

Penerapan *PID Control* untuk Pengendalian Kecepatan *Spinner Motor* pada Proses Sari Apel dengan Fitur HMI (*Human Machine Interface*)

Tsalsata Amalia', Ratna Ika Putri, Edi Sulistio Budi

Abstrak - Sari apel merupakan minuman ringan yang terbuat dari buah apel dan air minum dengan atau tanpa penambahan gula dan tambahan makanan yang diizinkan. Proses pemisahan antara ampas dan sari apel umumnya masih manual yaitu dengan menggunakan tenaga manusia. Sehingga apabila jumlah apel semakin banyak, waktu yang dibutuhkan untuk memisahkan ampas dan sari apelnya juga semakin lama. Perlu adanya mekanisme untuk mempercepat waktu produksi melalui pengaturan kecepatan pada ekstraktor sari apel. *Spinner motor* ini menggunakan Mikrokontroler sebagai kontrolernya dan sensor rotary encoder sebagai sensor kecepatannya. Salah satu metode yang digunakan untuk mengontrol kecepatan *Spinner motor* adalah PID. Perancangan controller PID menggunakan kurva reaksi Ziegler Nichols menghasilkan nilai $K_p=10.2$ $K_i = 255$ dan $K_d = 1.02$. Hasil yang didapatkan antara lain rise time (t_r) sebesar 3.5162 s, settling time (t_s) 12s, peak time (t_p) 5 s dan Percent Overshoot (P_o) sebesar 16.15%. Grafik proses spinning di plotkan langsung secara real-time dengan HMI.

Kata Kunci : *Spinner Motor*, *PID Control*, Sari Apel, HMI.

I. PENDAHULUAN

Apel memiliki berbagai kesaktian dalam kesehatan antara lain yaitu menjaga kesehatan paru-paru dan kanker, mencegah penyakit jantung, menurunkan kadar kolesterol, menjaga kesehatan gigi adalah sedikit contoh dari manfaatnya. Kecenderungan masyarakat yang dewasa ini menyukai produk olahan menjadikan peningkatan permintaan produk olahan terhadap buah sebagai peluang peningkatan dan pengembangan nilai tambah buah-buahan menjadi produk-produk olahan seperti buah dalam kaleng, minuman sari buah, manisan buah, selai, dodol dan keripik serta produk olahan lainnya. Salah satu contoh peningkatan nilai tambah buah adalah dibuat sari buah apel. Sari apel merupakan minuman ringan yang terbuat dari buah apel dan air minum dengan atau penambahan gula dan tambahan makanan yang diizinkan. Proses pengolahan sari buah meliputi sortasi buah, pencucian, trimming, penghancuran (ekstraksi), pengenceran, penyaringan, penambahan bahan kimia, pengemasan, dan

sterilisasi Proses penyaringan sebelumnya menggunakan kain kassa dengan tenaga manusia. Dan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, terdapat saran perlu adanya pengaturan kecepatan secara otomatis pada *spinner* (penyaring) terhadap beban crushed apple yang akan diputar sehingga waktu spinning lebih cepat dan optimal.

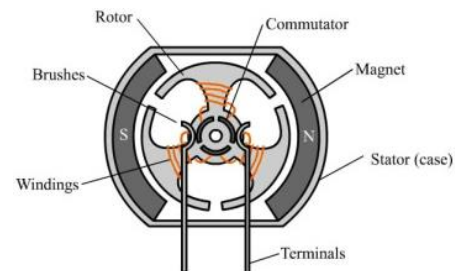
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Pembuatan Sari Apel

Proses pembuatan minuman sari apel terdiri dari beberapa tahap, pertama adalah pencucian buah apel. Selanjutnya yaitu pengupasan, hal ini dilakukan secara manual oleh tenaga kerja menggunakan pisau, proses selanjutnya memotong buah apel menjadi bagian yang lebih kecil. Potongan-potongan buah apel kemudian dimasukkan ke dalam tangki rebus untuk melunakkan buah apel menjadi bubur kemudian dilakukan penyaringan Pada proses ini yang diambil hanya filtrat air apel yang jernih saja. air apel yang dihasilkan dicampur dengan bahan tambahan di dalam tangki yang berisi air panas. Bahan tambahan yang digunakan adalah gula cair, esense, natrium benzoate dan caramel Hasil pencampuran tersebut kemudian dialirkan melalui pipa menuju cup sealing filling machine untuk dilakukan filling pada cup plastic Setelah filling dan sealing selesai, maka minuman sari apel tersebut dimasukkan ke dalam bak pendingin yang berisi air.

