

PENGUNAAN TEKNIK KONTROL PID PADA SISTEM PENGENDALI KEKENTALAN CAT

The Use of PID Control Techniques on The Paint Viscosity

Paniran¹, Syafarudin Ch², Zamhari Ratib³

¹Jurusan Teknik elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

Email : paniran@unram.ac.id¹; syafaruddin71@yahoo.com²; zamharie@gmail.com³

ABSTRAK

Dalam sebuah proses pengecatan, tingkat kekentalan cat sangat menentukan hasil pengecatan. Secara tradisional kekentalan cat ditentukan dengan perkiraan, sehingga hasil campuran pertama dan selanjutnya tidak seragam. Sistem pengendali kekentalan cat digunakan untuk mempermudah dalam menentukan kekentalan cat. Proses pembacaan kekentalan dilakukan dengan memanfaatkan cepat atau lambat putaran motor DC melalui sensor kecepatan dan motor DC tersebut di kopel dengan benda putar yang dimasukkan langsung ke dalam cat yang diukur kekentalannya. Hasil baca sensor kecepatan dikonversi ke dalam persen kekentalan dan ditampilkan pada LCD, sehingga proses penyeragaman kekentalan dapat dilakukan. Dengan demikian, sistem ini diharapkan dapat dimanfaatkan untuk mempermudah dalam proses pengecatan tembok sehingga hasil pengecatan lebih merata. Pada sistem ini diterapkan suatu teknik kontrol PID dengan tujuan agar sistem dapat bekerja secara optimal.

Dari hasil pengujian sistem pengendali kekentalan cat, semakin besar volume air yang bercampur cat dengan volume tetap maka persentase kekentalan semakin turun dan sebaliknya semakin besar volume cat yang bercampur air dengan volume tetap maka persentase kekentalan semakin naik. Pada proses *tunning* parameter PID menggunakan MATLAB, dengan menggunakan metode *Trial and error* didapatkan nilai $K_p=22,69$, $K_i=30,25$, dan $K_d=4,25$ dan nilai-nilai tersebut dimasukkan langsung ke dalam program Arduino UNO. Hasil kalkulasi nilai PID oleh Arduino UNO dimanfaatkan untuk memilih kran kendali yang akan digerakkan, sehingga sistem dapat bekerja secara otomatis dalam menentukan kekentalan.

Kata Kunci : Kekentalan, Cat, Kekentalan, PID, *Trial dan Error*, Arduino UNO

ABSTRACT

In the painting proses, the value of viscosity of the paint is very important. Traditionally the value of viscosity is determined inaccurately by an approximation method, so it may result different color between the first and subsequent mixtures. The paint viscosity control system is used to make it easier to determine the viscosity of the paint. The viscous readout process is performed by utilizing the fast or slow rotation of the DC motor through the speed sensor and the DC motor is coupled with a rotary object that is inserted directly into the paint as measured by its viscosity. Speed sensor reading results are converted to percent viscosity and displayed on the LCD, so that viscosity uniformity can be made. Thus, the system is expected to be utilized to facilitate the process of painting the walls so that the painting more evenly. In this system applied a PID control technique with the aim that the system can work optimally.

The experiment results show that the greater of the volume of water added in the paint the lower of viscosity percentage and vice versa the greater the volume of paint mixed with water, the higher the percentage of the viscosity. In MATLAB verification, the tuning process of the PID parameters using trial and error method are obtained using MATLAB software. The best value of PID parameters are $K_p = 22.69$, $K_i = 30.25$, and $K_d = 4.25$. The achieved values are used to write the script of Arduino UNO code. The calculation result of the PID value by Arduino UNO is used to select control valves that have to be driven, so the system can work automatically in determining the viscosity.

