponen elektronik lain pendukung, program pengendali PID digital dan rencana buku penuntun praktikum jika sistem ini diaplikasikan. Sedangkan metode perancangan pengendali PID digital yang digunakan adalah metode konvensional tidak dengan metode Ziegler Nichols.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dibuat untuk mempermudah memahami dan sistematika yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

1. BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, manfaat penulisan dan sistematika penulisan.

2. BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini membahas tentang dasar teori dari perangkat yang digunakan.

3. BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang tempat dan waktu penelitian, metode pengambilan data, bahan dan alat yang digunakan, skema penelitian.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan berisikan implementasi dari hasil penelitian.

5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan berisi kesimpulan dari seluruh penelitian dan saran-saran yang dapat mengembangkan lagi penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pendahuluan

Pada laboratorium teknik kendali ada yang disebut sistem kendali servo mekanis, (yang berkaitan pada pengendalian posisi dan kecepatan), dimana motor servo DC merupakan suatu alat untuk mengubah energi dari arus listrik DC menjadi energi mekanis dalam bentuk gerakan rotasi. Motor servo DC merupakan sumber tenaga penggerak yang banyak digunakan dalam sistem kendali posisi dan kecepatan, pada motor servo DC pengendalian putaran poros dilakukan dengan mengendalikan arus atau tegangan pada kumparan jangkarnya.

Pengendali Proportional (P) dalam prakteknya tidak baik berdiri sendiri, demikian juga pengendali Integral (I) dan juga pengendali Derivative (D). Karena masing-masing jenis pengendali memiliki kelemahan dan kelebihan masing-masing. Dengan melakukan percobaan praktikum akan dapat dilakukan pembuktian teoritis pengendali P, I dan D.

2.2. Motor Servo DC

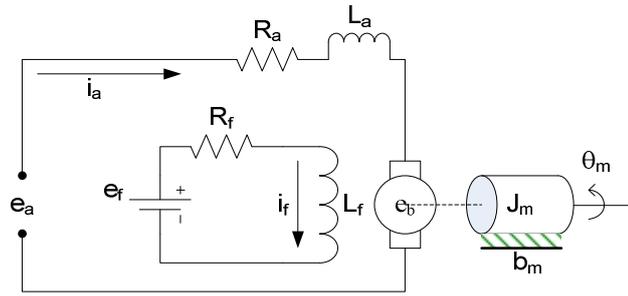
Motor servo DC merupakan elemen mengubah energi dari arus listrik DC menjadi energi mekanis dalam bentuk gerakan rotasi.



Gambar 2.1. Fisik dari Motor Servo DC

Motor servo DC sebagai sumber tenaga penggerak, mengontrol putaran poros motor dilakukan dengan mengontrol arus atau tegangan pada kumparan jangkarnya.

Rangkaian dari motor servo DC pengaturan arus jangkar :



Gambar 2.2. Rangkaian Skematik Motor Servo DC

Kecepatan motor dikontrol oleh tegangan Jangkar.

Daya listrik = $e_b \cdot i_a$ (dibangkitkan arus jangkar yang mengalir melalui gaya gerak listrik balik jangkar.

Daya mekanik $\tau \dot{\theta}$ harus sama dengan daya listrik = $e_b \cdot i_a$

τ = torsi yang diberikan motor

θ = Perpindahan sudut

$$\text{Daya mekanik } \tau \dot{\theta} = K_a \cdot i_a \cdot \dot{\theta} \text{ (N-m/det)} = \frac{K_a \cdot i_a \cdot \dot{\theta}}{746} \quad (2.1)$$

$$\text{Daya listrik} = e_b \cdot i_a = K_b \cdot i_a \cdot \dot{\theta} \text{ (Watt)} = \frac{K_b \cdot i_a \cdot \dot{\theta}}{746} (h_p) \quad (2.2)$$

Karena motor servo bekerja pada kondisi yang selalu berubah, maka selalu terjadi percepatan dan perlambatan.

Torsi τ yang dihasilkan oleh motor

$$\tau = \psi \cdot K_a \cdot i_a \quad (2.3)$$

dimana :

$$\psi = K_f \cdot i_f \quad (2.4)$$

i_a = arus kumparan jangkar i_a

ψ , = fluks celah udara

I_f = arus medan

K_a = konstanta kumparan jangkar

K_f = konstanta kumparan medan magnet

i_f = arus kumparan medan magnet konstan

ψ = flux konstan

Torsi yang dihasilkan (sesuai dengan arah arus kumparan magnet) sehingga :

$$\tau = K_{\tau} \cdot i_a \quad (2.5)$$

dimana

$$K_{\tau} = \psi \cdot K_a \quad (2.6)$$

K_{τ} = konstanta dari torsi motor (diketahui)

Bila kumparan magnet berputar maka akan timbul tegangan induksi yang sebanding dengan hasil kali fluks dengan kecepatan sudut yang diinduksikan pada kumparan jangkar.

