

SISTEM KONTROL KECEPATAN MOTOR PADA ALAT PEMBUAT ES PUTER DENGAN METODE PID

Alvidiano Octareza Alvin, Tarmukan, Hariyadi
 DIV Teknik Elektronika, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang
 Jl. Soekarno Hatta No. 09, Malang 65144
 alvidianooctareza@gmail.com

Abstrak—Pembuatan “es puter” selama ini dilakukan dengan cara memutar tabung menggunakan tangan secara berulang – ulang (secara manual) yang membutuhkan tenaga besar dan waktu lama. Karena dilakukan secara manual maka kecepatan yang dihasilkan kurang stabil. Mesin ini dirancang untuk digunakan sebagai pembuat Es Puter, mulai dari bahan baku adonan hingga menjadi Es Puter (es krim) yang bekerja dengan kecepatan stabil agar mendapat hasil optimal serta mudah cara pengoperasiannya. Sehingga waktu pembuatan yang lebih cepat. Alat ini bekerja dengan menerapkan motor untuk menggerakkan tabung bagian dalam dengan kecepatan yang diatur sesuai set point, dengan motor diprogram berputar dalam 2 arah sesuai dengan set point yang diinginkan dan dilakukan berulang – ulang untuk mendapatkan kecepatan yang paling sesuai dan mendapatkan hasil es krim yang terbaik. Maka dari itu dilakukan penelitian agar dapat menjaga kestabilan kecepatan motor. Kontrol menggunakan metode *PID tuning* Zighler-Nichols untuk mengontrol motor DC sebagai aktuatornya dan *rotary encoder* sebagai sensor kecepatan yang berfungsi sebagai *feedback*. Dalam penelitian ini menggunakan set point 50rpm, 70rpm, 100rpm, 150 rpm dan 200rpm. Berdasarkan hasil pengujian dengan menggunakan set point 150rpm - 200rpm menunjukkan hasil yang terbaik. Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai $K_p = 0.81$ $K_i = 0.39$ dan $K_d = 0.0975$.

Kata Kunci : PID, Es Puter, Motor DC, *rotary encode*

I. PENDAHULUAN

Pembuatan es krim atau es puter pada umumnya dilakukan dengan memutar adonan secara berulang – ulang. Hal ini dipandang sebagai suatu cara yang tidak efisien, karena proses pemutarannya menggunakan tangan secara langsung.

Hal lain yang menjadi kendala adalah, apabila pemutaran dilakukan secara manual, kecepatan putaran kurang stabil. Ketidakstabilan putaran terjadi akibat faktor kelelahan pekerja. Hal tersebut berdampak pada kualitas es krim, yaitu campuran kurang homogen atau tidak merata, serta waktu pembekuan yang tidak bersamaan. Dari sisi kesehatan juga kurang terjamin,

karena ada kemungkinan keringat pekerja dan abu rokok yang jatuh ke dalam adonan es krim.

Dari permasalahan tersebut, maka dibuat suatu alat yang dapat memberikan efisiensi pembuatan es puter dengan cara menggunakan pemutaran secara otomatis. Sehingga diharapkan alat ini dapat mempercepat pembuatan es puter, selain itu dengan pemutaran secara otomatis tekstur yang dihasilkan akan lebih halus dan merata. Dengan adanya konsep ini diharapkan dapat meningkatkan hasil produksi es puter.

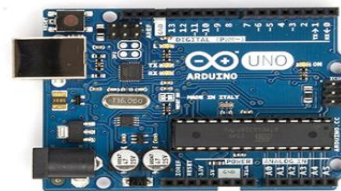
II. TINJAUAN PUSTAKA

1. Es Puter

Es puter adalah makanan / minuman dingin beku yang biasa dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia. Es Puter mengandung protein 0,2 gram, karbohidrat 10,16 gram, lemak 1 gram, kalsium 2 miligram, fosfor 3 miligram, dan zat besi 0 miligram. Selain itu di dalam Es Puter juga terkandung vitamin A sebanyak 0 IU, vitamin B1 0 miligram dan vitamin C 0 miligram. Hasil tersebut didapat dari melakukan penelitian terhadap 100 gram Es Puter, dengan jumlah yang dapat dimakan sebanyak 100 %.