Keywords: Viscosity, Paint, Water, PID, *Trial and Error*, Arduino UNO

PENDAHULUAN

Dalam proses pengecatan terdapat beberapa tahapan, salah satunya adalah proses pelarutan cat dengan pencairnya. Dalam proses pelarutan cat,

sebagian besar masyarakat masih menggunakan cara-cara tradisional. Cara tradisional yang dimaksud yaitu mencampur cat dan pencair cat dengan cara diperkirakan seberapa banyak cat yang dibutuhkan

dituangkan ke suatu wadah, setelah itu larutan pencair cat dituangkan sedikit demi sedikit sampai di peroleh tingkat kekentalan yang diinginkan. Cara menentukan kekentalan yang diinginkan sangat sederhana yaitu dengan mengangkat pengaduk dan melihat jatuhnya cat pada tempatnya, dalam hal ini kemampuan melihat serta memperkirakan nilai kekentalan cat melalui jatuhnya cat sangat dibutuhkan. Jika nilai kekentalan cat yang dibutuhkan kurang dari yang diperkirakan maka, akan dilakukan pelarutan ulang, sehingga untuk menyamakan hasil pencampuran pertama dengan hasil pencampuran selanjutnya sangat sulit dicapai.

Berdasarkan cara tradisional yang telah dipaparkan diatas, maka muncul ide penulis untuk merancang suatu sistem pengendali kekentalan cat dan pada sistem tersebut diterapkan teknik kontrol PID. Dengan menggunakan teknik kontrol PID, alat ini diharapkan mampu menentukan tingkat kekentalan cat serta dapat bekerja secara optimal.

Rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini yaitu, bagaimana merancang kran kendali untuk mendapatkan tingkat kekentalan yang diinginkan. Bagaimana merancang transducer untuk membaca tingkat kekentalan yang diinginkan, dan bagaimana merancang kontrol PID untuk mengendalikan tingkat kekentalan cat yang diinginkan.

Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu, sistem atau alat yang dibuat hanya digunakan dalam proses pengecatan, dalam proses penentuan kekentalan cat, warna cat diabaikan, dan cat yang digunakan dalam jenis cat tembok dengan air sebagai pencairnya.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui metode mendapatkan tingkat kekentalan cat sesuai dengan yang diinginkan dan untuk mengetahui metode mengendalikan kekentalan cat dengan kontrol PID agar tetap stabil.

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah untuk mempermudah serta dapat meningkatkan efisiensi dalam proses pengecatan, sistem yang dibuat dapat digunakan oleh masyarakat luas atau usaha-usaha kecil yang membuka jasa pengecatan, dan untuk penulis sendiri, dapat menambah wawasan dan pengetahuan mengenai sistem pengendalian otomatis.

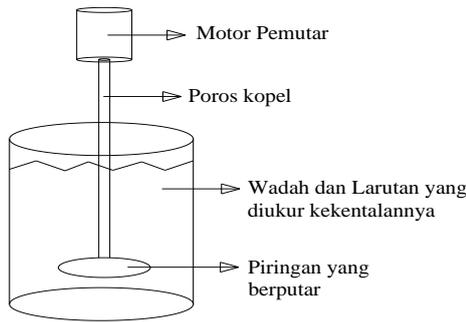
Alkaff melakukan penelitian yang berjudul "*Sistem Kendali Kekentalan Cat Dalam Proses Pengecatan*" dan bertujuan untuk mengetahui cara mengendalikan

kekentalan cat agar tetap stabil. Dalam perancangannya, Alkaff, 2002, menggunakan motor mixer sebagai transducer untuk mengaduk sekaligus untuk membaca kekentalan cat melalui putaran motor mixer, dalam hal ini modul kendali yang digunakan memiliki rangkaian yang terdiri dari 3 buah IC yaitu CD4029BM (merupakan *presetable binary decade up/down counter*), AD7510DI (merupakan *Protected analog switch*) dan MC14528B (merupakan *dual monostable multivibrator*). Dalam perancangan ini, Alkaff tidak menggunakan metode kontrol seperti kontrol PID, PLC, dan lain sebagainya. Dalam kesimpulannya, Alkaff, 2002, menyarankan, untuk menghasilkan kinerja yang lebih baik pada alat ini dapat ditambahkan suatu rangkaian yang dapat mengingat derajat kekentalan sesuai dengan yang diinginkan (Alkaff, 2002).

Viscositas. Adalah besaran yang mengukur gesekan fluida. Satuan viskositas adalah $N.s/m^2$. Satuan viskositas yang lain adalah $dyne.s/cm^2$, satuan ini juga disebut poise (P). Umumnya, koefisien viskositas dinyatakan dalam cP (centipoise = 0,001 P) (Abdullah, 2016).

