**BAB I**

**PENDAHULUAN**

1. **Latar Belakang**

Motor DC (*Direct Current*) atau motor arus searah termasuk dalam kategori jenis motor yang paling banyak digunakan baik dalam lingkungan industri, peralatan rumah tangga hingga ke mainan anak-anak ataupun sebagai piranti pendukung sistem instrumen elektronik. Motor DC memiliki jenis yang beragam mulai dari tipe magnet permanen, seri, shunt ataupun jenis magnet kompon. Tipe motor DC diimplementasikan berdasarkan jenis magnet yang digunakan. Kelebihan motor DC memiliki torsi yang tinggi, tidak memiliki kerugian daya reaktif dan tidak menimbulkan harmonisa pada sistem tenaga listrik yang mensuplainya.

Perencanaan suatu sistem tenaga baik dalam skala industri besar ataupun kecil tidak akan lepas dari suatu asumsi bagaimana sistem ini akan berjalan dengan baik melalui suatu sudut tinjauan perilaku atau karakteristik sistem. Karakteristik utama yang harus diketahui adalah karakteristik elektrik sistem tersebut seperti lonjakan arus start, profil tegangan transien hingga analisa transien pada saat sistem terjadi gangguan. Kemampuan mengetahui kondisi sistem yang sebenarnya akan memberikan hasil perencanaan yang baik dan optimal. Proses interpretasi atau menafsirkan perilaku sistem bukan merupakan pekerjaan yang mudah karena akan berkaitan dengan perilaku statik dan dinamik sistem. Penggunaan perangkat lunak komputer juga akan menentukan akurasi model yang diambil.

Kontrol otomatik telah memegang peranan yang penting dalam perkembangan ilmu pengetahuan. Kontrol otomatik merupakan bagian terpenting dalam industri saat ini.

Kontrol PID (*Proportional – Integral – Derivative*) merupakan kombinasi dari ketiga jenis kontroler. Jika masing-masing dari ketiga jenis kontroler tersebut berdiri sendiri maka hasil yang dicapai akan kurang baik sebab masing-masing memiliki kelemahan maupun kelebihan sendiri-sendiri.

Untuk memenuhi sistem yang diinginkan maka ketiga parameter PID harus ditetapkan secara optimal. Ada beberapa metode *tuning* PID konvensional yang telah dikembangkan, seperti metode coba-coba (*cut and try method*), metode Ziegler-Nichols, metode tanggapan (*step respons*), dan metode analitik.

Dari beberapa percobaan yang telah dilakukan dengan metode-metode diatas dapat dilihat bahwa dengan menggunakan pengendali PID dalam suatu sistem mempunyai kelemahan, yakni bahwa parameter-parameter dalam pengendali harus selalu diubah (*tuned up*) bila terjadi perubahan didalam sistem, perubahan tersebut akan menyebabkan terjadinya penalaan kembali dari parameter-parameter PID tersebut (Thomas & Poongodi, 2009).

Dengan melihat hal tersebut diatas, penulis mencoba melakukan penalaan dari parameter-parameter dengan mempertahankan kondisi yang sudah ditentukan.

Penalaan pengendali PID adalah yang paling popular abad ini karena keefektifannya, sederhana dalam implementasi dan luas penggunaannya. Konfigurasi standar penalaan dari pengendali PID memiliki parameter- parameter Kp, Ki dan Kd yang dipilih atau ditentukan agar karakteristik *plant* sesuai dengan kriteria desain yang diharapkan.

Untuk penelitian ini, model yang dipilih adalah pengendalian kecepatan dari motor arus searah. Alasannya adalah bahwa model ini sering ditemui di instalasi industri. Pengendali PID ini akan dirancang menggunakan metoda penalaan Ziegler Nichols dan dianalisa hasilnya.

1. **Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan, antara lain:

1. Bagaimana merancang parameter PID dengan penalaan Ziegler Nichols untuk kendali kecepatan motor arus searah.
2. Bagaimana menguji hasil penalaan PID dengan menggunakan simulasi.
3. **Definisi Masalah**

Definisi masalah dalam penelitian ini adalah :

1. *Plant* yang dipakai untuk pengujian adalah *plant* motor arus searah terkendali jangkar yang dapat merepresentasikan suatu *plant*.
2. Kriteria performansi sistem yang direncanakan meliputi konstanta Kp, Ki dan Kd menggunakan metode penalaan Ziegler Nichols.
3. Hasil penelitian akan ditampilkan dengan menggunakan proses simulasi Matlab.
4. **Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. merancang parameter PID dengan penalaan Ziegler Nichols untuk kendali kecepatan motor arus searah terkendali jangkar berbasis perhitungan nilai akar kuadrat rata-rata.
2. Mengsimulasikan hasil penalaan PID dengan metode Ziegler Nichols untuk mengendalikan kecepatan motor arus searah terkendali jangkar sehingga memiliki performa yang lebih optimal.
3. **Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dan kontribusi dari penelitian ini adalah mengembangkan dan meningkatkan pemahaman tentang pengendali PID tertala berbasis perhitungan nilai akar rata-rata dalam memperoleh parameter-parameter PID yang optimal sehingga dihasilkan sistem yang memenuhi kriteria performansi yang diharapkan.