2.2 Motor DC

Motor DC adalah motor yang digerakkan oleh energi listrik arus searah. Konstruksi motor DC dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 . Konstruksi Motor DC

Terminal motor terdiri atas 2 bagian yaitu terminal positif (+) dan terminal negatif (-) yang berfungsi sebagai penghubung sumber energi listrik searah dengan motor DC.

Tsalsata Amalia' adalah mahasiswa D4 Teknik Elektronika Politeknik Negeri Malang
Ratna Ika Putri dan Edi Sulistio Budi adalah dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang

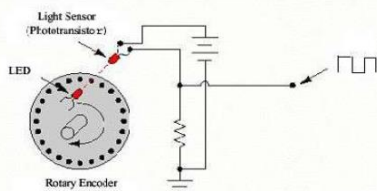
Stator merupakan badan motor yang didalamnya terdapat magnet kutub utara dan magnet kutub selatan. *Brushes* berfungsi menyalurkan arus dari sumber energi listrik menuju kumparan (*windings*) rotor yang selanjutnya rotor dan komutator berputar. Komutator berputar karena komutator sendiri adalah bagian dari rotor yang terhubung pada *brushes*

Ketika terminal motor DC diberi energi listrik searah dengan polaritas yang sama, maka motor akan berputar searah jarum jam, dan jika polaritas energi listrik dipasang terbalik pada terminal motor maka putarannya akan terbalik atau berlawanan arah jarum jam

2.3 Sensor Kecepatan

Sensor kecepatan yang dipakai adalah sensor *Rotary Encoder Rotary encoder* adalah device elektromagnetik yang dapat memonitor gerakan dan posisi. *Rotary encoder* umumnya menggunakan sensor optik untuk menghasilkan serial pulsa yang dapat diartikan menjadi gerakan, posisi, dan arah.

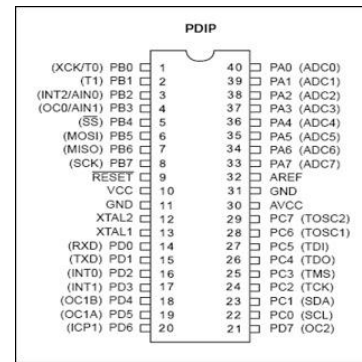
Rotary encoder tersusun dari suatu piringan tipis yang memiliki lubang-lubang pada bagian lingkaran piringan. LED ditempatkan pada salah satu sisi piringan sehingga cahaya akan menuju ke piringan. Di sisi yang lain suatu *phototransistor* diletakkan sehingga *phototransistor* ini dapat mendeteksi cahaya dari LED yang berseberangan. Apabila posisi piringan mengakibatkan cahaya dari LED dapat mencapai *phototransistor* melalui lubang-lubang yang ada, maka *phototransistor* akan mengalami saturasi dan akan menghasilkan suatu pulsa gelombang kotak



Gambar 2 Prinsip Kerja *Rotary Encoder* [

2.4 Mikrokontroler

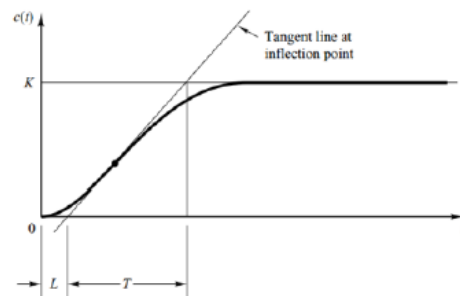
Mikrokontroler merupakan sistem komputer yang mempunyai satu atau beberapa tugas yang sangat spesifik, berbeda dengan PC (Personal Computer) yang memiliki beragam fungsi. Mikrokontroler adalah sebuah sistem microprocessor dimana di dalamnya sudah terdapat CPU, ROM, RAM, I/O, clock dan peralatan internal lainnya yang sudah saling terhubung dan terorganisasi (teralamat) dengan baik oleh pabrik pembuatnya dan dikemas dalam satu chip yang siap pakai. Sehingga tinggal memprogram isi ROM sesuai aturan penggunaan oleh pabrik yang membuatnya. Mikrokontroler ATMEGA 16 memiliki 40 pin dengan 32 pin diantaranya digunakan sebagai port parallel. Satu port parallel terdiri dari 8 pin, sehingga jumlah port pada Mikrokontroler adalah 4 port, yaitu port A, port B, port C dan port D. sebagai contoh adalah port A memiliki pin antara port A.0 sampai port A.7, demikian selanjutnya untuk port B, port C, dan port D.



