

RANCANG BANGUN MODUL PRAKTIKUM MOTOR AC DENGAN APLIKASI PENGATURAN POSISI DENGAN MENGGUNAKAN PID

Nurfaizah M.*, Didi Istardi. MSc.*, dan Handri Toar S.ST.*

* Batam Polytechnics
Mechatronics Engineering study Program
Parkway Street, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia
E-mail: istardi@polibatam.ac.id
nurfaizah_m.ali@yahoo.com

Abstrak

Penggunaan motor AC 3 fasa saat ini banyak digunakan didunia industri untuk mencapai kecepatan putaran motor yang diinginkan, maka dibutuhkan sistem kendali kecepatan motor. Saat mengatur posisi sebuah motor AC 3 fasa sering terjadi *over shoot* dan *setting time* yang lama, untuk itu dibutuhkan sebuah metode pengontrolan yang dapat mengatasi kekurangan tersebut. Pada penelitian ini menggunakan metode kontrol PID untuk menghasilkan output yang konstan dan untuk mengurangi nilai *error* saat mengatur posisi motor. Keluaran dari PID selanjutnya di *absolute* kan untuk menghilangkan tegangan negatif yang dikeluarkan PID, kemudian keluaran dari *absolute* akan masuk ke inverter Altivar 312 agar motor dapat berputar kearah *forward*, *reverse* atau stop. Hasil percobaan menunjukkan motor dapat berputar sesuai dengan *set point* dengan rata-rata error terbesar 2.6 %. Pengontrolan posisi motor AC memiliki tingkat keberhasilan sebesar 80 %. Kesalahan pembacaan posisi disebabkan karena terjadi kerusakan pada potensiometer.

Kata kunci : *Motor AC, PID, absolute, inverter Altivar 312, potensiometer.*

Abstract

The use of 3-phase AC motor is currently widely used industrial world to achieve the desired motor rotation speed, so required motor speed control system. When adjusting the position from 3 phase AC motors are common over-shoot and setting a long time, for it takes a control method that can overcome these shortcomings. In this study using PID control method to produce a constant output and to reduce the error rate when setting the position of the motor. The output of the PID further in absolute right to eliminate negative voltage issued PID. Then the output of the absolute will get into the inverter Altivar 312 so that the motor can rotate toward the forward, reverse or stop. The results showed the motor can rotate in accordance with the set point with an average of 2.6% biggest error. Controlling position of AC motor has a success rate of 80%. Error of read position happened due to damage from the potentiometer.

Keyword : Motor AC, PID, absolute, inverter Altivar 312, potentiometer

1. Pendahuluan

Motor AC merupakan jenis motor yang paling banyak digunakan dibidang industri dibandingkan motor jenis lain. Ini dikarenakan motor AC tiga fasa memiliki banyak keunggulan. Tetapi terdapat juga suatu kelemahan dari motor AC tiga fasa yaitu kesulitan dalam mengatur kecepatan. Karena pengaturan kecepatan motor AC tiga fasa pada dasarnya dapat dilakukan dengan mengubah jumlah kutub motor atau mengubah frekuensi suplai motor. Pengaturan kecepatan dengan mengubah jumlah kutub sangat sulit karena dilakukan dengan merubah konstruksi fisik motor, jadi pengaturannya akan sangat terbatas sedangkan pengaturan kecepatan motor AC tiga fasa dengan mengubah frekuensi suplai motor akan jauh lebih mudah dan tidak terbatas tanpa harus merubah konstruksi fisik motor.

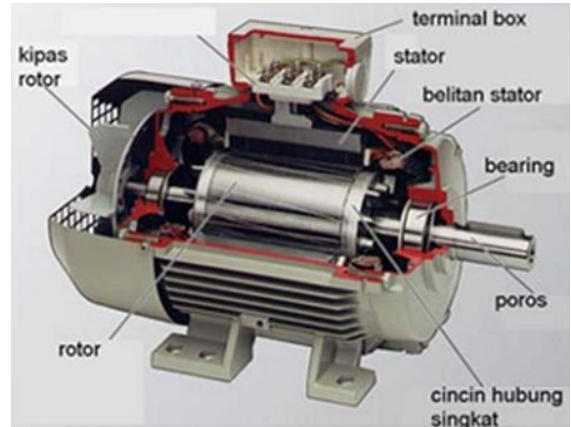
Dalam paper ini dibuat suatu modul untuk mengatur posisi motor AC dengan menggunakan kontroler PID. Mungkin dalam Penggunaan metode PID dalam kontrol motor sudah banyak sekali digunakan. Terutama kontrol motor AC yang banyak sekali aplikasinya di dunia industri. Biasanya dalam kontrol kecepatan motor. Dalam TA ini motor AC juga dipasang inverter altivar 312 sebagai driver motor AC. Motor AC yang digunakan adalah motor AC dengan tegangan 220 volt dengan menggunakan metode kontrol PID.