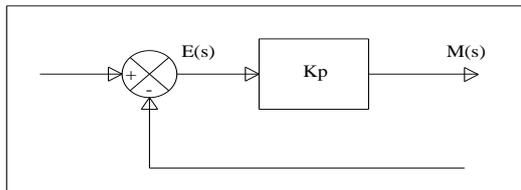
Viskometer. Adalah alat yang digunakan untuk mengukur viskositas fluida. Untuk cairan dengan viskositas yang berbeda dengan kondisialiran, alat yang digunakan disebut *Rheometer*. Alat ukur kekentalan hanya mengukur dengan satu syarat yaitu adanya aliran (Abdullah, 2016).

Metode rotating disk. Merupakan penentuan kekentalan dimana larutan yang akan diukur dimasukkan ke suatu wadah tertentu dan kemudian larutan tersebut diaduk dengan piringan berputar (*Rotating Disc*). Piringan berputar tersebut diputar menggunakan sebuah motor dengan kecepatan konstan. Apabila larutan yang diukur mempunyai kekentalan yang tinggi maka kecepatan putar motor akan menjadi lambat dan apabila kekentalannya rendah maka kecepatan putar motor menjadi lebih cepat. Perubahan kecepatan putar inilah yang digunakan untuk mengetahui perubahan nilai kekentalannya (Alkaff, 2002).



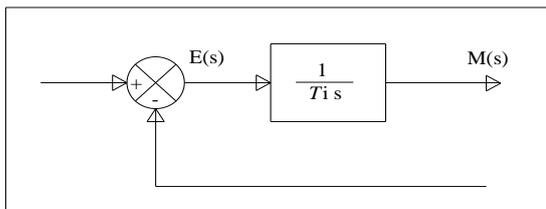
Gambar 1 Alat ukur kekentalan metode rotating disk

Kontroler proporsional. Memiliki keluaran yang sebanding atau proporsional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisihan tara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya). Secara lebih sederhana dapat dikatakan bahwa keluaran kontroler perproporsional merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan masukannya. Perubahan sinyal masukan akan segera menyebabkan system secara langsung mengubah kelurannya sebesar konstanta pengalinya (Ogata, 1996).



Gambar 2 Diagram blok kontrolerproporsional

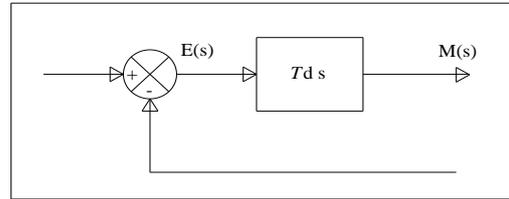
Kontroler integral. Berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan mantap sama dengan nol. Jika sebuah plant tidak memiliki unsur integrator (1/s), kontroler proporsional tidak akan mampu menjamin keluaran system dengan kesalahan keadaan mantapnya nol. Dengan kontroler integral, respon system dapat diperbaiki, yaitu mempunyai kesalahan keadaan mantap-nya sama dengan nol (Ogata, 1996).



Gambar 3 Diagram blok kontrolerintegral

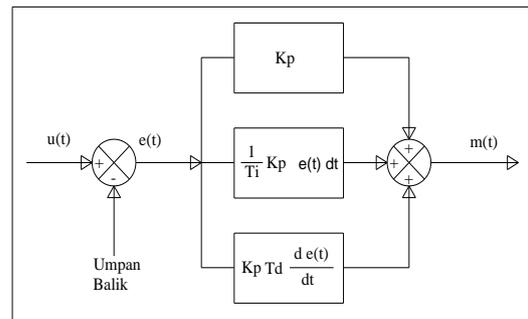
Kontroler drivatif. Memiliki sifat seperti halnya operasi derivatif. Perubahan yang

mendadak pada masukan kontroler, akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. (Ogata, 1996)



Gambar 4 Diagram blok kontrolerdrivatif

Kontroler PID. Merupakan gabungan ketiga elemen secara paralel. Elemen-elemen controller *P*, *I* dan *D* masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar (Pitowarno, 2007).



Gambar 5 Diagram blok kontrolerPID

Arduino UNO. Adalah sebuah papan (*board*) mikrokontroler yang didasarkan pada ATmega328p. Gambar 6 memperlihatkan bentuk *board* arduino UNO.