2. Arduino Uno

Arduino UNO adalah board berbasis mikrokontroler pada ATmega328. Board ini memiliki 14 digital input / output pin (dimana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack listrik tombol reset. Pin-pin ini berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler, hanya terhubung ke komputer dengan kabel USB atau sumber tegangan bisa didapat dari adaptor AC-DC atau baterai untuk menggunakannya (Zaratul, 2014).



Gambar 1 Arduino Uno

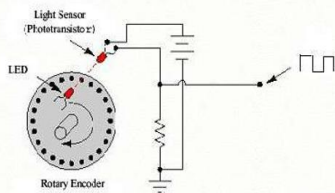
(Sumber : ZaratulNisaSaputri, 2014)

3. Sensor Rotary Encoder

Prinsip kerjanya adalah sensor ini yaitu dengan menghubungkan poros pada sebuah piringan sensor. Dimana piringan ini terdistribusi dari beberapa jalur berputar yang berputar pada lingkaran-lingkaran yang konsentris dan setiap jalur di hubungkan dengan sebuah sumber cahaya dan detector cahaya.

Prinsip kerja Rotary Encoder Sumber cahaya ini berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi cahaya, dan cahaya ini akan mengkonduksi ke detector cahaya jika mengenai bagian yang transparan dari piringan tersebut. Sehingga, keluaran dari detector cahaya akan berlogika rendah. Dimana fungsi dari detector cahaya untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Sehingga, masing-masing jalur dapat diketahui MSB (Most Significant Bit) dan LSB (low Significant Bit) pada outputnya yang berupa bilangan biner yang menyusun sebuah sandi BCD.

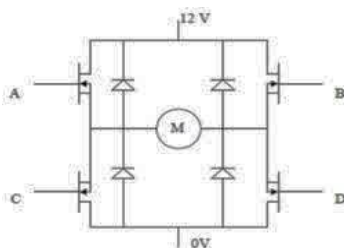
Sensor ini mempunyai keluaran 11 bit yang dihubungkan ke mikrokontroler. Pada aplikasinya sebagai penentu arah angin sensor rotary encoder yang digunakan mempunyai ketelitian sampai 0.5 derajat, hal ini disebabkan karena sensor ini mempunyai pulse/1 putaran sebesar 720 division.



Gambar 2 Prinsip Kerja Rotary Encoder (Sumber : Maya Azlina, 2009)

4. Driver Motor

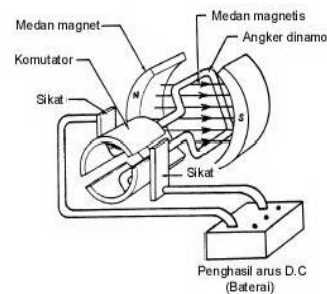
Rangkaian untuk mengendalikan perputaran motor DC tersebut adalah sebuah rangkaian yang dikenal dengan jembatan H. Jembatan H ini terdiri dari 4 buah transistor, dimana 2 buah transistor bertipe NPN dan 2 buah bertipe PNP. Ke-4 transistor ini dirangkai sedemikian rupa sehingga dengan memberikan sinyal low atau high pada rangkaian maka perputaran motor dapat diatur. (Hary, 2007)



Gambar 3 Konfigurasi H-Bridge (Sumber : Hary, 2007)

5. Motor DC

Motor DC (*Direct Current*) adalah beban listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa gerak rotasi. Pada motor DC terdapat jangkar dengan satu atau lebih kumparan terpisah. Tiap kumparan berujung pada cincin belah (komutator). Bagian utama motor DC adalah stator dan rotor dimana kumparan medan pada motor dc disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Motor DC bekerja berdasarkan prinsip gaya Lorentz, yang menyatakan sebuah konduktor beraliran arus diletakkan dalam medan magnet, maka sebuah gaya akan tercipta secara *orthogonal* diantara arah medan magnet dan arah aliran arus menyebabkan motor berputar memiliki kecepatan.