Untuk fluks ψ konstan, tegangan induksi e_b berbanding lurus dengan kecepatan sudut

$$e_b = K_b \cdot \frac{d\theta_m}{dt} \quad (2.7)$$

e_b = tegangan emf balik

K_b = konstanta emf balik (diketahui)

Kecepatan putaran motor dikendalikan oleh tegangan kumparan jangkar e_a , maka persamaan differensial dari rangkaian :

$$L_a \cdot \frac{di_a}{dt} + R_a \cdot i_a + e_b = e_a \quad (2.8)$$

Arus kumparan jangkar i_a menghasilkan torsi yang bekerja pada momen inersia dan gesekan sehingga :

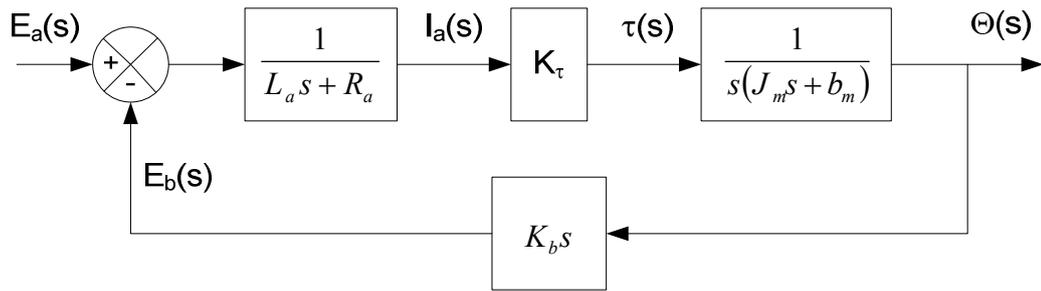
$$J_m \cdot \frac{d^2\theta_m}{dt^2} + b_m \cdot \frac{d\theta_m}{dt} = K_{\tau} \cdot i_a = \tau \quad (2.9)$$

J_m dan b_m (diketahui)

Jika diasumsikan semua syarat kondisi awal adalah nol, sehingga diperoleh transformasi Laplace untuk persamaan (5), (6) dan (7) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} K_b s \cdot \Theta_m(s) &= E_b(s) \\ (L_a s + R_a) \cdot I_a(s) + E_b(s) &= E_a(s) \\ (J_m s^2 + b_m s) \cdot \Theta_m(s) &= K_{\tau} \cdot I_a(s) = \tau(s) \end{aligned} \quad (2.10)$$

Dengan $E_a(s)$ sebagai fungsi masukan dan $\Theta_m(s)$ sebagai fungsi keluaran maka dapat digambarkan diagram blok sebagai berikut.



Gambar 2.3. Diagram Blok Motor Servo DC dengan Pengontrolan Arus Jangkar

Maka Fungsi Transfer motor servo DC

$$\frac{\Theta(s)}{E_a(s)} = \frac{K_\tau}{s[(L_a \cdot J_m)s^2 + (L_a \cdot b_m + R_a \cdot J_m)s + (R_a \cdot b_m + K_\tau \cdot K_b)]} \quad (2.11)$$

Induktansi L_a pada kumparan jangkar biasanya kecil sehingga dapat diabaikan sehingga persamaan (2.11) menjadi

$$\frac{\Theta(s)}{E_a(s)} = \frac{K_\tau}{s[(R_a \cdot J_m)s + (R_a \cdot b_m + K_\tau \cdot K_b)]} \quad (2.12)$$

Jika persamaan ini sama-sama dibagi dengan $R_a \cdot b_m + K_\tau \cdot K_b$ maka

$$\frac{\Theta(s)}{E_a(s)} = \frac{\frac{K_\tau}{R_a \cdot b_m + K_\tau \cdot K_b}}{s\left(\frac{R_a \cdot J_m}{R_a \cdot b_m + K_\tau \cdot K_b} s + 1\right)} \quad (2.13)$$

atau

$$G_m(s) = \frac{\Theta_m(s)}{E_a(s)} = \frac{K_m}{s(T_m s + 1)} \quad (2.14)$$

dimana,

$$K_m = \frac{K_\tau}{R_a \cdot b_m + K_\tau \cdot K_b}$$

dan

$$T_m = \frac{R_a \cdot J_m}{R_a \cdot b_m + K_\tau \cdot K_b}$$

Dengan

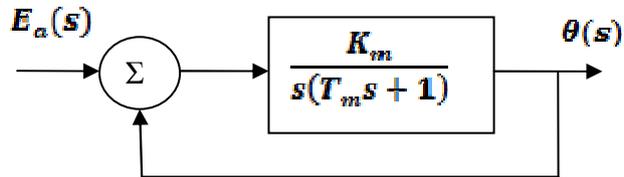
K_m = Konstanta penguatan Motor

T_m = Konstanta waktu motor

K_τ = Konstanta torsi rotor (N-m/amp) (diketahui)

K_b = Konstanta gaya gerak listrik balik (Volt-det/rad) (diketahui)