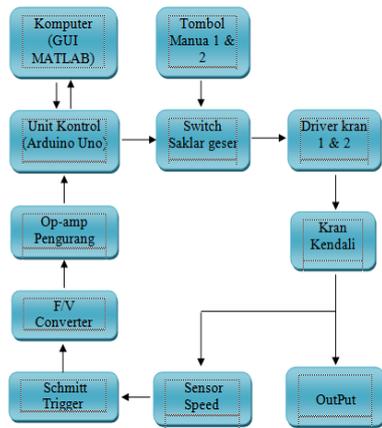
Gambar 6 Arduino UNO (Santoso, 2015).

Arduino UNO mempunyai 14 pin digital input/output (6 di antaranya dapat digunakan sebagai *output* PWM, 6 *input* Analog, sebuah *osilator* Kristal 16MHz, sebuah koneksi USB, sebuah *powerjack*, sebuah *ICSP header*, dan sebuah tombol *reset*. Arduino UNO memuat semua yang dibutuhkan untuk menunjang mikrokontroler,

mudah menghubungkannya ke sebuah computer dengan sebuah kabel USB atau mensuplainya dengan sebuah adaptor AC ke DC atau menggunakan baterai untuk memulainya.

METODE PERANCANGAN

Sistem pengendali kekentalan cat dirancang sesuai dengan diagram blok yang diperlihatkan pada Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7 Diagram blok sistem pengendali kekentalan cat

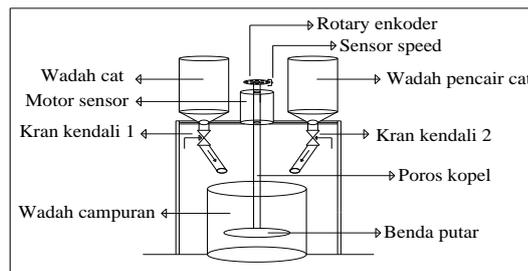
Berdasarkan Gambar7, cara kerja dari sistem pengendali kekentalan cat ini ada 2 macam yaitu cara kerja manual dan cara kerja otomatis.

Cara kerja manual yaitu pada saat tombol manual 1 ditekan maka akan terjadi aliran cat ke wadah campuran dan begitu juga pada saat tombol manual 2 ditekan maka akan terjadi aliran cat cair ke wadah campuran. Hasil campuran antara cat dan cat cair akan diaduk oleh pengaduk dan akan di deteksi kekentalan hasil campurannya melalui putaran motor sensor yang di kopel dengan sensor putaran dan hasil pendeteksian akan ditampilkan pada display LCD 16x2. Cara ini bertujuan untuk mengetahui tingkat perbandingan pencampuran cat dan cat cair yang diinginkan dan nilai hasil pendeteksian dijadikan nilai *setpoint* pada cara kerja otomatis.

Cara kerja otomatis yaitu dalam cara kerja otomatis ini akan diterapkan sistem kontrol PID dimana nilai kekentalan hasil dari cara kerja manual akan digunakan sebagai nilai *setpoint* pada cara kerja otomatis ini. Sebelum menerapkan sistem otomatis, telah dilakukan tuning parameter PID dan hasil tuning parameter PID dimasukkan pada program

Arduino UNO. Kemudian, setelah parameter tersebut dimasukkan pada program Arduino UNO, maka Arduino UNO akan mengontrol pergerakan masing-masing kran kendali melalui masing-masing *Driver* kran kendali, sehingga terjadi aliran cat dan cat cair melalui masing-masing kran kendali. Hasil campuran cat dan cat cair akan diaduk oleh pengaduk dan dibaca oleh sensor melalui kecepatan putaran motor sensor. Semakin tinggi kekentalan cat maka kecepatan putaran motor sensor semakin lambat dan sebaliknya semakin kurang kekentalan cat tersebut maka kecepatan putaran motor sensor semakin cepat. Dalam pembacaan kecepatan putaran digunakan sensor kecepatan putaran (*Optocoupler*).

Desain konstruksi sistem. Dibuat seperti yang diperlihatkan pada Gambar 8. Terdapat tiga buah wadah yaitu wadah cat, wadah cat cair dan wadah campuran. Dua buah kran kendali yaitu kran kendali 1 untuk kendali aliran cat dan kran kendali 2 untuk kendali aliran cat cair. Pengaduk dibuat seperti pengaduk pada mixer. Pengaduk akan digabungkan dengan transducer dimana pada transducer tersebut terdapat benda putar yang berfungsi untuk mendeteksi gesekan putaran dengan cat yang sudah tercampur dengan cat cair yang terdapat dalam wadah campuran. Untuk sensor kecepatan digunakan sensor *optocoupler* dengan piringan enkodernya yang dikopel dengan poros motor sensor.