1. **Sistematika Penulisan**

Untuk memudahkan pembatasan, laporan tugas akhir ini disusun dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang Latar belakang, Rumusan Masalah, Batasan Masalah, Tujuan penelitian, Manfaat Penelitian, dan Sistematika Penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas tentang teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan, seperti penjelasan umum dari Motor arus searah, Roadmap Penelitian, dan Kerangka Pikir.

BAB III : METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan diuraikan tahapan metode perancangan sistem pengendalian motor arus searah dengan pengendali PID tertala berbasis perhitungan nilai akar kuadrat rata-rata.

BAB IV : PERANCANGAN DAN SIMULASI

Pada bab ini berisi tentang data hasil penelitian dari simulasi pengendalian kecepatan motor arus searah dan analisa dari performansi sistem pengendalian dengan pengendali PID tertala berbasis perhitungan nilai akar kuadrat rata-rata.

BAB V : KESIMPULAN

Pada bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisa.

**BAB II**

**TINJAUAN PUSTAKA**

1. **Motor DC**

Motor listrik merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya memutar *impeller* pompa, *fan* atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dan lain-lain (Pinem, 2009). Motor listrik digunakan juga di rumah (*mixer*, bor listrik, *fan* angin) dan di industri.

Motor arus searah memerlukan suplai tegangan yang searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Kumparan medan pada motor arus searah disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika terjadi putaran pada kumparan jangkar dalam pada medan magnet, maka akan timbul tegangan (GGL) yang berubah-ubah arah pada setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan bolak-balik. Prinsip kerja dari arus searah adalah membalik phasa tegangan dari gelombang yang mempunyai nilai positif dengan menggunakan komutator, dengan demikian arus yang berbalik arah dengan kumparan jangkar yang berputar dalam medan magnet. Bentuk motor paling sederhana memiliki kumparan satu lilitan yang bisa berputar bebas diantara kutub-kutub magnet permanen.



Gambar 1. Motor DC Sederhana (Pinem, 2009)

Catu tegangan dc dari baterai menuju ke lilitan melalui sikat yang menyentuh komutator, dua segmen yang terhubung dengan dua ujung lilitan. Kumparan satu lilitan pada gambar diatas disebut angker dinamo. Angker dinamo adalah sebutan untuk komponen yang berputar di antara medan magnet.

Motor arus searah dibedakan berdasarkan sumber penguatannya (*exciter*), penggolongan motor arus searah adalah sebagai berikut:

1. Motor DC berpenguatan bebas

Pada motor DC berpenguatan bebas, sumber penguatnya tersendiri, biasanya berupa sumber DC yang lain. Oleh karena itu, kumparan medannya terpisah (tidak memiliki hubungan listrik) dengan kumparan jangkarnya.

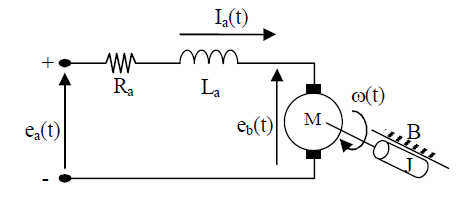
1. Motor DC berpenguatan sendiriMotor DC berpenguatan sendiri tidak memiliki sumber penguat tersendiri. Kumparan medan dihubungkan dengan kumparan jangkar. Berdasarkan hubungan itu, motor DC berpenguatan sendiri dapat dibedakan menjadi:

-. Motor DC seri (kumparan medan seri dengan kumparan jangkar)

-. Motor DC shunt (kumparan medan parallel dengan kumparan jangkar)

-. Motor DC kompon (memiliki dua kumparan lainnya dihubung seri dengan kumparan jangkar, sedangkan kumparan lainnya dihubung paralel dengan kumparan jangkar).

Model fisik dari sebuah motor DC secara lengkap yang menggambarkan bagan elektrik dan mekanik:



Gambar 2. Model fisik motor DC Terkendali Jangkar (Harifuddin, 2008)

1. Model Dinamik motor DC :

Bagian elektrik :

(1)

Bagian mekanik :

(2)

Sifat motor, berlaku: (3)

Sifat generator, berlaku: (4)

1. Model Bagan Kotak :

Berdasarkan model dinamik diatas maka motor arus searah dapat direpresentasikan dalam bentuk bagan kotak, sebagai berikut :



Gambar 3. Model bagan kotak Motor DC Terkendali Jangkar

1. Model Nisbah Alih

Model nisbah alih yang akan dicari, yaitu :

1. Masukan tegangan jangkar , keluaran berupa kecepatan putar ω



1. Masukan tegangan jangkar Ea, keluaran berupa arus jangkar



Asumsikan keadaan awal = 0, maka dapat dilakukan transformasi Laplace dari bagan kotak pada gambar 3 menjadi sebagai berikut :

Maka akan diperoleh gambar 4 sebagai berikut :



Gambar 4(a)

Penyederhanaan model bagan kotak diatas, sebagai berikut :



Gambar 4(b)





Gambar 4(c)



Gambar 4(d)

Gambar 4. Penyederhanaan bagan kotak motor DC Terkendali Jangkar

Analisis Nisbah Alih Motor DC Kendali Jangkar

1. Untuk masukan Ea(s) dan keluaran ω(s) :

Dari gambar diatas maka :