2. Dasar Teori

2.1 Motor AC

Motor induksi merupakan motor arus bolak – balik (AC) yang paling luas digunakan dan dapat dijumpai dalam setiap aplikasi industri maupun rumah tangga. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan arus stator.

Motor ini memiliki konstruksi yang kuat, sederhana, handal, serta berbiaya murah. Di samping itu motor ini juga memiliki efisiensi yang tinggi saat berbeban penuh dan tidak membutuhkan perawatan yang banyak. Akan tetapi jika dibandingkan dengan motor DC, motor induksi masih memiliki kelemahan dalam hal pengaturan kecepatan. Dimana pada motor induksi pengaturan kecepatan sangat sukar untuk dilakukan, sementara pada motor DC hal yang sama tidak dijumpai.^[1]



Gambar 2.1 Motor AC 3 Fasa

2.1 Inverter Altivar 312

Inverter merupakan alat atau komponen yang cukup banyak digunakan karena fungsinya untuk mengubah listrik DC menjadi AC. Meskipun secara umum tegangan AC digunakan sebagai tegangan masukan/input dari inverter tersebut. *inverter* digunakan untuk mengubah kecepatan-kecepatan motor listrik/servo motor atau biasa disebut dengan *converter drive*. Hanya saja untuk motor servo lebih dikenal dengan *servo drive*. Dengan menggunakan *inverter* motor listrik akan menjadi *variable speed*, kecepatannya bisa diubah-ubah atau di *setting* sesuai dengan kebutuhan. *Inverter* seringkali disebut sebagai *variable speed drive (VSD)* atau *Variable Frequency Drive (VFD)*.

Prinsip kerja *inverter* adalah mengubah input motor (listrik AC) menjadi DC dan kemudian dijadikan AC kembali dengan frekuensi yang dikehendaki sehingga motor dapat dikontrol sesuai dengan kecepatan yang diinginkan. Fungsi *inverter* adalah untuk merubah kecepatan motor AC dengan cara merubah frekuensi *output* nya:

F =frekuensi (Hz)

P =jumlah kutub

Jika sebelumnya banyak menggunakan sistem mekanis, kemudian beralih ke motor slip maka saat ini banyak yang menggunakan semikonduktor. Tidak seperti *soft starter* yang mengolah level tegangan, *inverter* menggunakan frekuensi tegangan keluaran motor pada kondisi ideal (tanpa slip).

Merubah kecepatan motor menggunakan *inverter* akan membuat torsi lebih besar, presisi kecepatan dan torsi yang tinggi, control beban menjadi dinamis untuk berbagai aplikasi motor, menghemat *energy*, menambah kemampuan monitoring dan sebagai pengamanan dari motor, mesin(beban) bahkan proses dan lain sebagainya.

2.3 PID (Proportional Integral Derivative)

PID (*Proportional Integral Derivative*) controller merupakan kontroler untuk menentukan kepresisian suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik (*feed back*) pada sistem tersebut. Komponen PID terdiri dari 3 jenis, yaitu *Proportional*, *Integratif* dan *Derivative*. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri, tergantung dari respon yang kita inginkan.^[5]