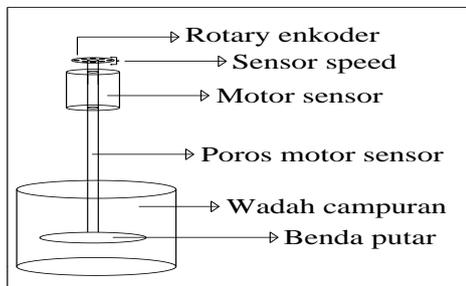


Gambar 8 Model konstruksi sistem

Pengaduk. Dibuat menggunakan motor DC 38v 1,8A seri D06D304E dan dibuat juga sebuah *gearbox* pengaduk yang bertujuan untuk meningkatkan torsi pengadukan. Mata pengaduk dibuat seperti mata mixer.

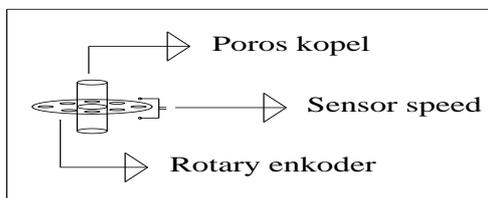
Transducer. Dibuat dengan model seperti yang diperlihatkan pada Gambar 9. Dimana transducer tersebut dibuat dengan menggunakan beberapa bahan seperti motor

DC, optocoupler type U, piringan enkoder (*rotary encoder*), benda putar dan batang poros yang difungsikan untuk memperpanjang poros motor DC.



Gambar 9 Model transducer sistem

Sensor kecepatan. Berfungsi untuk mendeteksi kecepatan putar dari motor sensor. Sensor kecepatan dibuat dengan menggunakan *optocoupler type U* dan sebuah piringan enkodernya yang di kopel dengan poros motor sensor. Gambar 10 menunjukkan model sensor kecepatan yang telah dibuat.



Gambar 10 Model sensor kecepatan

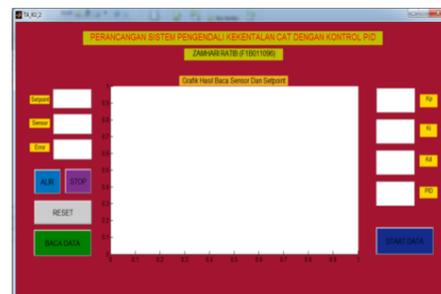
PEMBAHASAN

Hasil perakitan keseluruhan mekanik dan elektronik sistem pengendali kekentalan cat diperlihatkan pada Gambar 11 berikut.



Gambar 11 Hasil keseluruhan mekanik dan elektronik alat

GUI MATLAB. Dibuat dan difungsikan untuk melihat grafik respon dari hasil baca sensor dan nilai *setpoint* serta penerapan teknik kontrol PID. Gambar 12 menunjukkan bentuk GUI MATLAB yang telah dibuat.

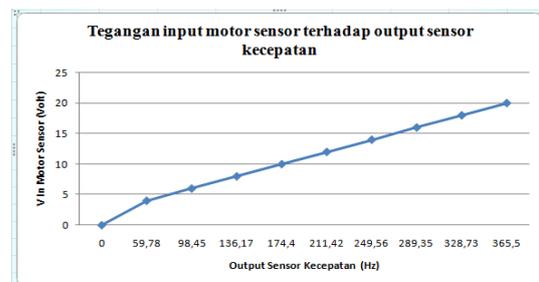


Gambar 12 Hasil pembuatan GUI MATLAB

Fungsi tombol-tombol yang ada pada GUI MATLAB antara lain:

1. Tombol ALIR dan Tombol STOP
Tombol ALIR pada GUI MATLAB berfungsi untuk mengalirkan cat saja. Sedangkan tombol STOP untuk menghentikan aliran cat.
2. Tombol BACA DATA
Tombol BACA DATA pada GUI MATLAB berfungsi untuk menjalankan pembacaan nilai *Setpoint* dan nilai sensor dan hasilnya ditampilkan dalam grafik.
3. Tombol START DATA
Tombol START DATA berfungsi untuk menjalankan sistem otomatis alat kendali kekentalan cat. Pada tombol ini telah diterapkan sistem PID.
4. Tombol RESET
Tombol RESET berfungsi untuk mereset pembacaan sensor dan *setpoint*

Hasil ukur output sensor kecepatan. Diperlihatkan pada Gambar 13 grafik tegangan input terhadap output sensor kecepatan.