(5)

Dari persamaan (5) terlihat bahwa :

; ;

Dimana :

= Nisbah redaman (damping ratio)

= Frekuensi alamiah tak teredam (*undamped natural frequency*) (rad/sec)

1. Untuk masukan Ia(s) dan keluaran ω(s) :

(6)

(7)

Dari persamaan (6) terlihat bahwa :

;

1. Analisis Kecepatan Putar Motor dan Arus Jangkar :
2. Analisis Kecepatan Putar Motor

(8)

dimana:(9)

Dengan mengsubstitusi persamaan (5) dan (9) ke persamaan (8), maka:

(10)

Sehingga, dapat dicari dengan invers Transformasi Laplace :

(11)

Dimana :

dan

1. Analisis Arus Jangkar

Jika (12)

dan (13)

Dengan memasukkan pers.(6) dan pers.(12) ke persamaan (13), diperoleh :

Sehingga nilai ia(t) diperoleh yaitu:

Dengan menggunakan tabel laplace maka persamaan diatas diubah menjadi:



1. **Roadmap Penelitian**

Beberapa penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan penelitian tesis ini, antara lain:

1. “Pemodelan Dan Pengendalian Motor DC Terkendali Jangkar” oleh Harifuddin (2008). Penelitian ini menjelaskan bahwa pengendalian sebuah motor dimaksudkan untuk memperkecil arus pengasutan saat motor terhubung ke jala-jala, memperkecil adanya pengaruh gangguan terhadap kecepatan motor dan bagaimana mengatur variasi kecepatannya. Metode yang digunakan adalah metode deskriptif dimana data *sheet* sebuah motor dianalisis dengan menggunakan persamaan matematik.
2. “Sistem Kendali Umpan balik (*Feedback Control*) Menggunakan Teknik Pengendalian PID (*Proporsional Integral Derivative*)” oleh A.Y. Erwin Dodu (2009). Penelitian ini menjelaskan mengenai sistem pengendalian yang bisa digunakan untuk memperbaiki performansi suatu sistem dinamis karena terdapat mekanisme umpan-balik dari kondisi aktual (keluaran sistem) ke keadaan yang diinginkan (masukan sistem) sehingga didapatkan *error* yang bisa digunakan untuk mengarahkan kondisi aktual menuju ke keadaan yang diinginkan.Penggunaan PID pada sistem kendali umpan-balik akan semakin mempercepat waktu tanggapan sistem.
3. “Pengembangan Metoda *Self Tuning* Parameter PID *Controller* Dengan Menggunakan *Genetic Algorithm* Pada Pengaturan Motor Induksi Sebagai Penggerak Mobil Listrik” oleh Era Purwanto,dkk (2010). Dalam penelitian ini, metode alternatif yang digunakan adalah *Genetic Algorithm* (GA) yang diimplementasikan untuk mendapatkan kombinasi parameter P, I, dan D dari kontroler PID dalam simulasi pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa sehingga kecepatan motor dapat dipertahankan agar sama dengan kecepatan referensi dalam *steady-state*.
4. “Metode Algoritma Genetika dengan Sistem Fuzzy Logic untuk Penentuan Parameter Pengendali PID” oleh Bhakti Yudho Suprapto dan Sariman (2012). Dalam penelitian ini, Algoritma Genetika dengan sistem Logika Samar (*Fuzzy Logic*) pada sistem motor arus searah dipergunakan untuk mendapatkan parameter pengendali PID yang didasarkan pada nilai *mean square error* (MSE).

Penelitian yang akan dilakukan ini berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Penelitian ini akan membahas pengendalian kecepatan motor arus searah terkendali jangkar dengan pengendali PID tertala berbasis perhitungan nilai akar kuadrat rata-rata.

1. **Kerangka Pikir**

Kerangka pikir pada penelitian ini akan ditunjukkan pada blok diagram berikut:

**Permasalahan**

Penggunaan Pengendali PID dengan metoda Ziegler-Nichols

**Solusi**

Mendesain sistem pengendali agar diperoleh parameter Kp, Ki dan Kd sesuai kriteria performansi yang diharapkan

**Metodologi**

Mengendalikan kecepatan motor DC terkendali jangkar dengan pengendali PID tertala berbasis perhitungan

nilai akar kuadrat rata-rata

**Hasil Penelitian**

Diperoleh parameter Kp, Ki dan Kd yang terbaik

Gambar 5. Kerangka Pikir

**BAB III**

**METODE PENELITIAN**

1. **Pengendali PID**
2. **Respon Sistem**

Respon suatu sistem kontrol selalu menunjukkan osilasi teredam sebelum mencapai *steady-state* (Purwanto, 2009). Penggolongan karakteristik respons transien suatu sistem kendali terhadap masukan tangga satuan secara grafik ditunjukkan pada gambar 6.

Pengelompokan ini didefinisikan sebagai berikut:

1. Waktu naik tr :

Waktu naik adalah waktu yang diperlukan oleh respons untuk naik dari 10% menjadi 90%, 5% menjadi 95%, atau 0% menjadi 100% dari nilai akhir yang biasa digunakan. Untuk sistem atas redaman waktu naik yang biasa digunakan 10% menjadi 90%.