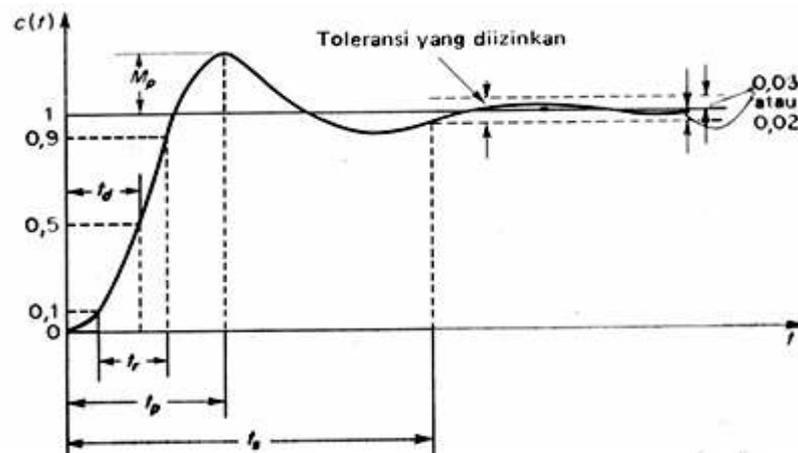
Diagram blok suatu motor servo DC adalah



Gambar 2.4. Diagram Blok Motor Servo DC

2.3. Karakteristik Respon Transient

Karakteristik respon transient sistem orde kedua untuk masukan unit step : $f(t) = 0$ untuk $t < 0$ dan $f(t) = A$ untuk $t \geq 0$ dinyatakan dengan Parameter karakteristik respon



Gambar 2.5. Respons Unit Step Sistem Orde Kedua

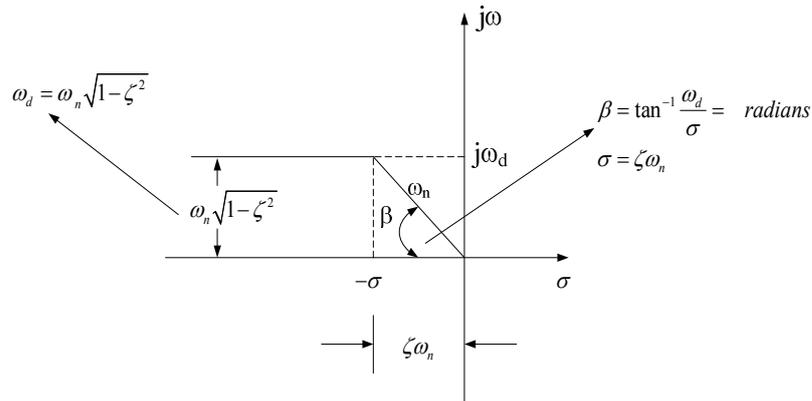
Waktu tunda (delay time), t_d adalah waktu yang diperlukan respon untuk mencapai 50% dari nilai akhir untuk pertama kali.

Waktu naik (raise time), t_r adalah waktu yang diperlukan respon untuk naik dari 10% sampai 90% dari nilai akhir, ketentuan pada sistem yang redaman lebih, 0% sampai 100% pada sistem redamanya kurang.

Waktu naik (t_r)

$$\begin{aligned}
 t_r &= \frac{1}{\omega_d} \tan^{-1} \left(\frac{\omega_d}{-\sigma} \right) \\
 &= \frac{\pi - \beta}{\omega_d}
 \end{aligned}
 \tag{2.15}$$

Definisi β dinyatakan oleh



Gambar 2.6. Definisi Sudut β

Waktu puncak (peak time), t_p adalah waktu yang diperlukan kurva respons untuk mencapai puncak lonjakan maksimum dinyatakan,

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_d}
 \tag{2.16}$$

di mana ω_d adalah frekuensi alamiah teredam

Lonjakan maksimum (maximum overshoot), M_p adalah nilai puncak kurva respons. Salah satu jawaban (respon) khas dari persamaan differensial adalah suatu bentuk osilasi yang akan menurun terhadap waktu (Stabil) dan kemudian isolasi tersebut menghilang.

Dari persamaan $\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$ untuk input step $R(s) = \frac{1}{s}$

$$C(s) = \frac{\omega_n^2}{(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)s} \text{ Invers Laplacinya :}$$

$$L^{-1}[C(s)] = c(t) = 1 - e^{-\zeta\omega_n t} \left(\cos\omega_d t + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin\omega_d t \right)$$

$$= 1 - \frac{e^{-\zeta\omega_n t} \text{ (adat maka osilasi akan turun terhadap pertambahan waktu)}}{\sqrt{1-\zeta^2} \text{ (Berosilasi dengan frek. teredam)}} \left(\sin\omega_d t + \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta} \right)$$

$$\begin{aligned} M_p &= C(t_p) - 1 \\ &= -e^{-\zeta\omega_n \left(\frac{\pi}{\omega_d}\right)} \left(\cos \pi + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin \pi \right) \\ &= e^{-\left(\frac{\sigma}{\omega_d}\right)\pi} = e^{-\left(\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)\pi} \end{aligned}$$

atau

$$M_p = e^{-\left(\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)\pi} e^{-\left(\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right)\pi}$$

adalah bagian eksponen.

Bagian peralihan (Transien) yang penurunannya ditentukan oleh $\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}$ (2.17)

Waktu mencapai steady state (settling time), t_s adalah waktu yang diperlukan kurva respons agar dapat mencapai dan tetap berada dalam jangkauan nilai akhir yang rentang nilainya dinyatakan dalam toleransi error steady state.

Untuk kriteria dua persen maka waktu mencapai steady state mendekati empat kali konstantan waktu.

$$t_s = \frac{4}{\zeta \omega_n} \quad (2.18)$$

$$T = \frac{1}{\zeta \omega_n} \quad (2.19)$$

Dengan mengetahui respons keluaran plant dan menentukan karakteristik respon transient, maka dapat diketahui parameter-parameter suatu plant, dengan demikian diketahui model matematis dalam bentuk fungsi transfer.