Gambar 4 Motor DC Gearbox (Sumber : Wardana, 2013)

6. PID (Proportional Integral Derivative)

PID (*Proportional Integral Derivative*) Controller merupakan kontroler untuk menentukan kepresisian suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik pada sistem tersebut. Terdapat 3 jenis komponen PID, yaitu *Proportional*, *Integratif*, dan *derivative*. Ketiganya dapat digunakan bersamaan maupun sendiri-sendiri, tergantung dari respon yang diinginkan terhadap suatu *plant*.

Dalam waktu kontinyu, sinyal keluaran pengendali PID dirumuskan sebagai:

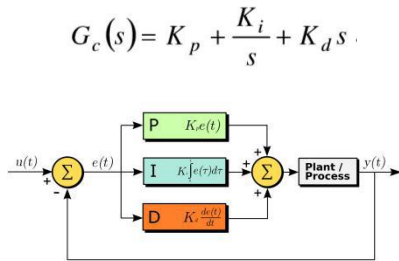
$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

Dengan

- u(t) = sinyal keluaran pengendali PID
- Kp = konstanta proporsional
- Ti = waktu integral
- Td = waktu turunan
- Ki = konstanta integral
- Kd = konstanta turunan

$e(t)$ = sinyal kesalahan

Jadi, fungsi alih pengendali PID (dalam domains) dapat dinyatakan sebagai berikut.



Gambar 5 Blok Diagram PID (Sumber : Ferdian Pradana, 2014)

Dari gambar 1 dapat dilihat persamaan dari masing-masing kontrol algoritma P, I, dan D . Dan dimana pada masukan sistem $[u(t)]$ akan diproses terlebih dahulu oleh algoritma PID dan akan diteruskan ke plant/ process. Proses ini akan dilakukan berulang-ulang sampai hasil masukan yang di olah oleh sistem sesuai dengan *setpoint*.

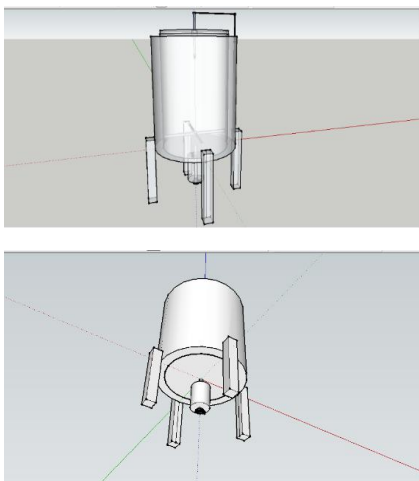
III. METODOLOGI PENELITIAN

Ada tiga tahapan dalam merancang sistem alat ini yaitu perancangan mekanik, perancangan elektrik dan perancangan kontrol.

1. Perancangan Mekanik

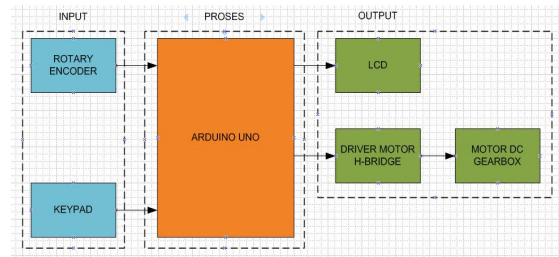
Perancangan mekanik meliputi perancangan desain katup gas menggunakan servo, tungku untuk perebusan. Mekanik ini dirancang dengan ukuran sebagai berikut :

- Diametertabung luar = 30 cm
- Diameter tabung dalam = 22 cm
- Tinggi=40 cm



Gambar 6 Desain Mekanik

2. Blok Diagram Perancangan Sistem

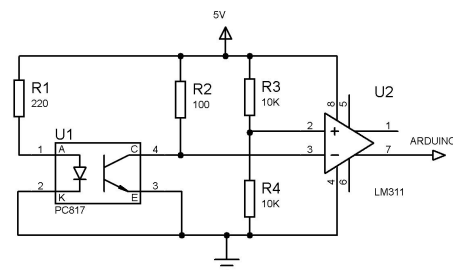


Gambar 7 Diagram Blok Sistem

Pada perancangan elektronik terdiri dari beberapa bagian yaitu :