1. *Overshoot* maksimum Mp :

*Overshoot* maksimum adalah nilai puncak kurva respons diukur dari satuan.

1. Waktu *steady-state* ts :

Waktu *steady-state* adalah waktu yang diperlukan untuk merenspons kurva agar dapat mencapai dan tetap berada dalam gugus nilai akhir ukuran yang disederhanakan dengan presentase mutlak harga akhirnya (biasanya 2% atau 5%). Waktu *steady-state* tadi dihubungkan tetapan waktu terbesar sistem kontrol.



Gambar 6. Kurva respon tangga satuan menunjukkan tr, Mp dan ts (Purwanto, 2009)

1. **Kendali PID**

Sesuai dengan namanya, pengendali ini merupakan kombinasi dari tiga sistem kendali yaitu proportional, integral dan derivative. Jika masing-masing dari ketiga pengendali tersebut berdiri sendiri, hasil yang dicapai kurang bagus sebab masing-masing memiliki kelemahan dan kelebihan sendiri-sendiri (Tatang dkk., 2007). Karena itu kombinasi dari ketiga sistem kendali tersebut diharapkan dapat mengeliminasi kelemahan masing-masing dan mampu memberikan kontribusi dari kelebihan masing-masing. Tanggapan sistem kendali PID terhadap perubahan parameter seperti terlihat pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Tanggapan sistem kendali PID terhadap perubahan parameter (Erwin, 2009)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tanggapan loop tertutup** | **Waktu naik** | **Overshoot** | **Waktu turun** | **Kesalahan keadaan tunak** |
| Proporsional (Kp) | Menurun | Meningkat | Perubahan kecil | Menurun |
| Integral (Ki) | Menurun | Meningkat | Meningkat | Hilang |
| Derivative (Kd) | Perubahan kecil | Menurun | Menurun | Perubahan kecil |

Masing-masing kendali dapat bekerja dan diimplementasikan baik secara terpisah maupun kombinasi secara bersamaan dengan tujuan saling melengkapi diantara masing-masing karakteristik kendali tersebut. Penjelasan untuk masing-masing kendali, berikut ini:

Pada aksi kendali proporsional, keluaran sistem kendali akan berbanding lurus dengan masukan dan *error*, dan menghasilkan tanggapan yang cepat. Akan tetapi *overshoot* meningkat sehingga sistem cukup bermasalah terutama saat awal beroperasi.

Untuk kendali integral, keluaran sistem berubah dengan cepat sesuai perubahan *error*, sehingga *error steady state* mendekati nol. Sedangkan aksi kendali derivative bekerja sesuai dengan laju perubahan *error*. Oleh karena itu, kendali ini berfungsi mereduksi laju perubahan *error* sehingga menjaga kestabilan sistem. Dalam perancangan sistem kontrol PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter Kp, Ki dan Kd supaya tanggapan keluaran sistem sesuai yang diinginkan.

Pengendali PID ini paling banyak dipergunakan karena sederhana dan mudah dipelajari serta penalaan parameternya. Lebih dari 95 % proses di industri menggunakan pengendali ini (Sumiati, 2009). Pengendali ini merupakan gabungan dari pengendali proportional (P), integral (I), dan derivative (D).

Secara umum fungsi dari masing-masing kontroler dalam kontroler PID adalah sebagai berikut (Purwanto, 2009):

1. Proportional

* Berfungsi untuk mempercepat terjadinya respons terhadap sinyal *error*.
* Bekerja efektif pada daerah sebelum sistem mencapai daerah *set point* / kondisi start.

1. Integral

* Berfungsi memelihara sinyal kontrol konstan.
* Bekerja efektif pada daerah di mana sistem mencapai *set point*.

1. Derivative

* Berfungsi mendapatkan sinyal kontrol dari perubahan errornya.
* Bekerja efektif pada daerah *transient.*

Berikut ini merupakan blok diagram dari sistem pengendali berumpan balik (*closed loop*) seperti pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Diagram blok sistem pengendali berumpan balik (Sukendar, 2007)

dimana :

Plant : sistem yang akan dikendalikan

Controller : Pengendali yang memberikan respon untuk memperbaiki respon

Error : SP – PV

dengan Set Point (SP) adalah suatu parameter nilai referensi atau nilai yang diinginkan. *Present Value* (PV) adalah variable terukur yang di umpan balikan oleh sensor. Keluaran pengendali PID akan mengubah respon mengikuti perubahan yang ada pada hasil pengukuran sensor dan set point yang ditentukan. Pembuat dan pengembang pengendali PID menggunakan nama untuk mengidentifikasi ketiga model pada pengendali yaitu:

P (Kp) = Konstanta Proportional

I (Ki) = = Konstanta Integral

D (Kd) = = Konstanta Derivative

Atau secara umum persamaannya adalah sebagai berikut (Sumiati, 2009):

(14)

1. **Metode Penalaan Ziegler Nichols**

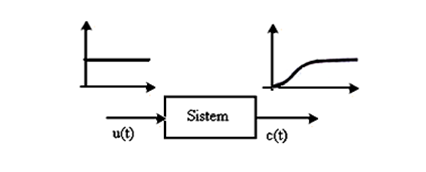
Metode penentuan parameter pengendali PID Ziegler Nichols memiliki kelebihan dibandingkan dengan metode klasik. Salah satu kelebihan tersebut adalah tidak ditekankannya penurunan model matematik komponen yang akan diatur (*plant*).