1.3.1 Pengendali Proportional

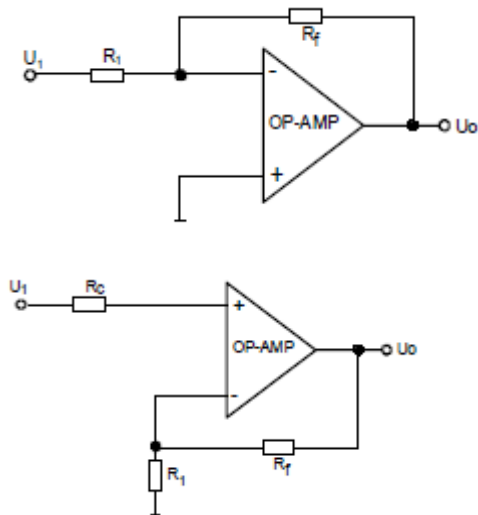
Kontroler *proposional* memiliki keluaran sinyal kontrol yang sebanding *proposional* dengan besarnya perubahan nilai *error* (selisih antara nilai *setpoint* sistem dengan nilai aktual pembacaan sensor). Dapat dikatakan, bahwa keluaran kontroler *proporsional* merupakan perkalian antara nilai konstanta *proporsional* dengan nilai *error*. Sehingga Kontroler *Proporsional* memberi pengaruh langsung (sebanding) pada *error* yaitu semakin besar *error*, semakin besar sinyal kendali yang dihasilkan Kontroler *Proporsional*.

Sinyal kesalahan (*error*) merupakan selisih antara nilai *setpoint* dengan nilai aktual yang terbaca. Selisih ini akan mempengaruhi kontroler, untuk mengeluarkan sinyal positif (mempercepat pencapaian nilai *setpoint*) atau negatif (memperlambat tercapainya nilai yang diinginkan).

Ciri-ciri kontroler proporsional harus diperhatikan ketika kontroler tersebut diterapkan pada suatu sistem. Secara eksperimen, pengguna kontroler *proporsional* harus memperhatikan ketentuan-ketentuan berikut ini:

1. Jika nilai K_p kecil, kontroler *proporsional* hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat.
2. Jika nilai K_p dinaikkan, respon sistem menunjukkan semakin cepat mencapai keadaan *steady state* nya.
3. Namun jika nilai K_p diperbesar sehingga mencapai harga yang berlebihan, akan mengakibatkan sistem bekerja tidak stabil, atau respon sistem akan berosilasi.^[4]

Pada rangkaian dibawah tegangan output tergantung pada tegangan input (dengan faktor skala pembalik). Rangkaianya dengan menggunakan OP-AMP seperti gambar 2.2 berikut ini.



Gambar 2.2 Rangkaian OP-Amp

Gambar 2.4 untuk menentukan tegangan output (U_o) sebagai hasil pengontrolan:

$$U_o = -\frac{R_f}{R_1} \cdot U_1 = k \cdot U_1 \quad (2.1)$$

Besarnya faktor pengontrolan:

$$k = \frac{U_o}{U_i} = -\frac{R_f}{R_1} \quad (2.2)$$

Sedangkan untuk menentukan tegangan output (U_o) adalah:

$$U_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \cdot U_1 = k \cdot U_1 \quad (2.3)$$

Dengan faktor pengontrolan:

$$k = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \quad (2.4)$$

2.3.2 Pengendali Integral

Perubahan Sinyal kontrol sebanding dengan perubahan *error*. Semakin besar *error* yang terjadi semakin besar juga sinyal kontrol bertambah/berubah.

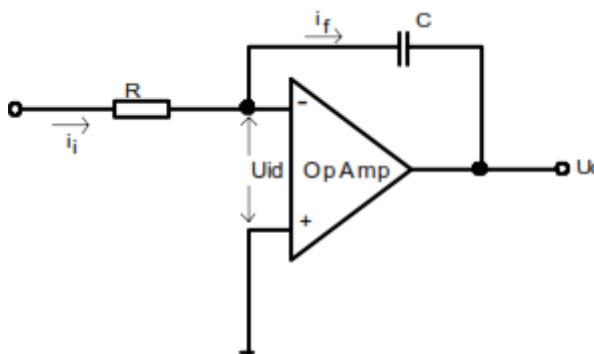
Kontroler integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan mantap nol. Kalau sebuah *plant* tidak memiliki unsur *integrator* (1/s), kontroler proporsional tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan mantapnya nol. Dengan kontroler integral, respon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

Sinyal keluaran kontroler integral merupakan luas bidang yang dibentuk oleh kurva kesalahan penggerak - lihat konsep numerik. Sinyal keluaran akan berharga sama dengan harga sebelumnya ketika sinyal kesalahan berharga nol.