2.1 Rangkaian Sensor Rotary Encoder

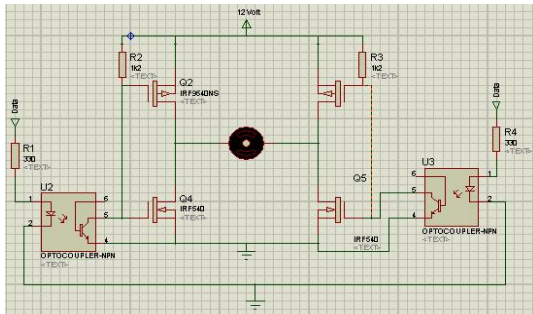
Rangkaian rotary encoder inidigunakan untuk membaca kecepatan motor DC dengancaramenghitung periode pulsa yang keluar dari rangkaian ini. Pulsatersebut muncul akibat lubang – lubang pada piringan yang berputar dan dibaca oleh sensor. *Photo interrupter* merupakan jenis optocoupler tipe U. Optocoupler ini terdiri dari inframerah LED sebagai *Transmitter* dan *phototransistor* sebagai *Receiver*. Prinsip kerjanya dari sensor ini adalah ketika cahaya yang dipancarkan oleh inframerah LED tidak mampu mengaktifkan basis datu phototransistor terhalang yang digunakan adalah H21A3. Syarat agar optocoupler ON adalah $V_F > 1.2V$ dengan $I_F = 20mA$.



Gambar 8 Rangkaian Rotary Encoder

2.2 Rangkaian Driver Motor

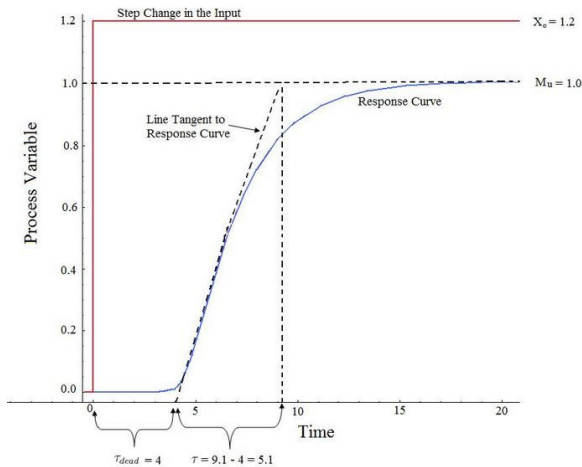
Pada perancangan rangkaian driver motor diatas menggunakan 2 mosfet kanal P yaitu tipe irf9540 dan 2 mosfet kanal N yaitu tipe irf540. Driver tersebut akan dihubungkan dengan arduino dimana arduino akan memberikan logika untuk mengaktifkan tiap mosfet. Arduino akan dihubungkan dengan optocoupler sebelum masuk ke driver motor. Optocoupler berfungsi sebagai pengaman arduino karena saat motor DC bekerja terhadap beban menghasilkan arus yang besar.



Gambar 9 Rangkaian Driver Motor

3. Perancangan PID (*Proportional Integral Derivative*)

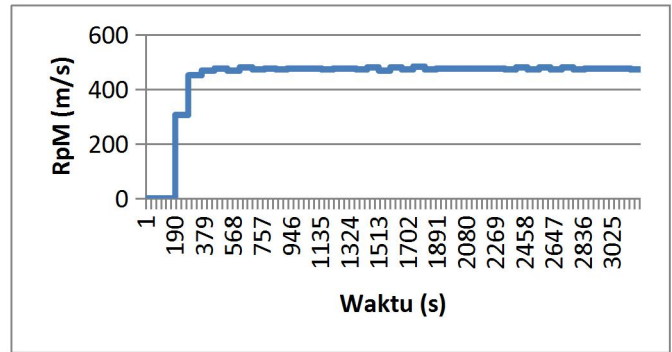
Pada perancangan kontrol PID ini menggunakan metode Ziegler-Nichols *tuning* kurva reaksi dikarenakan berdasarkan respon yang diambil dari sistem sangat sesuai dengan respon kurva reaksi.