2.4. Pengendali PID

Kontroler PID merupakan pengendali yang menggabungkan tiga aksi pengendalian yaitu aksi kendali Proporsional, aksi kendali Integral dan aksi kendali Derivatif. Pengendali Proportional dalam prakteknya tidak baik berdiri sendiri, demikian juga pengendali Integral dan juga pengendali Derivative. Karena

masing-masing jenis pengendali tersebut memiliki kelemahan dan kelebihan setiap masing-masing pengendali. Oleh karena itu pada umumnya disain sistem kendali bertujuan untuk memenuhi spesifikasi yang sudah ditetapkan misalnya ketelitian, kecepatan respon menuju steady-state, lonjakan (maksimum overshoot) dan error steady-state. Akan tetapi masing-masing spesifikasi tersebut satu sama lain akan saling mempengaruhi. Disatu pihak diinginkan mengurangi error steady-state sebanyak mungkin, akan tetapi hal tersebut akan mengakibatkan osilasi, dengan demikian akan memperlama waktu menuju steady-state. Sedangkan dipihak lain respon terhadap semua perubahan input boleh terjadi tetapi waktu sesingkat singkatnya, akan tetapi dengan lonjakan dan osilasi sekecil mungkin, untuk mengatasi hal-hal yang diuraikan di atas maka harus dilakukan penggabungan (kombinasi) masing-masing jenis pengendali.

2.4.1. Aksi Kendali Proporsional (P)

Pada jenis pengendali P (*proporsional*), perbandingan antara sinyal input kontroler $u(t)$ dan sinyal error $e(t)$ merupakan suatu besaran penguatan proporsional. Hubungan antara output kontroler $m(t)$ dan sinyal error $e(s)$ adalah :

$$u(t) = K_p e(t) \quad (2.20)$$

atau dapat dinyatakan dengan,

$$\frac{u(t)}{e(t)} = K_p \quad (2.21)$$

K_p adalah proportional sensitivity atau penguatan (gain)

Penambahan harga K_p akan menaikkan penguatan (gain) sistem. Penguatan ini akan mempercepat waktu mencapai steady-state dan mengurangi error steady-state.

Kelemahan jenis pengendali Proporsional (P) adalah, apabila penambahan besar K_p terus dilakukan, hasilnya akan mengakibatkan sistem menjadi tidak stabil, dengan demikian sistem menjadi sensitif terhadap timbulnya ketidak stabilan sistem. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa ada keterbatasan untuk melakukan pertambahan harga K_p . Oleh karena itu, apabila ditentukan spesifikasi tertentu dari sistem yang dikendalikan, maka jenis pengendali P dalam prakteknya tidak baik berdiri sendiri.

Dalam aksi kendali Proporsional (P) keluaran dari pengendali selalu sebanding dengan nilai inputnya sehingga dapat dikatakan bahwa sinyal kendali merupakan penguatan dari sinyal kesalahan (error) dengan faktor penguatan tertentu yang merupakan konstanta proporsional dari pengendali yang dinyatakan dengan notasi K_p . Aksi kendali proporsional digunakan untuk mempercepat tanggapan awal system (rise time).

2.4.2. Aksi kendali Derivatif (D) dan Kombinasi PD

Kendali Derivatif bekerja berdasarkan laju perubahan simpangan, sehingga aksi kendali ini selalu digunakan bersama dengan kendali proporsional dan integral, konstantanya dinyatakan dengan notasi K_d . Aksi kendali ini digunakan untuk mereduksi perubahan sinyal error, sehingga aksi kendali ini berfungsi untuk mempercepat tanggapan dinamik sistem. Kesimpulan Teoritis dan Saran Aplikasi.

Pengendali Derivative sangat bermanfaat, sebab responnya terhadap laju (*rate*) perubahan kesalahan menghasilkan koreksi yang berarti sebelum error tersebut bertambah besar, jadi efeknya adalah melakukan tindakan pengendalian yang cepat, hal ini sangat penting bagi sistem kendali yang perubahan bebannya terjadi secara tiba-tiba. Karena dapat menghasilkan sinyal pengendali selama kesalahan berubah. Karena pengendali Derivative melawan perubahan-perubahan yang terjadi dalam output yang dikendalikan. Efeknya adalah menstabilkan sistem closed-loop dan ini dapat meredam osilasi yang mungkin terjadi. Pengendali Derivative berfungsi untuk memperbaiki/mempercepat respon menuju keadaan steady-state. Jika pengendali Derivative diikutsertakan sebagai pengendali akan memberikan efek menstabilkan sistem dengan cara memperbesar phase lead terhadap gain loop kontrol yaitu dengan mengurangi phase lag.