Rangkaian *integrator* yang menggunakan OP-AMP hampir sama dengan rangkaian-rangkaian "closed loop" lain yang menggunakan umpan balik resistor. Bedanya di sini umpan baliknya menggunakan kapasitor (C). Lebih jelasnya lihat rangkaian integrator (Gambar 2.3) berikut ini beserta persamaan analisisnya.



Gambar 2.3 Rangkaian Integrator dengan OP-AMP

$$U_o = -\frac{1}{R.C} \int U_i dt = -\frac{1}{R.C} \int U_i (t)dt \quad (2.5)$$

2.3.3 Kontrol Diferensial (D)

Besarnya sinyal control sebanding dengan perubahan *error* (Δe). Semakin cepat *error* berubah, semakin besar aksi kontrol yang ditimbulkan.

Keluaran kontroler diferensial memiliki sifat seperti halnya suatu operasi *derivatif*. Perubahan yang mendadak pada masukan kontroler, akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat.

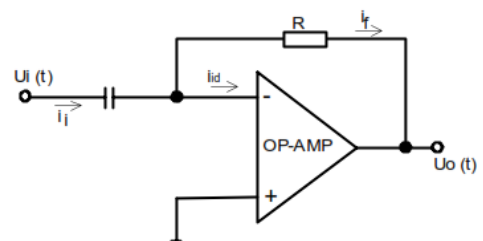
Karakteristik kontroler diferensial adalah sebagai berikut :

1. Kontroler ini tidak dapat menghasilkan keluaran bila tidak ada perubahan pada masukannya (berupa sinyal kesalahan).
2. Jika sinyal kesalahan berubah terhadap waktu, maka keluaran yang dihasilkan kontroler tergantung pada nilai T_d dan laju perubahan sinyal kesalahan.
3. Kontroler diferensial mempunyai suatu karakter untuk mendahului, sehingga kontroler ini dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum pembangkit kesalahan menjadi sangat besar. Jadi kontroler diferensial dapat mengantisipasi

pembangkit kesalahan, memberikan aksi yang bersifat korektif, dan cenderung meningkatkan stabilitas sistem.

Berdasarkan karakteristik kontroler tersebut, kontroler diferensial umumnya dipakai untuk mempercepat respon awal suatu sistem, tetapi tidak memperkecil kesalahan pada keadaan tunaknya. Kerja kontroler diferensial hanyalah efektif pada lingkup yang sempit, yaitu pada periode peralihan. Oleh sebab itu kontroler diferensial tidak pernah digunakan tanpa ada kontroler lain sebuah sistem.

Rangkaian diferensiator yang menggunakan OP-AMP, hampir sama dengan rangkaian integrator, hanya saja umpan baliknya dan tahanan depan ditukar. Gambar 2.4 berikut ini menunjukkan rangkaian diferensiator.



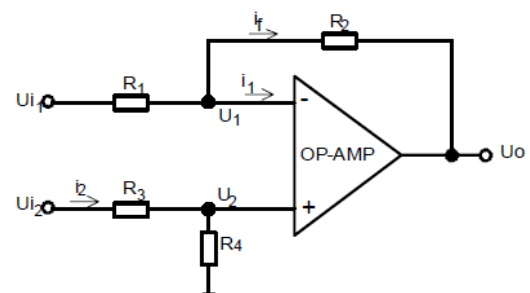
Gambar 2.4 Rangkaian Diferensiator

Jadi,

$$U_o(t) = -R.C \frac{dU_i(t)}{dt} \quad (2.6)$$

2.4 Rangkaian Differential Amplifier

Rangkaian *differential amplifier* ini merupakan rangkaian pengurang yang menggunakan OP-AMP pada dasarnya saling mengurangkan dari dua buah inputnya. Gambar 2.5 menunjukkan rangkaian OP-AMP sebagai *differential amplifier* (penguat beda) atau pengurang "subtractor"