Gambar 10 Kurva Reaksi

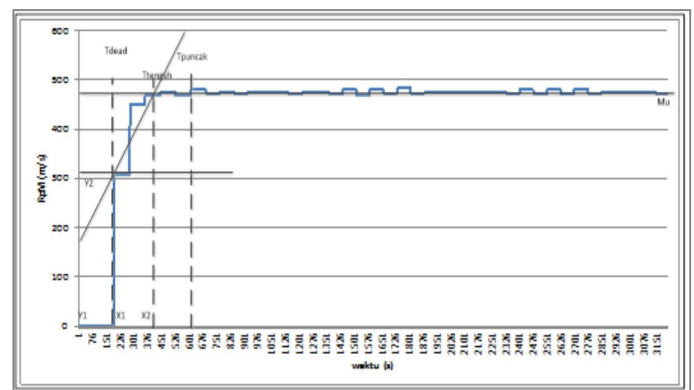
Langkah pertama yang dilakukan adalah mengambil respon dari plant yang dapat diperoleh secara *open loop* dengan cara mencari grafik hingga mendapatkan nilai yang stabil dengan cara memberikan tegangan pada motor hingga mendapatkan nilai kecepatan yang stabil.

Berdasarkan pengambilan respon dengan cara diatas maka didapat gambar grafik respon seperti dibawah ini :



Gambar 11 Grafik Respon

Langkah selanjutnya yaitu mengambil nilai beberapa variabel dari grafik respon yaitu X_o , M_u , T , T_{dead} . Nilai-nilai variabel tersebut dapat diperoleh dengan bantuan garis pada gambar grafik seperti yang ditampilkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 12 Respon *Plant* Berupa Kurva S

Berdasarkan gambar di atas sampling yang diambil adalah perubahan suhu setiap 5 s, maka didapatkan :

$$\begin{aligned} X_o &= 480 \\ M_u &= 476 \\ T &= 132.2 \\ T_{dead} &= 195 \end{aligned}$$

Sehingga, didapatkan :

$$\begin{aligned} K_o &= \frac{X_o}{M_u} \times \frac{T}{T_{dead}} \\ K_o &= \frac{480}{476} \times \frac{132.2}{195} \\ &= 1.008 \times 0.677 \\ &= 0.68 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai K_o maka disubstitusikan kedalam formula sesuai rumus perhitungan kurva reaksi yaitu :

$$K_p = 1.2 \times K_o$$

$$= 1.2 \times 0.68$$

$$= 0.81$$

$$K_i = 2 \times T_{dead}$$

$$= 2 \times 0.195$$

$$= 0.39$$

$$K_d = 0.5 \times T_{dead}$$

$$= 0.5 \times 0.195$$

$$= 0.0975$$

IV. PENGUJIAN SISTEM

1. Pengujian LCD

Pengujian rangkaian LCD dilakukan dengan menghubungkan rangkaian LCD dan arduino. Kemudian menampilkan karakter pada LCD melalui program yang dijalankan pada arduino.



Gambar 13 Pengujian Rangkaian LCD

2. Pengujian Rangkaian Keypad

Pengujian rangkaian ini digunakan untuk mengetahui apakah keypad dapat digunakan dengan baik dan dapat difungsikan sebagai input sistem. Pengujian keypad ini ditampilkan pada display LCD 16x2 dengan memberi input angka yang terdapat pada keypad.



Gambar 14 Pengujian keypad

3. Pengujian Sensor Rotary Encoder

Pengujian sensor suhu ini dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor suhu dengan termometer. Pengujian dilakukan berdasarkan kenaikan

perubahan suhu.

Tabel 1 Hasil Pengujian Sensor Rotary Encoder

pw m	Rpm pada LCD	Tachometer	Error (%)
0	0	0	0
50	33	34.2	3.5
100	83	83.7	0.8
150	133	135	1.4
200	180	177.2	1.5
250	234	231.3	1.1

Dari hasil pengujian sensor kecepatan menunjukkan bahwa terdapat selisih antara pembacaan sensor Kecepatan dan pembacaan alat ukur Tachometer. Akan tetapi selisih tersebut apabila dipersentasekan dengan pembacaan Tachometer tidak mencapai 1% sehingga error tersebut masih dapat ditoleransi.