Pengendali Derivative didefinisikan sebagai laju kendali dengan besaran output pengendali proporsional dengan laju (perubahan) sinyal pembangkit kesalahan. Aksi pengendali Proporsional plus Derivative (PD). Aksi dari pengendali PD didefinisikan dengan persamaan,

$$\mathbf{u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}} \quad (2.22)$$

Dalam bentuk fungsi transfer persamaan (2.2.1) adalah,

$$\frac{\mathbf{u(s)}}{\mathbf{E(s)}} = \mathbf{K_p(1 + T_d s)} \quad (2.23)$$

K_p = kepekaan proporsional (proportional sensitivity) yang dapat diatur

T_d = waktu derivate yang dapat diatur. yaitu selang waktu bertambah majunya respon aksi kontrol proporsional yang disebabkan oleh rate action.

2.4.3. Aksi Kendali Integral (I) dan Kombinasi PI

Dengan kendali integral, bahwa output (keluaran) dari pengendali selalu berubah selama terjadi penyimpangan (error) dan kecepatan perubahan output tersebut sebanding dengan penyimpangan yang terjadi yang nilai konstantanya dinyatakan dengan notasi K_i . Aksi kendali integral ini memiliki sensitifitas yang tinggi dengan cara mereduksi error yang dihasilkan oleh sinyal umpan balik (feedback), semakin besar nilai K_i maka sensitifitas pengendali akan semakin tinggi dan waktu untuk mencapai kondisi stabil akan lebih cepat sehingga aksi kendali integral berfungsi untuk menghilangkan kesalahan keadaan tunak. Jenis pengendali ini, nilai input sinyal pengendali $u(t)$ diperoleh pada batasan waktu tertentu dari sinyal pembangkit *error* $e(t)$. pengendali ini bertujuan untuk menghilangkan error pada kondisi steady-state. Jenis pengendali ini pada umumnya dikombinasikan dengan jenis pengendali P (*proportional*) dan jenis D (*Derivative*). Apabila dalam spesifikasi tidak dititik beratkan pada kecepatan respon untuk mencapai steady-state dan ketidak stabilan maka cukup menggunakan pengendali PI (*Proporsional plus Integral*).

Pengendali jenis I (*Integral*) berfungsi untuk mencegah kesalahan, dan pada umumnya digunakan apabila kita ingin mempertahankan variabel proses agar tetap pada nilai kerja nominal dan juga dalam keadaan dimana perubahan-perubahan variabel hanya disebabkan oleh perubahan beban. pengendali I (*Integral*) sebaiknya digunakan hanya apabila error steady-state yang terjadi tidak dapat ditolerir. Jika error steady-state tidak ada atau dapat ditolerir maka cukup menggunakan pengendali PD (*Proporsional plus Derivative*) saja.

Sifat dari pengendali PI adalah mampu mempercepat respon sistem menuju steady-state dan mengurangi error steady-state (e_{ss}). Jika spesifikasi sistem tentang kecepatan respon menuju steady-state tidak begitu difokuskan. Aksi pengendali proporsional plus integral didefinisikan dengan persamaan,

$$U(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i s} \int e(t) dt \quad (2.24)$$

Dalam bentuk fungsi transfer

$$\frac{u(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (2.25)$$

dimana,

K_p = Kepekaan proporsional (*proportional sensitivity*) atau Gain (penguatan) yang dapat diatur untuk mempengaruhi baik bagian proporsional maupun bagian integral, T_i = waktu integral yang dapat diatur untuk mengatur aksi kontrol integral

2.4.4. Aksi pengendali Proporsional plus Derivative plus Integral (PID)

Untuk mengatasi kekurangan/kelemahan dari pengendali PI dan PD, maka dikombinasikan pengendali PID yang memiliki kemampuan untuk mencapai spesifikasi. Dengan menggabungkan tiga aksi kendali ini maka diharapkan akan diperoleh suatu respon yang memiliki kestabilan yang tinggi. Persamaan kendali PID dapat dinyatakan dalam fungsi berikut.

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int_0^t e(t) dt + K_d \cdot \frac{d e(t)}{dt} \quad (2.26)$$

atau

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \cdot \frac{d e(t)}{dt} \right] \quad (2.27)$$

Dimana T_i merupakan konstanta waktu integral dan T_d adalah konstanta waktu derivatif. Dalam bentuk transformasi laplace dapat dituliskan.

$$G_C(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (2.28)$$

atau

$$G_C(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2.29)$$

Hubungan antara gain kontroler dan konstanta waktu,

$$K_d = K_p \cdot T_d$$

dan

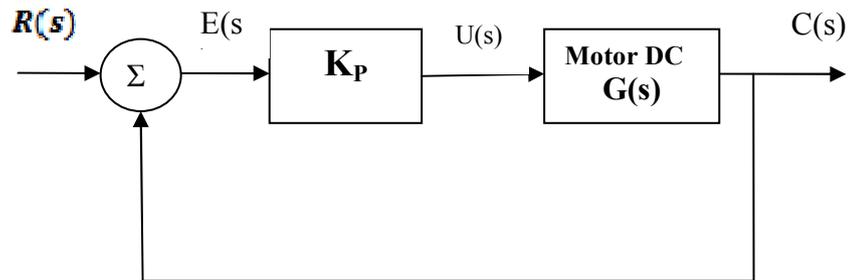
$$K_i = \frac{K_p}{T_i}$$

Sehingga fungsi transfer kontroler $G_C(s)$ menjadi

$$G_C(s) = \frac{(K_p \cdot T_i \cdot T_d)s^2 + (K_p \cdot T_i)s + K_p}{T_i s} \quad (2.30)$$