Gambar 13 Grafik tegangan input terhadap output sensor kecepatan

Dari Gambar 13 hasil ukur output sensor kecepatan diatas dapat dilihat bahwa, semakin besar tegangan yang diberikan pada motor sensor maka output sensor kecepatan yang berupa frekuensi juga semakin besar.

Hasil ukur output LM2917.Diperlihatkan pada tabel 1 hasil ukur output LM2917.

Tabel 1 Hasil ukur output LM2917

V supply LM2917 (Volt)	F in ukur di multimeter (Hz)	Vo LM2917 di LCD (Volt)	Vo LM2917 di multimeter (Volt)
12,49	0	0	0
12,49	80	1,81	1,801
12,49	90	2,06	2,058
12,49	100	2,26	2,264
12,49	120	2,72	2,723
12,49	140	3,12	3,101
12,49	160	3,63	3,545
12,49	180	4,05	3,988
12,49	200	4,51	4,43
12,49	220	4,97	4,88

Dari Tabel 1 hasil ukur output LM2917 dapat dilihat bahwa semakin besar nilai frekuensi yang diinputkan pada LM2917 maka output LM2917 yang dihasilkan semakin besar. Artinya, frekuensi input berbanding lurus dengan output LM2917.

Perhitungan output LM2917 dilakukan dengan menggunakan persamaan (1).

$$V_{o_hitung} = V_z \cdot xF_{in} \cdot xC_1 \cdot xR_1 \cdot xK \dots\dots\dots(1)$$

Dimana nilai V_z , C_1 , R_1 , dan K telah diketahui melalui datasheet LM2917. Persentase error (% error) hasil pembacaan dengan LCD dan multimeter dapat dihitung dengan persamaan (2).

$$\% \text{ error} = \frac{V_{ohitung} - V_{oukur}}{V_{ohitung}} \times 100 \% \dots\dots\dots(2)$$

Adapun hasil perhitungan output LM2917 dan prosentaseerror dapat dilihat pada Tabel 2beikut ini.

Tabel 2Hasil perhitungan output LM2917

F input LM2917 (Hz)	Vo LM2917 di LCD (Volt)	Vo LM2917 di multimeter (Volt)	Vo LM2917 hasil hitung (Volt)	% error LCD (%)	% error (multimeter) (%)
0	0	0	0	0	0
80	1,81	1,801	1,814	0,22	0,71
90	2,06	2,058	2,041	0,93	0,83
100	2,26	2,264	2,268	0,35	0,17
120	2,72	2,723	2,721	0,036	0,07
140	3,12	3,101	3,175	1,73	2,33
160	3,63	3,545	3,628	0,055	2,28
180	4,05	3,988	4,082	0,78	2,30
200	4,51	4,43	4,536	0,57	2,33

220	4,97	4,88	4,989	0,38	2,18
-----	------	------	-------	------	------

Dari Tabel 2 diatas dapat dilihat bahwa, pembacaan V_o LM2917 dengan LCD dan *multimeter* cukup mendekati hasil hitung V_o LM2917 sehingga menyebabkan prosentaseerror yang dihasilkan cukup kecil. Hal ini membuktikan bahwa hasil baca dengan LCD dan *multimeter* cukup akurat.

Pengukuran kekentalan cat secara manual.Ditujukan untuk mengetahui perubahan persentase kekentalan cat. Tabel 3 menunjukkan hasil pengukuran kekentalan cat secara manual.

Tabel 3 Hasil pengukuran kekentalan cat secara manual

Pengukuran	Volume cat (Liter)	Persentase kekentalan cat (%)
1	1,5	99,88
2	1,7	99,88
3	2	99,87
4	2,3	99,88
5	2,5	99,87

Dari Tabel 3 diatas dapat dilihat bahwa, dengan lima kali pengukuran dan dengan volume cat yang berbeda, persentase kekentalan cat yang dihasilkan adalah sama. Dalam pengukuran ini, cat belum dicampur dengan bahan pencairnya dan persentase kekentalan yang dihasilkan menunjukkan nilai persentase kekentalan maksimum cat.