Gambar 2.5 Ilustrasi parameter derivatif

Dengan menggunakan pembagi tegangan pada "node" "non inverting":

$$U_2(t) = \frac{R_4}{R_4+R_3} \cdot U_{i2} \quad (2.7)$$

$$U_o = \frac{R_2}{R_1} (U_{i2} - U_{i1}) = \frac{R_4}{R_3} (U_{i2} - U_{i1}) \quad (2.8)$$

$$U_o = \frac{R_f}{R} (U_{i2} - U_{i1}) \quad (2.9)$$

Jika persamaan ini dibuat seperti ketentuan pemisahan di atas, yaitu $R=R_4=R_f$ dan $R_1=R_3=R$, maka persamaan menjadi:

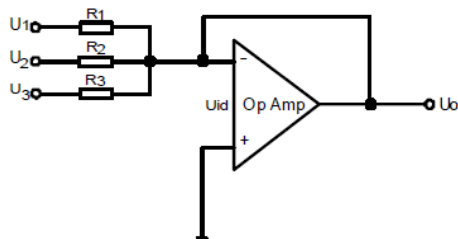
$$U_o = \frac{R_4}{R_3+R_4} \cdot \frac{R_1+R_2}{R_1} \cdot U_{i2} - \frac{R_2}{R_1} \cdot U_{i1} \quad (2.10)$$

$$U_o = \frac{R_f}{R+R_f} \cdot \frac{R+R_f}{R} \cdot U_{i2} - \frac{R_f}{R} \cdot U_{i1} \quad (2.11)$$

$$U_o = \frac{R_f}{R} \cdot U_{i2} - \frac{R_f}{R} \cdot U_{i1} \quad (2.12)$$

2.5 Penguat Penjumlah (Summing Amplifier)

Salah satu penggunaan rangkaian OP-AMP adalah pada penguat penjumlah (*summing amplifier*). Rangkaian penguat ini penguatan tegangan ditentukan oleh resistor (tahanan) pada masing-masing input dan tahanan umpan baliknya. Gambar berikut (Gambar 2.6) menunjukkan rangkaian penguat penjumlah. Rangkaian ini dianalisis dalam bentuk operasi fungsi linier.



Gambar 2.6 Rangkaian *Summing Amplifier*

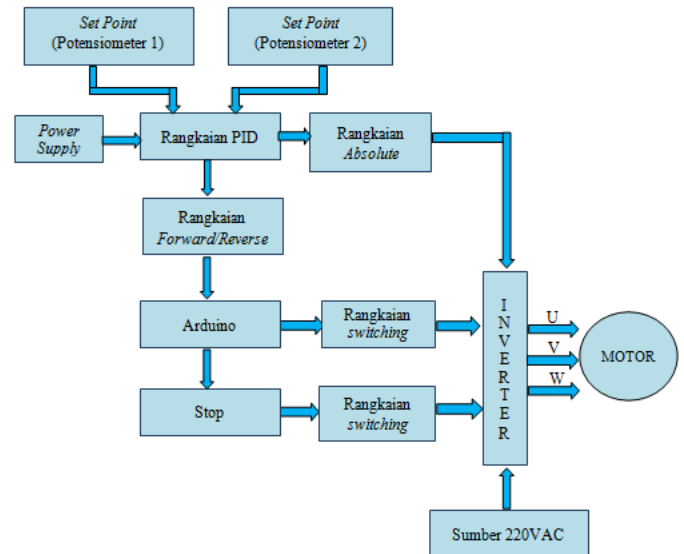
Besarnya tegangan output (U_o) tergantung pada tahanan depan (R_{11} , R_{21} dan R_{31}) pada masing masing tegangan input (U_1 , U_2 , dan U_3) serta tergantung pada tahanan umpan balik (R_f). Sehingga besarnya U_o adalah:

$$U_o = - \left[\left(\frac{R_f}{R_1} \cdot U_1 \right) + \left(\frac{R_f}{R_2} \cdot U_2 \right) + \left(\frac{R_f}{R_3} \cdot U_3 \right) \right] \quad (2.13)$$

$$U_o = - \left[\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} \right] R_f \quad (2.14)$$