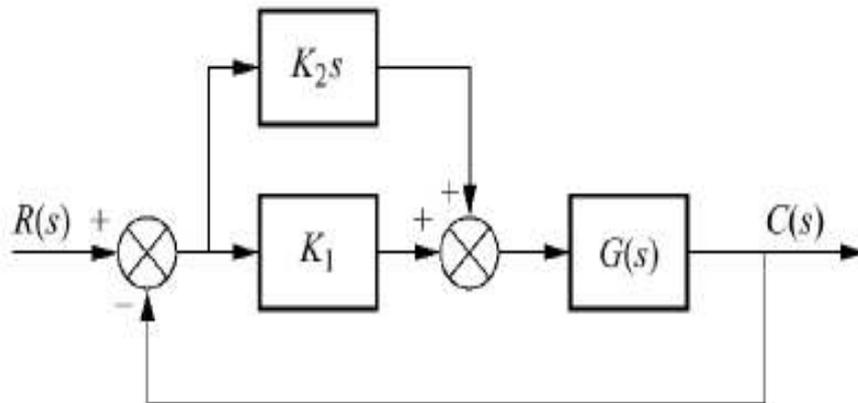
2.5. Diagram Blok Modul Percobaan Sistem Servo Mekanis

Sistem kendali posisi dengan pengendali P, Diagram blok percobaan



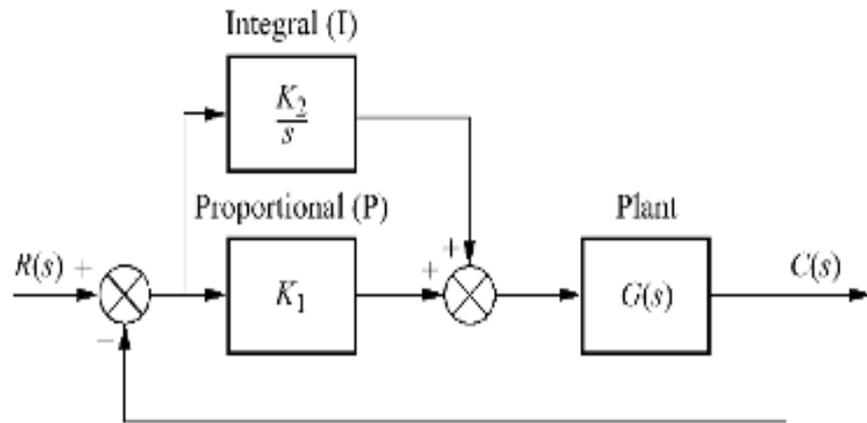
Gambar 2.7. Diagram Blok Percobaan Pengendali P

Sistem kendali posisi dengan pengendali PD, Dalam bentuk diagram blok pengendali PD



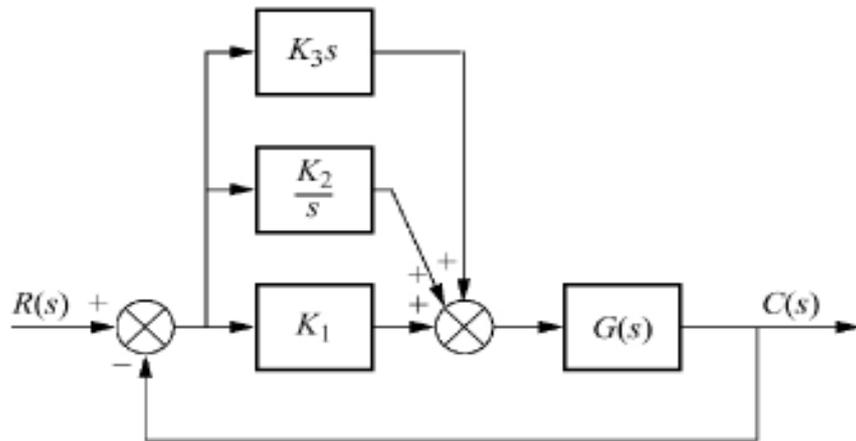
Gambar 2.8. Diagram blok percobaan Pengendali PD

Sistem kendali posisi dengan pengendali PI, Dalam bentuk diagram blok pengendali PI



Gambar 2.9. Diagram blok percobaan Pengendali PI

Sistem kedali posisi dengan pengendali PID, Dalam bentuk diagram blok pengendali PID