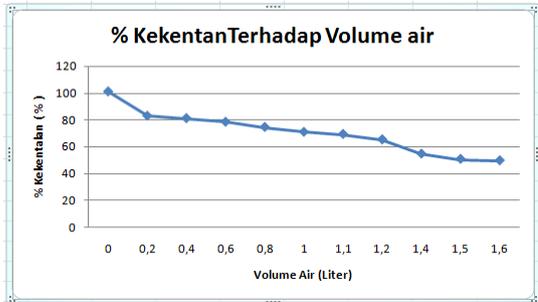
Pengukuran kekentalan air secara manual.Ditujukan untuk mengetahui perubahan persentase kekentalan air. Tabel 4 menunjukkan hasil pengukuran kekentalan air secara manual.

Tabel 4 Hasil pengukuran kekentalan air secara manual

Pengukuran	Volume air (Liter)	Persentase kekentalan air (%)
1	1,5	48,39
2	1,7	48,39
3	2	48,39
4	2,3	48,39
5	2,5	48,39

Dari Tabel 4 diatas dapat dilihat bahwa, dengan lima kali pengukuran dan dengan volume air yang berbeda, persentase kekentalan air adalah sama. Dalam pengukuran ini, air belum dicampur dengan bahan cat dan persentase kekentalan yang dihasilkan menunjukkan nilai persentase kekentalan maksimum air.

Pengukuran kekentalan bahan secara manual. Ditujukan untuk mengetahui perubahan persentase kekentalan hasil campuran kedua bahan (cat dan air). Gambar 14 menunjukkan hasil pengukuran kekentalan campuran bahan secara manual.



Gambar 14 Grafik tegangan input terhadap output sensor kecepatan

Dari Gambar 14 dapat dilihat bahwa, semakin tinggi volume air yang ditambahkan maka persentase kekentalan yang dihasilkan semakin kecil.

Fungsi alih motor DC. Ditentukan dengan persamaan (3) dan bertujuan untuk mempermudah dalam proses tuning parameter PID.

$$\frac{\theta(s)}{e_a(s)} = \frac{nK}{s(JLs^2 + (bLa + JRa)s + bRa + K K_b)} \dots\dots (3)$$

Untuk data parameter motor DC yang digunakan di perlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Data parameter motor DC

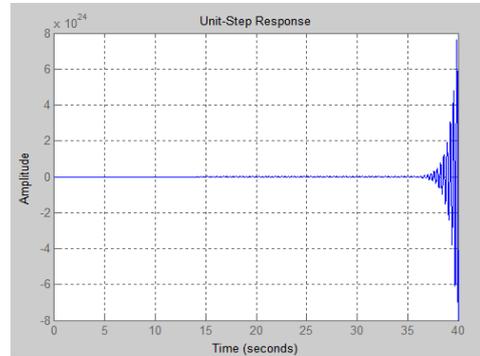
Parameter	Nilai	Satuan
J	0,0006	Nm.S ² /Rad
b	0,000047	Nm.s/Rad
K	0,048	Nm/A
Kb	0,0328	Volt.s/Rad
Ra	48,98	Ω
La	0,005	H
N	9,6	-

Setelah nilai parameter motor DC yang terdapat pada Tabel 5 dimasukkan pada persamaan (3) maka didapatkan persamaan fungsi alih motor DC yaitu:

$$\frac{\theta(s)}{e_a(s)} = \frac{0,4608}{s(3x10^{-6} s^2 + 0,0293s + 3,8744x10^{-3})} \dots\dots (4)$$

Tuning parameter PID. Pada awalnya dilakukan dengan menggunakan metode

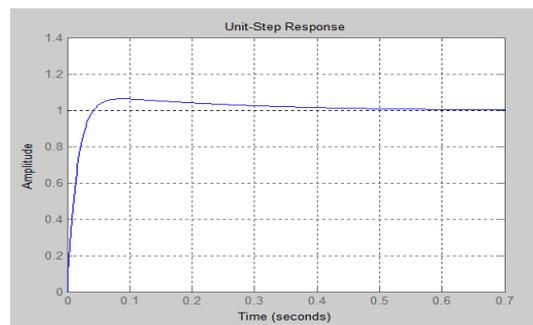
osilasi *Ziegler-Nichols*. Adapun grafik hasil tuning parameter PID dengan metode tersebut diperlihatkan pada Gambar 15.