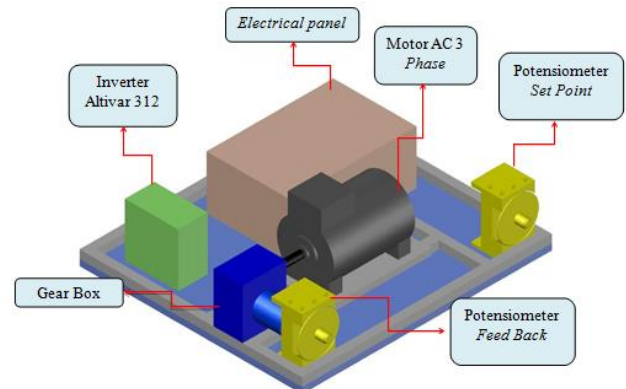
4. Perancangan Sistem

Perancangan sistem alat ini secara umum dapat dilihat pada gambar 3.1 diatas, dimana input pemrosesan berasal dari potensiometer yang kemudian diproses oleh PID kontroler yang kemudian mengeluarkan output untuk motor AC. Selain itu potensiometer juga digunakan sebagai *feedback* PID.



Gambar 3.1 Blok Diagram

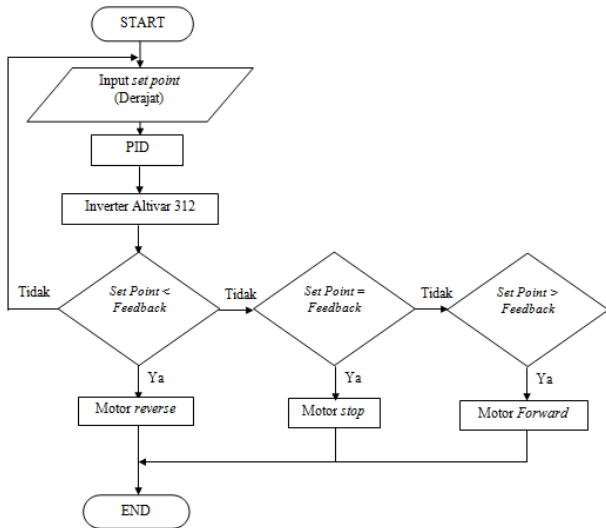
Perancangan perangkat keras pada alat ini terdiri dari dua, yaitu perancangan mekanik dan perancangan elektronik. Seperti yang dapat dilihat pada gambar 3.2 dibawah, bahan mekanik alat ini terbuat dari Papan dan aluminium siku. Alat ini menggunakan sebuah motor ac 220 volt, kemudian motor dikopel dengan *gear box* dan kembali dikopel dengan potensiometer *feedback*. Ukuran Keseluruhan Alat adalah 600mm x 535 mm x 200 mm.



Gambar 3.2 Perancangan 3D

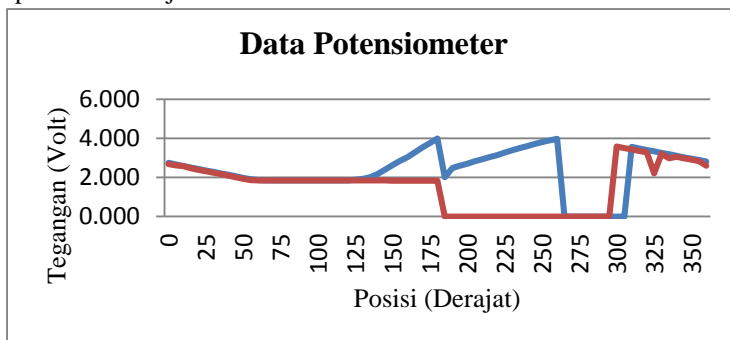
Flow chart dibawah merupakan keseluruhan sistem pengontrolan posisi motor AC :

1. Pada saat nilai *set point* diberikan berupa tegangan, PID mengeksekusi input dari potensiometer *set point* dan *feedback*.
2. Keluaran dari PID akan masuk ke inverter Altivar 312, dari keluaran Inverter altivar 312 akan mengatur motor agar dapat berputar *forward*, *reverse* atau *stop*.



4. Analisa dan Hasil

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana potensiometer ini dapat bekerja dengan akurat. Tegangan keluaran dari potensiometer diukur pada setiap putaran 5 derajat.