Selain itu pembacaan sensor kecepatan yang tampil di LCD tidak dapat menunjukkan suatu nilai secara konstan. Tetapi berubah-ubah pada range tertentu. Misalnya pada kecepatan 100 RPM, nilai angka pada LCD tidak akan menampilkan nilai 100 RPM secara konstan. Akan tetapi range 90 RPM sampai dengan 110 RPM.

4. Pengujian Driver Motor

Pengujian ini dilakukan dengan cara mengubah logika pada input yang adapada rangkaian driver motor DC

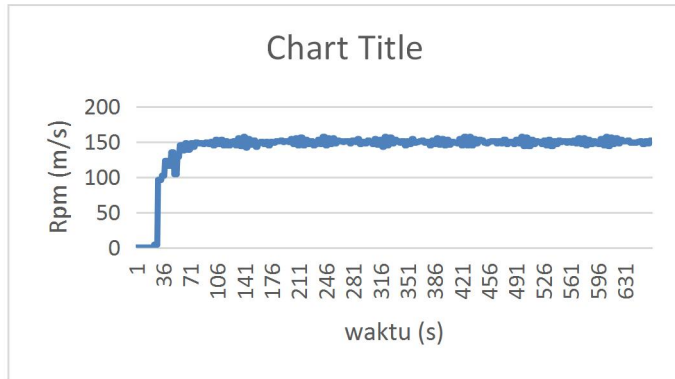
Tabel 2 Hasil Driver Motor

PWM	Tegangan motor (volt)
0	0
50	6.76
100	10.15
150	13.54
200	16.38
250	19.87

Dari hasil pengujian tersebut, terlihat bahwa perubahan nilai PWM yang diberikan pada rangkaian driver motor DC memberikan pengaruh pada tegangan motor DC. Meskipun perubahan tidak linear, hal ini menunjukkan bahwa rangkaian driver sudah bekerja sesuai dengan perancangan.

5. Pengujian Kontrol PID

Setelah melakukan perhitungan pada perancangan kontrol PID, maka didapat nilai $K_p = 0,81$ dan $K_i = 0,39$ dan $K_d = 0,0975$ kemudian nilai tersebut di masukkan pada kontrol melalui program di arduino. Sehingga didapat response seperti gambar grafik dibawah ini.



Gambar 15 Respon Sistem dengan Kontrol PID

Berdasarkan respon sistem diatas menunjukkan bahwa *Rise Time* = 50 s, *Over Shoot* = 0 %, *Error Steady State* = 0,3%, *Setling Time* = 50 s. Grafik diatas jugamembuktikan bahwa nilai parameter PID yang diimplementasikan pada *plant* sudahberjalan dengan baik dan mampu mempertahankan kecepatan tetap stabil.

6. Pengujian Sistem Terhadap Hasil Pembuatan Es Puter

Setelah melakukan pengujian per blok, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian keseluruhan sistem. Yaitu kontrol PID digunakan sebagai proses pembuatan Es Puter dengan nilai *set point* yang berbedaya yaitu 50 rpm, 70rpm, 100rpm, 150rpm dan 200rpm dalam waktu (timer) yang samaya yaitu 90menit. Pengujian dilakukan sebagai berikut :

Tabel 3 Hasil Pengujian Sistem

Set Point (rpm)	Timer (menit)	Hasil
Input Setpoint 50	Input Timer 90	
Input Setpoint 70	Input Timer 90	
Input Setpoint 100	Input Timer 90	
Input Setpoint 150	Input Timer 90	
Input Setpoint 200	Input Timer 90	

Berdasarkan hasil pengujian sistem pada tabel diatas di dapat hasil, bahwa pada kecepatan 50rpm pembekuan adonan es krim pada Es Puter samasekali tidak merata, kecepatan 70rpm pembekuan adonan es krim pada Es Puter tidak merata di bagian tengah. Adonan masih encer atau tidak teralupadat, hal itu karena kecepatan motor yang kurang. Pada kecepatan 100rpm pembekuan adonan es krim pada Es Puter sudah merata dan mendapatkan adonan yang cukup lembut, kemudian pada kecepatan 150rpm pembekuan es krim pada Es Puter sudah merata dan mendapatkan adonan yang lembut. Terakhir pada kecepatan 200rpm pembekuan es krim pada Es Puter sudah merata dan mendapatkan adonan yang lembut juga. Maka dapat disimpulkan bahwa kecepatan yang paling baik dalam pembuatan Es Puter dengan tingkat pembekuan dan kelembutan paling baik adalah pada kecepatan 150rpm – 200rpm.