Gambar 15 Grafik hasil tuning dengan metode osilasi *Ziegler-Nichols*

Berdasarkan Gambar 15, kriteria grafik yang diinginkan tidak didapatkan sehingga dapat dikatakan metode osilasi *Ziegler-Nichols* tidak dapat diterapkan dalam sistem ini. Adapun kriteria grafik yang dimaksud yaitu, memiliki *Overshoot* sekecil mungkin, memiliki *rise time* yang cepat atau *nilai rise time* sekecil mungkin, dan tidak memiliki (*steadystate*) error.

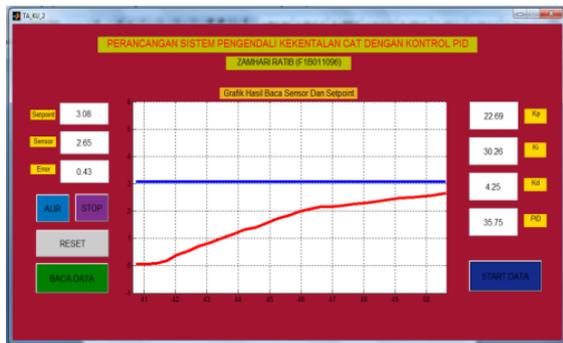
Karena metode osilasi *Ziegler-Nichols* tidak bisa diterapkan, maka tuning parameter PID dilakukan dengan metode yang lain yaitu metode *Trial dan Error*. Adapun hasil grafik dari Metode *Trial dan error* adalah:



Gambar 16 Grafik hasil tuning dengan metode *Trial dan Error*

Dari Gambar 16, didapatkan nilai *Rise time* = 0,0273, *Overshoot* = 6,2% dan *steadystate* = 1. Karna nilai-nilai tersebut cukup kecil maka didapatkan parameter PID yaitu $K_p=22,698$, $T_i=0,75$, dan $T_d=0,1875$.

Pengujian kontrol PID. Dilakukan dengan memasukkan nilai parameter PID pada kolom-kolom yang disediakan di GUI MATLAB yang telah dibuat. Adapun contoh hasil pengujiannya diperlihatkan pada Gambar 17 berikut ini.



Gambar 17 Contoh hasil pengujian kontrol PID dengan GUI MATLAB

KESIMPULAN

Setelah melalui tahap perencanaan, perancangan dan pembuatan serta pengukuran, ada beberapa hal yang dapat disimpulkan, yaitu:

1. Sensor kecepatan yang digunakan dalam proses pembacaan kekentalan cat bekerja dengan baik, hal ini dibuktikan dengan perubahan output sensor kecepatan yang berbanding lurus dengan kecepatan putar motor sensor.
2. Semakin besar frekuensi yang diinputkan pada IC LM2917 maka tegangan output yang di keluarkan oleh IC LM2917 juga semakin besar.
3. Besarnya output tegangan yang di keluarkan oleh IC LM2917 tidak lebih dari tegangan zener IC LM2917.
4. Dalam penelitian ini, op-amp pengurang dapat digunakan untuk menyesuaikan rentang output IC LM297 yang diinginkan.
5. Dalam penelitian ini, tuning parameter PID dengan metode osilasi *Ziegler-Nichols* tidak dapat dilakukan karna tidak ditemukan respon sistem yang beresilasi dengan magnitude tetap.
6. Dalam penelitian ini, tuning parameter PID dilakukan dengan metode *Trial dan Error*, yaitu parameter PID hasil hitung dari metode osilasi *Ziegler-Nichols* yang telah dilakukan dirubah sehingga didapatkan nilai respon yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., 2016, *Fisika Dasar I*, Institut Teknologi Bandung.
- Alkaff, Z., 2002, *Perancangan Sistem Pengendali Kekentalan Pada Proses Pengecatan*, Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Mataram.
- Ogata, K., 1996, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1 Edisi Kedua*, Erlangga, Jakarta.
- Pitowarno, E., 2007, *Robotika Desain, Kontrol, Dan Kecerdasan Buatan*, Penerbit Andi.
- Santoso, H., 2015, *Panduan Praktis Arduino Untuk Pemula V1*, Trenggalek.