Penalaan parameter pengendali 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 PID itu dilakukan. Kerena penyusunan model matematik *plant* tidak mudah, maka dikembangkan suatu metode eksperimental. Metode ini didasarkan pada reaksi *plant* yang dikenal suatu perubahan. Dengan menggunakan metode itu model matematik perilaku *plant* tidak diperlukan lagi, karena dengan menggunakan data yang berupa kurva keluaran. Penalaan bertujuan untuk mendapatkan kinerja sistem sesuai spesifikasi perancangan.

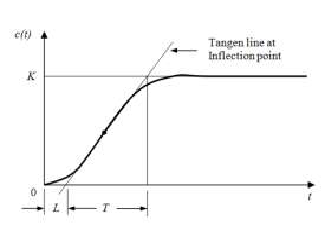
Cara menentukan PID berdasarkan metode penalaan Ziegler-Nichols dilakukan secara eksperimen (asumsi model belum diketahui). Metode ini bertujuan untuk pencapaian *maximum overshoot* (MO) : 25 % terhadap masukan *step*.

Metode *open loop* adalah metode pertama Ziegler-Nichols untuk penalaan kendali PID (Zaidir, 2015) dengan memperoleh secara eksperimen tanggapan *plant* terhadap masukan *unit-step* akan menghasilkan kurva S.

Kurva bentuk S memiliki karakteristik dengan dua buah konstanta, yaitu waktu tunda L dan konstanta waktu T. Kedua parameter tersebut diperoleh dengan menggambar garis tangensial pada titik infleksi dari kurva penalaan PID Ziegler Nichols dan memperoleh perpotongan garis tangensial dengan garis axis waktu dan garis c(t) = K seperti pada gambar 9.



Gambar 8. Tanggapan unit step (Zaidir, 2015)



Gambar 9. Kurva Penalaan PID Ziegler-Nichols (Zaidir, 2015)

Berdasarkan kurva penalaan PID diatas, Zigler-Nichols menentukan parameter Kp, Ti dan Td pada metode pertama berbasis tanggapan undak *open loop* dirangkum pada Tabel 2. Untuk kendali PID yang dirancang dalam paralel atau tiga aksi terpisah maka Ti dan Td harus konversi untuk mendapatkan Ki dan Kd dengan rumus (Zaidir, 2015):

(15)

(16)

Berikut tabel perhitungan nilai PID:

Tabel 2. Aturan penalaan Ziegler Nichols *open loop* (Zaidir, 2015):

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Tipe** | **Kp** | **Ti** | **Td** |
| P | T/L | ~ | 0 |
| PI | 0.9T/L | L/0.3 | 0 |
| PID | 1.2T/L | 2L | 0.5L |

1. ***Root Mean Square* (RMS)**

Nilai *Root Mean Square* (RMS) adalah nilai akar rata-rata kuadrat dari suatu besaran yang berubah sebagai fungsi waktu selama suatu interval waktu t. Untuk perhitungan kesalahan pengukuran kecepatan RMSE (*Root Mean Square Error*) dan perhitungan kesalahan pengukuran tegangan jangkar RMS\_Ea pada setiap waktu t dapat dilihat seperti pada persamaan (17) dan (18).

 (17)

dimana error(t) = ωref – ω(t)

dengan ωref adalah suatu parameter nilai acuan atau nilai yang diinginkan dari putaran nominalnya, sedangkan ω(t) adalah nilai pembacaan sensor saat itu atau variabel terukur yang di umpan balikkan oleh sensor dari kecepatan putar itu sendiri.

 (18)

dimana errorEa(t) = Earef – ea(t)

dengan Earef adalah suatu parameter nilai acuan atau nilai yang diinginkan dari tegangan nominalnya, sedangkan ea(t) adalah nilai pembacaan sensor saat itu atau variabel terukur yang di umpan balikkan oleh sensor dari tegangannya itu sendiri.

1. **Rancangan Penelitian**

Proses perancangan sistem ini dilakukan beberapa tahap, antara lain:



Gambar 10. Diagram Alir Penelitian

**BAB IV**

**PERANCANGAN DAN SIMULASI**

1. **Motor Arus Searah**

Motor arus searah yang digunakan adalah motor arus searah terkendali jangkar tipe 73186 class 0.3. Parameter motor arus searah terkendali jangkar dalam simulasi diberikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter data motor DC Terkendali Jangkar

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **No** | **Parameter** | **Simbol** | **Nilai** | **Satuan** |
| 1 | Daya | P | 0,3 | KWatt |
| 2 | Kecepatan putar nominal | ωnom | 2000 | RPM |
| 3 | Tegangan Jangkar | Ea | 220 | Volt |
| 4 | Arus Jangkar | Ia | 1,8 | Ampere |
| 5 | Tahanan Jangkar | Ra | 12 | Ω |
| 6 | Induktansi Jangkar | La | 0.0080 | Hendry |
| 7 | Momen Inersia | J | 0,177 | Nmsec2/rad |

Sumber: Motor DC Terkendali Jangkar Type 73186 class 0.3 pada Laboratorium Elektronika Daya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Hasanuddin.