Gambar 3 Konfigurasi Pin Atmega16

2.5.1 Metode PID Ziegler-Nichols I

Pada metode pertama respon motor dari plant didapatkan secara eksperimental dengan masukan unit-step seperti pada gambar 4. Tipe dari respon tersebut adalah orde satu dengan transportation delay. Karakteristik dari respon adalah time delay (L) dan time constant (T) yang dapat diketahui dengan menggambar garis singgung pada titik belok dari kurva, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4 Kurva Respon Garis Singgung

Cara menentukan garis singgung adalah membuat garis lurus dan menghimpit pada respon yang memiliki nilai linier paling banyak dan harus melalui nilai γ yaitu waktu yang diperlukan oleh respon untuk mencapai 63,2% dari nilai *steady state* respon. Respon ini didapatkan dari *plant* yang diberi masukan berupa *unit-step*.berikut adalah aturan *Ziegler-Nichols I* yang ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1 Aturan *Ziegler-Nichols I*

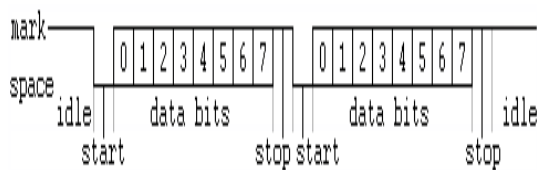
Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	~	0
PI	$0,9 \frac{T}{L}$	$L/0,3$	0
PID	$1,2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0,5L$

2.6 HMI (Human Machine Interface)

HMI (Human Machine Interface) adalah perangkat lunak antar muka berbasis komputer berupa tampilan penghubung antara manusia dengan mesin atau peralatan yang dikendalikan. HMI dapat membuat visualisasi dari teknologi atau sistem secara nyata, visualisasi tersebut dilengkapi dengan data-data yang nyata dan sesuai dengan keadaan di lapangan.

HMI akan membeikan suatu gambaran kondisi mesin yang berupa peta mesin produksi dimana disitu dapat dilihat bagian mesin mana yang sedang bekerja. Pada HMI terdapat visualisasi pengendali mesin berupa tombol, slider dan sebagainya yang dapat difungsikan untuk mengontrol atau mengendalikan mesin sebagaimana mestinya. Selain itu dalam HMI juga ditampilkan alarm jika terjadi kondisi bahaya dalam sistem. Sebagai tambahan, HMI juga menampilkan data-data rangkuman kerja mesin termasuk secara grafik

Tujuan pemakaian HMI pada laporan akhir ini adalah untuk mengumpulkan dan menampilkan informasi dari respon sistem proses *spinning* sari apel.



Gambar 5 Komunikasi UART

III. METODOLOGI

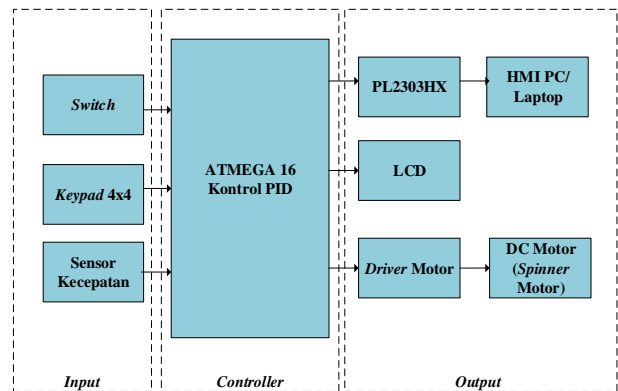
3.1. Spesifikasi Alat :

- a. Sensor : Sensor Rotary Encoder
- b. Range yang digunakan : Kecepatan yang digunakan 1500 RPM- 1750RPM
- c. Processor : ATMEGA 16
- d. Actuator : Motor DC
 - Tegangan : 180V
 - Arus : 5 A
 - Maksimum Kecepatan : 4700 RPM
- e. Display : LCD 16 x 2
- f. Tegangan Kerja Sumber : 220 VAC

3.2. Diagram Blok Alat

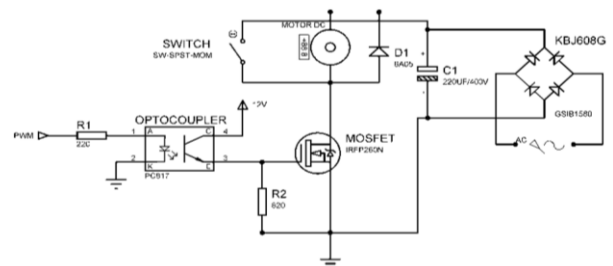
Prinsip kerja dari pengontrolan putaran motor DC untuk *spinner* sari apel. Pertama, apel yang sudah dicrusher dan telah diberikan campuran air berbanding 1:1 langsung disalurkan melalui manual valve ke tabung *spinner*. Kemudian tabung *spinner* ditutup. Tombol switch digunakan untuk mengaktifkan system. Keypad digunakan untuk memasukkan nilai set point (rpm) kecepatan motor DC yang ingin dicapai dan menginput timer. LCD digunakan untuk menampilkan set point dan kecepatan putar motor DC. Dengan gaya sentrifugal, separator *spinner* akan memisahkan ampas buah apel dengan sari apel. Setelah set point dimasukkan maka mikrokontroler