Gambar 2.10. Diagram Blok Percobaan Pengendali PI

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

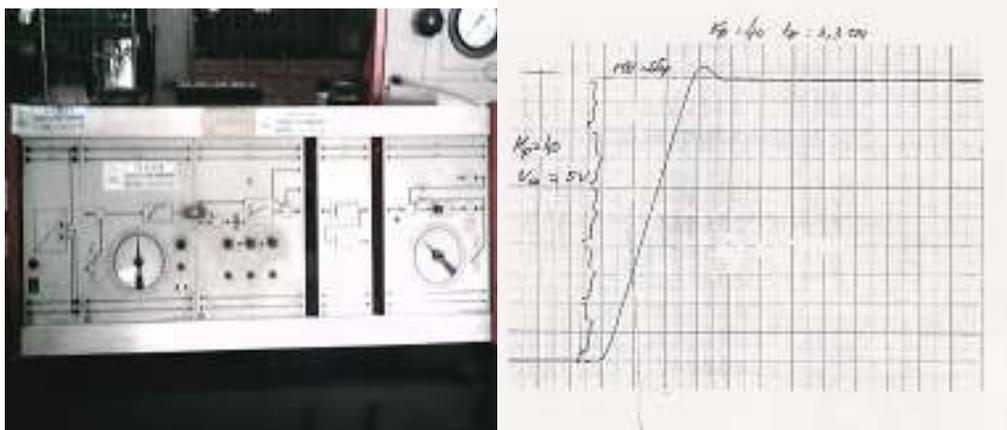
Penelitian tugas akhir “Studi Modifikasi Sistem Kendali PID Analog ke Digital Berbasis Komputer” dilaksanakan pada tanggal 2020 sampai..... di Laboratorium Teknik Kendali Universitas HKBP Nommensen Medan.

3.2 Alat-Alat Yang Dibutuhkan

Untuk mendukung penelitian ini dibutuhkan alat-alat. Alat-alat yang dibutuhkan adalah sebagai berikut.

1. Motor Servo DC
2. Power Supply DC
3. Potensiometer

3.3 Rangkaian Percobaan



Gambar 3.1. Rangkaian percobaan

1. Motor Servo DC

Motor servo DC merupakan elemen mengubah energi dari arus listrik DC menjadi energi mekanis dalam bentuk gerakan rotasi. Motor servo DC merupakan sumber tenaga penggerak yang banyak digunakan dalam sistem kendali posisi, Pada motor servo DC pengendalian putaran poros dilakukan dengan mengendalikan arus atau tegangan pada kumparan jangkarnya.



Gambar 3.2. Fisik dari Motor Servo DC

2. Power Supply DC

Power supply adalah perangkat keras yang berfungsi untuk menyuplai tegangan langsung ke komponen dalam casing yang membutuhkan tegangan. Power supply berupa kotak yang umumnya diletakan dibagian belakang atas casing. Besarnya listrik yang mampu ditangani power supply ditentukan oleh dayanya dan dihitung dengan satuan Watt. Input power supply berupa arus bolak-balik (AC) sehingga power supply harus mengubah tegangan AC menjadi DC (arus searah).

Banyak rangkaian power supply yang berlainan yang dapat digunakan untuk pekerjaan tersebut. Komponen dasar yang digunakan untuk rangkaian yang lebih sederhana adalah transformator, penyearah, resistor, kapasitor, dan induktor. Power supply yang diatur secara lebih kompleks dapat menambahkan transistor atau triode sebagai pengontrol tegangan, ditambah dengan dioda zener atau tabung VR untuk menyediakan tegangan acuan (reference).

Power supply berfungsi untuk menyuplai tegangan langsung ke komponen dalam casing yang membutuhkan tegangan dengan cara mengubah tegangan AC (bolak-balik) menjadi arus DC (searah)



Gambar 3.3. Power Supply DC

3. Potensiometer

Potensiometer adalah resistor tiga terminal dengan sambungan geser yang membentuk pembagi tegangan dapat disetel. Jika hanya dua terminal yang digunakan (salah satu terminal tetap dan terminal geser), potensiometer berperan sebagai resistor variabel atau Rheostat. Potensiometer biasanya digunakan untuk mengendalikan peranti elektronik seperti pengendali suara pada penguat.

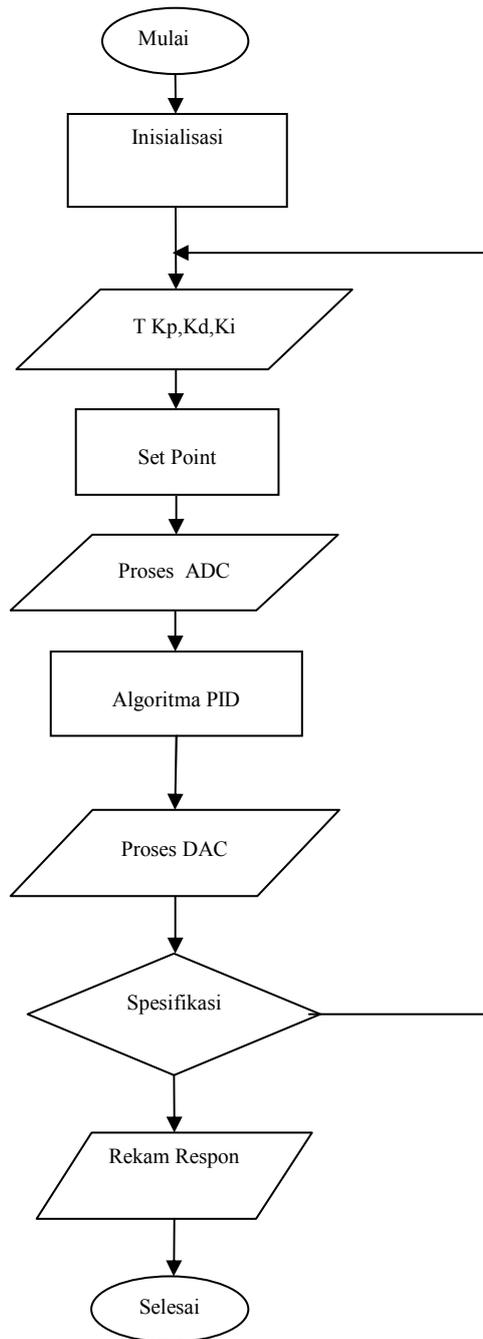
Potensiometer jarang digunakan untuk mengendalikan daya tinggi (lebih dari 1 Watt) secara langsung. Potensiometer digunakan untuk menyetel taraf isyarat analog (misalnya pengendali suara pada peranti audio), dan sebagai pengendali masukan untuk sirkuit elektronik. Sebagai contoh, sebuah peredup lampu menggunakan potensiometer untuk menendalikan pensakelaran sebuah TRIAC jadi secara tidak langsung mengendalikan kecerahan lampu.