V. PENUTUP

1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada pengujian sensor kecepatan yang ditampilkan pada LCD, nilai RPM tidak dapat menunjukkan suatu nilai tertentu secara konstan. Misalnya pada kecepatan 100 RPM, nilai yang ditampilkan pada LCD berubah-ubah antara 90-110 RPM. Hal ini disebabkan karena peletakan sensor *rotary encoder* kurang presisi dan lubang – lubang yang ada pada *rotary encoder* tidak presisi, sehingga frekuensi yang dihasilkan berubah-ubah.
2. Dengan menggunakan kontrol PID, respon kecepatan yang dihasilkan mampu menstabilkan kecepatan yang diinginkan. Berdasarkan hasil pengujian kontrol PID menggunakan metode *curva reaksi Ziegler-Nichols* dalam kondisi dibebani Didapatkan respon yang baik pada saat proses pembuatan es puter dengan nilai $K_p=0.81$ $K_i=0.39$ dan $K_d=0.0975$.
3. Kecepatan yang paling baik dalam pembuatan Es Puter dengan tingkat pembekuan dan kelembutan paling baik adalah pada kecepatan 150rpm – 200rpm

2. Saran

Saran – saran untuk mengembangkan penelitian ini ialah :

1. Untuk pengembangan alat ini, disarankan untuk merancang sistem mekanik es puter yang lebih baik. Hal ini bertujuan agar alat mampu bekerja secara optimal.
2. Untuk proses pendinginan es puter, di sarankan untuk menggunakan peltier cooler sebagai pengganti es

batu dan garam. Hal ini bertujuan agar proses pendinginan berjalan lebih cepat dan efisien

DAFTAR PUSTAKA

- Pramono, dkk. Redesain Mesin Pemutar Es Krim Untuk Meningkatkan Produktivitas, Kualitas Produk Dan Kemudahan Operasionalnya. Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
- Suyadi. 2010. Perbaikan Produksi Es Krim Perajin Rumah Tangga Dengan Menggunakan Alat Bantu Pemutar. Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang
- Abdul Syukur dkk, 2004, Model alat Bantu Produksi Es Krim Sistem Rotari dengan Penggerak Motor Listrik, Politeknik Negeri Semarang.
- Suyadi, dkk.
Rancang Bangun Alat Pembuat Es Puter Dengan Penggerak Dan Penggerak Motor Listrik.
Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang
- Muttaqin, Fuad Zaen. 2015. *Implementasi Kontrol PID Sebagai Pengatur Suhu Pada Proses Roasting Kopi Biji Salak*. Skripsi Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang
- Astrom, Karl J dan Hagglund T. 1995. *PID Controller 2nd Edition: Theory, Design and Tuning*. Instrument Society of America
- Wiradhana, Raditya. 2013. *Sistem Pengendalian Suhu Pada Tungku Bakar Menggunakan Kontroler PID*. Universitas Brawijaya
- Saputri, Zaratul Nisa. 2014. Aplikasi Pengenalan Suara Sebagai Pengendali Peralatan Listrik Berbasis Arduino Uno. Jurnal Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang
- Wicaksono, Handy. 2004. Analisa Performansi dan Robustness Beberapa Metode Tuning Kontroler PID pada Motor DC. Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra
- Departemen Kesehatan RI (1997). Pedoman Gizi Pada Bahan Pangan Direktorat Jenderal Kesehatan Masyarakat Direktorat Gizi masyarakat, Jakarta.
- E.P. Popov, 1991, Mekanika teknik, Jakarta : Erlangga
- Prayogo, Pradito. 2012. Pengaturan PWM (Pulse Width Modulation) dengan PLC. Jurusan Teknik Otomasi, Universitas Brawijaya Malang
- <http://ini-robot.blogspot.com>
<http://kecoakacau.blogspot.com>