Dari data-data yang ada diatas dapat dikonversi ke sistem MKS dan menganalisis parameter lainnya. Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Kecepatan nominal (ωnom)

ωnom = 2000 RPM x 2π/60 = 209,440 rad/sec

1. Konstanta gesekan/*friction* (B)



Dimana nilai T :









Sehingga:

****

****

****

****

1. Konstanta motor (Km)



1. Konstanta GGL lawan (Kb)



Tabel 4. Parameter Motor DC Terkendali Jangkar dan hasil analisis parameter lainnya:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **No.** | **Parameter** | **Simbol** | **Nilai** | **Satuan** |
| 1. | Daya | P | 0,3 | KWatt |
| 2. | Kecepatan putar nominal | ωnom | 2000 | RPM |
| 209,440 | rad/sec |
| 3. | Tegangan Jangkar | Ea | 220 | Volt |
| 5. | Arus Jangkar | Ia | 1,8 | Ampere |
| 6. | Tahanan Jangkar | Ra | 12 | Ω |
| 7. | Momen Inersia | J | 0,177 | Nmsec2/rad |
| 8. | Konstanta gesekan/*friction* | B | 6,837x10-3 | Kg.m2/rad.sec |
| 9. | Konstanta motor | Km | 0,796 | N.m/Amp. |
| 10. | Konstanta GGL lawan | Kb | 0,947 | Volt.sec/rad |
| 11. | Torsi | T | 1,432 | Kg.m2/sec2 |

Sumber : Motor DC Terkendali Jangkar Type 73186 class 0.3 pada Laboratorium Elektronika Daya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Hasanuddin dan hasil analisis.

1. **Motor DC Kendali Jangkar tanpa Gangguan**

Pada kondisi ini motor dalam keadaan normal (*steady state*) dan belum mengalami gangguan, seperti diperlihatkan pada gambar simulink di bawah ini :



Gambar 11. Model simulasi motor DC tanpa gangguan

Berdasarkan gambar simulasi motor DC tanpa gangguan (Gambar 11) diatas pada kecepatan motor ω(t) dan arus jangkar ia(t) hampir mendekati nilai yang tertera pada name *plate* motor DC terkendali jangkar yaitu kecepatan motor sekitar 2000 RPM dan arus jangkar sekitar 1,8 Ampere. Bila simulink diatas di jalankan maka akan terlihat grafik hasil simulasi sebagai berikut :



Gambar 12. Grafik hasil simulasi antara tegangan (Ea), kecepatan motor (omega) alpha dan arus jangkar terhadap waktu tanpa gangguan.

1. **Motor DC Kendali Jangkar dengan Gangguan tanpa Pengendali**

Pada kondisi motor dalam kondisi gangguan seperti diperlihatkan pada gambar simulasi dibawah ini :



Gambar 13. Gambar bagan simulasi motor DC kondisi gangguan

tanpa pengendali

Perubahan kecepatan putaran motor arus searah terjadi seiring dengan perubahan beban, artinya cepat atau lambatnya putaran motor tergantung pada naik atau turunnya beban motor tersebut. Perubahan beban itu sendiri kemudian disebut dengan gangguan (*disturbance*).

Walaupun ada gangguan yang terjadi namun kecepatan putaran motor arus searah sedapat mungkin tetap berputar pada kecepatan nominalnya. Sebagaimana yang telah dijelaskan diatas bahwa yang dimaksud dengan kondisi gangguan adalah seberapa besar perubahan beban yang diberikan ke motor yang berdampak pada perubahan kecepatan motor arus searah.

Berdasarkan gambar simulasi motor DC tanpa pengendali (Gambar 13) diatas jika dijalankan diperoleh RMSE = 68,63 RPM dan RMS\_Ea = 0, dengan grafik hasil simulasi sebagai berikut.



Gambar 14. Grafik hasil simulasi antara tegangan, beban, alpha (sudut penyalaan), arus jangkar, error dan kecepatan putar terhadap waktu tanpa pengendalian.

Nilai besaran gangguan yang terjadi pada arus dan putaran motor pada gambar grafik diatas :

1. Gangguan arus terendah mencapai 0,3396 Ampere sedangkan gangguan arus tertinggi mencapai 3,311 Ampere dari arus nominalnya sebesar 1,8 Ampere.
2. Gangguan putaran terendah terjadi pada 1818 RPM sedangkan gangguan putaran tertinggi mencapai 2177 RPM dari putaran nominalnya sebesar 2000 RPM.

Untuk perhitungan RMSE dan RMS\_Ea pada setiap waktu t dapat dilihat seperti pada persamaan (17) dan (18).



dimana error(t) = ωref – ω(t)



dimana errorEa(t) = Earef – ea(t)

Berdasarkan perhitungan pada persamaan (17) dan (18) jika dijalankan tanpa pengendali diperoleh kesalahan pengukuran kecepatan RMSE sebesar 68,63 RPM (3,4315 %) dan Kesalahan pengukuran tegangan jangkar RMS\_Ea tanpa pengendali 0. Kesalahan pengukuran tegangan jangkar RMS\_Ea = 0 krn tidak ada umpan balik.