Gambar 4.1 Data tegangan pada potensiometer *setpoint* dan *feedback*

Gambar 4.1 menjelaskan data tegangan pada potensiometer *set point* dan *feedback*. Dimana pada posisi sudut 0 sampai 65 derajat berada pada tegangan 2.746 volt sampai 1.853 volt . Ditemukan juga kesamaan tegangan pada posisi sudut 120 sampai 155 derajat dengan tegangan dari 1.848 volt sampai 2.843 volt.

Dari data tegangan pada potensiometer *set point* ini terdapat tegangan yang tidak stabil dan terukur dengan tegangan yang sama pada beberapa derajat. Seperti pada tabel dibawah:

Tabel 4.1 Hasil pengukuran tegangan pada keseluruhan posisi

Potensiometer (Derajat)	Potensiometer (volt)
0~65	2.1~1.1
65~120	1.1~2.1

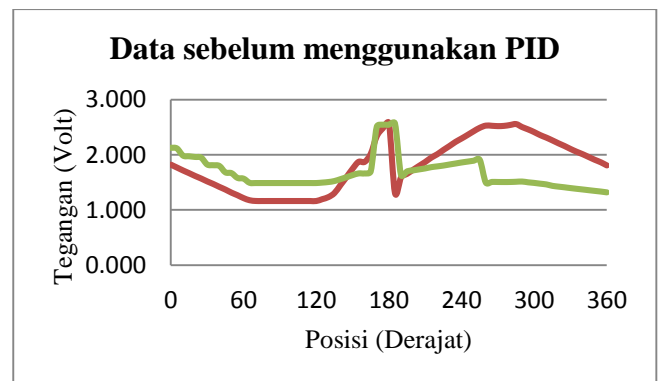
120~180	2.1~3.1
180~270	3.1~2.1
270~360	2.1~4.1

Terdapat juga tegangan yang tidak mengalami perubahan, contohnya seperti pada posisi sudut 70 sampai 105 derajat dengan tegangan tetap 1.852 volt. Sedangkan pada data potensiometer *feedback*, data tegangan yang diperoleh tidak bagus karena tegangan yang tidak berubah-ubah.

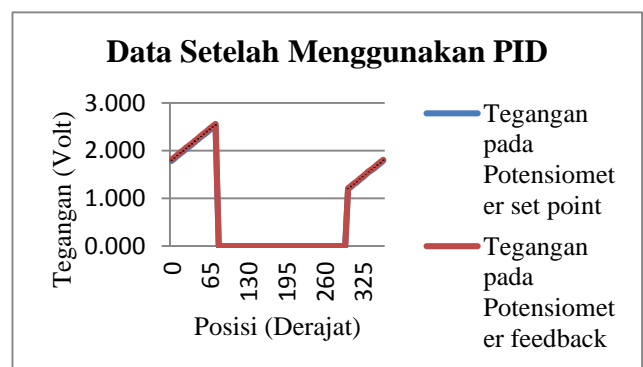
Dari gambar 4.1 dapat disimpulkan bahwa potensiometer yang dipakai tidak sesuai untuk alat ini, karena data tegangan pada potensiometer tidak stabil. Agar data lebih linear, potensiometer harus berfungsi dengan maksimal dari sudut 0 sampai 360 derajat dengan tegangan 0volt sampai 5volt apabila tegangan input potensiometer sebesar 5 volt.

Setelah didapatkan selisih tersebut, maka dapat diperoleh persentase kesalahan dari alat ini. Berikut adalah rumus untuk mencari persentase kesalahan :

$$\text{Selisih} = \frac{(\text{nilais}et - \text{nilai}_{aktual})}{\text{nilais}et} \times 100\%$$



Gambar 4.2 Pengujian data sebelum menggunakan PID



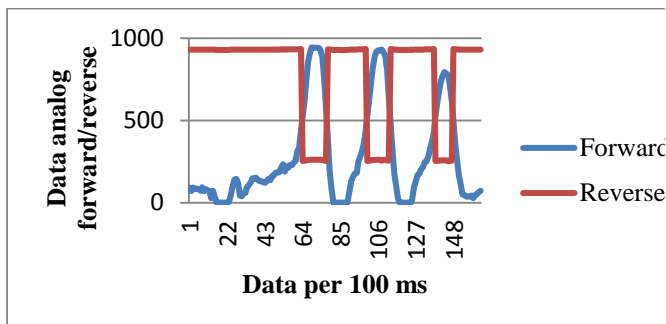
Gambar 4.3 Pengujian data sesudah menggunakan PID