Potensiometer yang digunakan sebagai pengendali volume kadangkala dilengkapi dengan sakelar yang terintegrasi, sehingga potensiometer membuka sakelar saat penyapu berada pada posisi terendah



Gambar 3.4. Bentuk Potensiometer

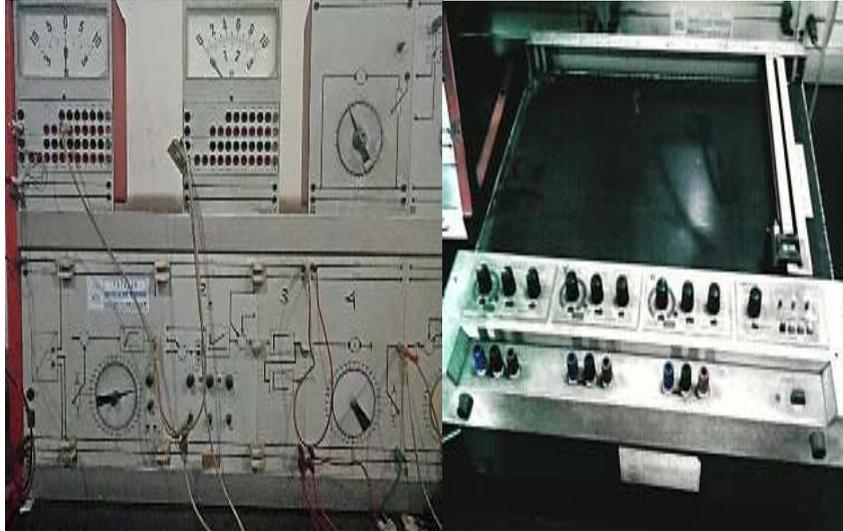
3.4 Diagram Alir Prosedur percobaan sistem kendali posisi PID Digital



Gambar 3.5. Diagram Alir Proses Pengontrolan

3.5 Prosedur Melakukan Pengujian

Melakukan pengujian terhadap fisisk plant di laboratorium, dengan mengatur gain, untuk $K_p = 20$, $K_p = 40$ dan $K_p = 50$. Fisik plant adalah sebuah motor servo DC. Respons keluaran plant ditunjukkan Gambar 3.6, 3.7, 3.8 dan 3.9.

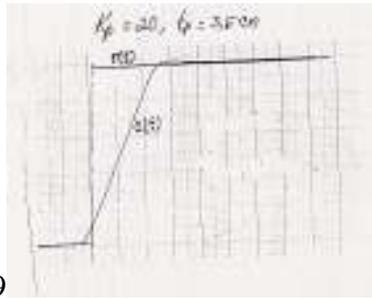


Gambar 3.6. Modul Pengujian Identifikasi

Prosedur melakukan pengujian sebagai berikut :

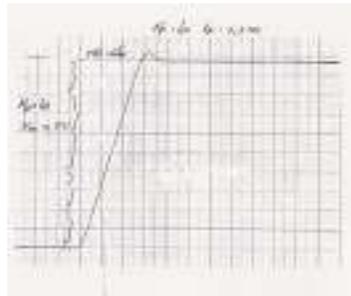
Rangkaian percobaan seperti Gambar 3.6 (P ON, I dan D OFF), artinya hanya kontroler P yang digunakan. Hidupkan power supply DC , atur potensiometer set point pada posisi 90^0 yang identik dengan + 5 Volt, atur set point 1 v/s (faktor pengali 1), berikan nilai $K_p = 20$; atur sweep rate 0.25 pada X-Y recorder, dan atur posisi kertas sedemikian, hubungkan X-Y recorder pada terminal output pada modul percobaan, ON kan tombol K_p , ON kan toggle switch, setelah respon terekam pada X-Y recorder, OFF kan toggle switch. Dengan cara yang sama dilakukan untuk $K_p = 40$; $K_p = 50$

Hasil pengujian ditunjukkan oleh Gambar 3.7, Gambar 3.8 dan Gambar

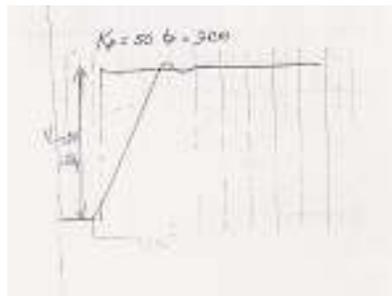


3.9

Gambar 3.7. Respon $K_p=20$,



Gambar 3.8. Respon $K_p = 40$,



Gambar 3.9. Respon $K_p = 50$