1. **Motor Arus Searah Kendali Jangkar Dengan Pengendalian Pada Kondisi Gangguan (*Closed loop Control*)**

Pengendali yang digunakan yaitu kendali Proporsional-Integral-Derivatif (PID). Diperlihatkan potongan grafik hasil simulasi kecepatan motor arus searah terhadap kondisi gangguan tanpa pengendali seperti Gambar 15.



Gambar 15. Potongan grafik hasil simulasi kecepatan motor terhadap waktu dengan gangguan tanpa pengendalian.

Dari gambar grafik diatas diperoleh : L = 0,63 dan T= 1,89.

Sehingga diperoleh :

Kp = 1.2T/L

= 1.2 (1.89/0.63)

= 3.6

Ti = 2L

= 2 x 0.63

= 1.26

Ki = Kp / Ti

= 3.6 / 1.26

= 2.857

Td = 0.5L

= 0.5 x 0.63

= 0.315

Kd = Kp x Td

= 3.6 x 0.315

= 1.134

Dalam membuat pengendalian daur tertutup pada motor arus searah terkendali jangkar, dapat dilihat pada model motor arus searah yang telah dibuat sebelumnya dengan memposisikan saklar pada posisi closed. Selengkapnya dapat dilihat pada gambar simulink berikut ini :



Gambar 16. Gambar bagan simulink motor DC kondisi gangguan dengan pengendali (*closed loop control*)

Bila motor arus searah *closed loop control* dengan inisialisasi sistem PID : Pengendali Proporsional-Integral-Derivative (Kp = 3,6 , Ki = 2,857 , Kd = 1,134), maka diperoleh diperoleh kesalahan pengukuran kecepatan RMSE sebesar 65,99 RPM (3,2995 %) dan kesalahan pengukuran tegangan jangkar RMS\_Ea sebesar 4,362 Volt (1,9827 %) serta dihasilkan grafik tegangan, beban, alpha, error (selisih antara kecepatan putar referensi dengan kecepatan putar yang terukur) dan kecepatan putar seperti pada Gambar 17.



Gambar 17. Grafik hasil simulasi motor arus searah dengan pengendali Kp = 3,6 , Ki = 2,857 dan Kd = 1,134

Dari Grafik hubungan kesalahan pengukuran kecepatan RMSE (RPM) dengan penguatan K untuk K = 1 sampai K = 5 seperti pada Gambar 18.



Gambar 18. Grafik hubungan kesalahan pengukuran kecepatan RMSE (RPM) dengan penguatan K untuk K = 1 sampai K = 5

Dari grafik hubungan kesalahan pengukuran tegangan jangkar RMS\_Ea (Volt) terhadap penguatan K untuk K = 1 sampai K = 5 seperti pada Gambar 19.



Gambar 19. Grafik hubungan kesalahan pengukuran tegangan jangkar RMS\_Ea (Volt) terhadap penguatan K untuk K = 1 sampai K = 5

Dengan Kp = 3,6 , Ki = 2,857 , dan Kd = 1,134 sesuai penalaan Ziegler-Nichols, maka untuk menentukan titik optimum dapat diambil perpotongan dari grafik RMSE dan RMS\_Ea dengan mengambil titik minimum dari selisihnya seperti terlihat pada Gambar 20.



Gambar 20. Grafik hubungan RMSE (%), RMS\_Ea (%) dan selisihnya (%) terhadap penguatan K untuk K =1 sampai K = 5

Dari grafik seperti gambar 20 diatas dapat dianalisis :

1. Semakin besar nilai K maka RMSE semakin kecil dan RMS\_Ea semakin besar.
2. Titik optimum dari RMSE dan RMS\_Ea berada pada titik minimum dari selisihnya yaitu 0,0036 (K = 1,94 , RMSE = 57,9 RPM (2,8950 %) , RMS\_Ea = 6,361 Volt (2.8914 %). Maka diperoleh nilai pengendali PID tertala secara manual sebagai berikut:

Kp = 1,94 x 3,6 = 6,984

Ki = 1,94 x 2,857 = 5,543

Kd = 1,94 x 1,134 = 2,199

Bila motor arus searah *closed loop control* dengan inisialisasi sistem dengan parameter PID hasil penalaan untuk Kp = 6,984 , Ki = 5,543 , Kd = 2,199 , maka diperoleh diperoleh kesalahan pengukuran kecepatan RMSE sebesar 57,9 RPM (2,8950 %) dan kesalahan pengukuran tegangan jangkar RMS\_Ea sebesar 6,361 Volt (2.8914 %) serta dihasilkan grafik tegangan, beban, alpha, error (selisih antara kecepatan putar referensi dengan kecepatan putar yang terukur) dan kecepatan putar seperti pada Gambar 21.