Gambar 4.2 merupakan data pengujian potensiometer sebelum masuk ke PID, data ini diperoleh dari keluaran rangkaian *differential amplifier*. Dari

rangkaian *differential amplifier* selanjutnya masuk ke rangkaian *absolute*, kemudian dari keluaran ini diperoleh data seperti pada gambar 4. 3. Data ini belum bagus karena dari posisi sudut *setpoint* dengan *feedback* tidak sama dan sangat jauh. Contohnya seperti yang terlihat pada gambar 4.2 diatas pada saat *setpoint* 0 derajat, *feedback* bernilai 345 derajat.

Ketika menggunakan PID seperti pada gambar 4.3 diatas pada saat *set point* berada pada posisi sudut 0 derajat *feedback* bernilai 0 derajat juga. Tetapi ada juga data yang error ketika menggunakan PID yaitu pada posisi sudut 80 sampai 295 derajat, hal ini disebabkan oleh potensiometer yang bermasalah. Pada posisi sudut 300 sampai 360 derajat, tegangan pada *set point* sebesar 1.195 volt sampai 1.178 volt. Pada posisi sudut 0 sampai 75 derajat, tegangan yang terukur adalah 1.195 volt sampai 2.521 volt. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tegangan pada posisi sudut 0 sampai 75 derajat lebih besar dibandingkan dengan tegangan pada posisi sudut 300 sampai 360 derajat.

Dari perbandingan pengujian data sebelum dan sesudah menggunakan PID, *feedback* lebih susah mencapai *set point*. Sedangkan setelah menggunakan PID *feedback* lebih mudah mencapai *set point* dan dapat bertahan dengan posisi yang sama.



Gambar 4.4 Pengujian data *Forward/Reverse*

Dari gambar 4.4 merupakan pengambilan data analog dari rangkaian *forward/reverse*, dari grafik ini dapat dilihat bahwa nilai analog dibawah 300 sama dengan nilai 0 digital. Sedangkan pada nilai analog diatas 900 sama dengan nilai 1 digital.

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari laporan paper ini adalah :

1. Setiap aksi kontrol mempunyai keunggulan tertentu, dimana aksi kontrol proporsional mempunyai keunggulan *rise time* yang cepat, aksi kontrol integral mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error* dan aksi kontrol *derivative* mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error* atau meredam *overshot*.

2. Sistem Kontroler PID sangat mementingkan pengujian yang terus menerus pada tiap tingkatan perilakunya.
3. Penerapan kontroler PID pada alat ini telah mampu membuat pergerakan motor tersebut menjadi stabil dan mampu membuat motor mencapai posisi yang diinginkan.
4. Alat ini bekerja dengan baik pada range 0 sampai 75 derajat dan range 300 sampai 360 derajat dengan waktu rata-rata 3 detik. Besarnya nilai error disebabkan oleh potensiometer yang digunakan tidak berfungsi dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] Pengontrolan Posisi motor servo AC dengan metoda Pengaturan "Volt/Hertz". [Online]: <http://scholar.googleusercontent.com> [Oct 05, 2014]
- [2] Mujang Dwi, "Teknik Listrik & Elektronika" internet: <http://mujangdwi.blogspot.com/?m=1>, Jan. 23, 2013 [Oct 05, 2014]
- [3] Implementasi Sistem Navigasi Behavior Based dan Kontroler PID pada Manuver Robot Maze. Internet:<http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-16404-Paper1143783.pdf> [08 Nov 2014]
- [4] Seekic, "Circuit Diagram" internet: http://www.seekic.com/circuit_diagram/index1296.html; Jun. 25, 2009 [Dec 28, 2014]
- [5] NM Hartono, "Makalah pengaturan posisi motor servo DC dengan kontroler PID" http://repo.eepis_its.edu/1337/1/Makalah_pengaturan_posisi_motor_servo_DC_dengankontroler_P,_PI,_PID.pdf, Jul. 12, 2012 [Oct 05, 2014]