Gambar 21. Grafik hasil simulasi motor arus searah dengan pengendali Kp = 6,984 , Ki = 5,543 , dan Kd = 2,199 hasil penalaan

Perbandingan RMSE tanpa pengendali, RMSE dengan pengendali PID dengan metode Ziegler Nichols serta RMSE pengendali PID dengan memperhitungkan RMS\_Ea seperti diberikan pada tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan RMSE tanpa pengendali, RMSE dengan pengendali PID dengan metode Ziegler Nichols dan RMSE dengan pengendali PID dengan memperhitungkan RMS\_Ea.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| RMSE  Tanpa Kendali (%) | RMSE Dengan Kendali PID dengan metode Ziegler Nichols(%) | RMSE Dengan Kendali PID dengan Memperhitungkan RMS\_Ea (%) |
| 3,4315 | 3,2995 | 2,8950 |

1. **Penalaan Otomatis**

Untuk menentukan parameter PID tertala dengan metode Ziegler Nichols secara otomatis dengan memperhitungkan RMSE (RPM) dan RMS\_Ea (Volt) sebagai masukannya pada pengendali. Selengkapnya dapat dilihat pada gambar bagan berikut ini,



Gambar 22. Gambar Bagan simulasi motor arus searah kondisi gangguan dengan pengendali tertala.

Model subsistem pengendali tertala dari bagan simulasi motor arus searah dapat dilihat pada gambar bagan berikut ini,



Gambar 23. Gambar subsistem pengendali tertala dari bagan

simulasi motor arus searah.

Bila motor arus searah *closed loop control* dengan inisialisasi sistem dengan parameter PID tertala untuk k = 0,045 , maka diperoleh gain K sebesar 2,663 seperti terlihat pada gambar 24 berikut,



Gambar 24. Grafik hasil simulasi motor arus searah dengan

pengendali tertala untuk k = 0,045

Dari grafik hasil simulasi motor arus searah dengan pengendali tertala untuk k = 0,045 diperoleh gain K sebesar 2,663. Maka diperoleh nilai pengendali PID tertala secara otomatis sebagai berikut:

Kp = 2,663 x 3,6 = 9,587

Ki = 2,663 x 2,857 = 7,608

Kd = 2,663 x 1,134 = 3,019

**BAB V**

**KESIMPULAN**

Dari hasil simulasi diatas dapat diambil beberapa kesimpulan :

* + - 1. Untuk kesalahan pengukuran kecepatan RMSE tanpa pengendali 68,63 RPM (3,4315 %), RMSE dengan pengendali PID dengan metode Ziegler Nichols 65,99 RPM (3,2995 %) serta RMSE dengan pengendali PID dengan memperhitungkan RMS\_Ea 57,9 RPM (2,8950 %) selama 80 detik dan mengalami gangguan koefisien gesek sekitar 20 detik.
      2. Kesalahan pengukuran tegangan jangkar RMS\_Ea tanpa pengendali 0, dengan pengendali PID dengan metode Ziegler Nichols sebesar 4,362 Volt (1,9827 %) serta dengan pengendali PID dengan memperhitungkan RMS\_Ea sebesar 6,361 Volt (2.8914 %). Kesalahan pengukuran tegangan jangkar RMS\_Ea = 0 karena tidak ada umpan balik.
      3. Dari hasil pengendali PID tertala untuk Gain k = 2,663 diperoleh Kp = 9,587 , Ki = 7,608 , dan Kd = 3,019. Dengan nilai Kp, Ki dan Kd tersebut, sistem dapat berjalan dengan baik dengan mempertahankan kecepatan putaran motor mendekati setpoint.

**DAFTAR PUSTAKA**

Pinem, A. 2009. Pengaturan Kecepatan Motor DC Dengan Integral Siklus Kontrol (Aplikasi Pada Laboratorium Konversi Energi Listrik FT-USU) (Skripsi). Medan: Universitas Sumatera Utara.

Bobal, Vladimir. *1999.* Self-Tuning PID Controller. *Department of Automatic* *Control, Faxculty of Technology Zlin: Proceedings of the 7th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED99) Haifa, Israel - June 28-30.*

Purwanto E., Mukti W., & Soebagio. 2009. Pengembangan Metoda *Self Tuning* Parameter PID Controller Dengan Menggunakan *Genetic Algorithm* Pada Pengaturan Motor Induksi Sebagai Penggerak Mobil Listrik, Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi, di Yogyakarta 20 Juni.

Erwin, S. 2009. Kontrol *Proporsional Integral Derivatif* (PID) Untuk Motor DC Menggunakan Personal Computer. Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Telkom Bandung.

Harifuddin. 2008. Pemodelan dan Pengendalian Motor DC Terkendali Jangkar. Jurnal MEDIA ELEKTRIK, Volume 3 Nomor 1, Juni.

Ogata K. 1991. Teknik Kontrol Automatik –terjemahan: Ir. Edi Laksono, Jakarta:Erlangga.

Tatang S & Berayan M. 2007. Sistem Pengaturan Motor AC Servo Dengan Kontroller PID *Self Tuning* Berbasis *Fuzzy Logic*. Jurnal DiSainTek Vol. 01, No. 01, Desember.

Thomas N & Poongodi P. 2009. Position Control of DC Motor Using Genetic Algorithm Based PID Controller.*Proceedings of the World Congress on Engineering Vol II WCE 2009, London, U.K – July 1-3.*

Ruzita S. 2009. Analisis Pengendalian Motor DC Menggunakan Logika PID Dengan Mikro Kontroler ATMEGA 8535. Jurnal Teknik Mesin Vol. 6, No. 2, Desember.

Zaidir J. 2015. Implementasi Kendali PID Penalaan Ziegler Nichols Mengunakan Mikrokontroler. Jurnal Informatika, Vol.15, No.1, Juni.