ATMega16 akan mengolah data dengan membandingkan pembacaan kecepatan putar motor DC oleh sensor kecepatan (rotary encoder) dengan set point yang telah ditentukan. Kontrol PID yang ditanamkan di dalam mikrokontroler ATMega16 akan mengontrol kecepatan motor DC agar kecepatan aktual(current value) motor DC sesuai dengan set point yang telah ditentukan. Perbandingan antara kecepatan putar aktual (current value) motor DC dengan set point akan menghasilkan error. Error akan diminimalisir dengan kontrol PID yang ditanamkan pada mikrokontroler ATMEGA16. Driver Motor disini terdapat mosfet yang digunakan untuk mengatur duty cycle motor. Tombol reset digunakan untuk mereset ATMEGA16. Kemudian, sari apel jatuh ke penampung di dalam *spinner* yang selanjutnya mengalir menuju proses mixing sari apel.



Gambar 6 . Diagram Blok Sistem

3.3 Perancangan Rangkaian Driver Motor DC



Gambar 7. Rangkaian Driver Motor DC

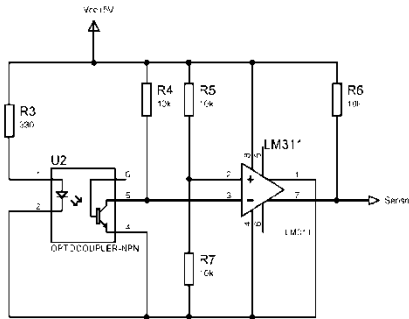
Untuk menggerakkan *spinner* motor diperlukan tegangan maksimum 180 VDC dan arus maksimum 5 A. Disini untuk mendapatkan tegangan 180 V diperoleh dari penyearah tegangan dari autotrafo mode stepdown oleh Bridge Rectifier KBJ608G yang diatur menjadi 127,27 V.

$$V_{RMS} = \frac{V_{MAX}}{\sqrt{2}} = \frac{180}{\sqrt{2}} = 127.27 V \tag{1}$$

Pada rangkaian driver motor DC tersebut menggunakan PC817, Optocoupler ini adalah untuk mentrigger MOSFET IRFP260n. mosfet ini adalah tipe NPN atau MOSFET aktif apabila diberi logika “1” (*high*) maka Pada *Gate* MOSFET IRFP260n diberikan *pull*down resistor agar logika yang

terdapat pada MOSFET tidak mengambang. Dioda pada motor digunakan untuk pengaman arus balik agar tidak masuk ke driver motor. Dioda tipe 6A05 dipasang paralel pada motor DC. Anoda dioda dipasang searah dengan kutub negatif (-) motor DC menuju *drain* MOSFET.

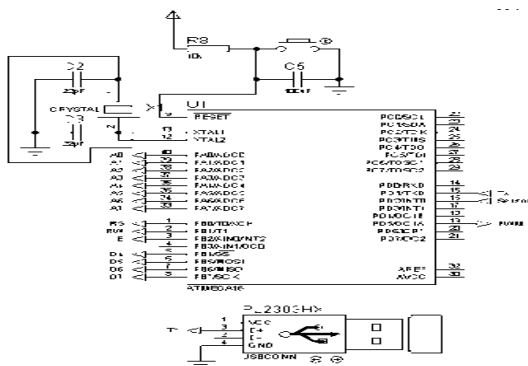
3.4 Perancangan Rangkaian Modul Sensor *Rotary Encoder*



Gambar 8 Rangkaian Dalam Modul Sensor *Rotary Encoder*

Sensor *rotary encoder* merupakan rangkaian yang berbentuk modul dimana pada rangkaian ini terdapat LED sebagai *transmitter* berupa cahaya dan phototransistor sebagai receiver cahaya tersebut. Kedua komponen tersebut dipasang berhadapan pada satu tempat dan dipisahkan oleh piringan (*rotary disc*). *Rotary disc* berbentuk lingkaran dan terdapat bagian yang berlubang dan tidak berlubang di tepinya. Bagian yang berlubang dimaksudkan untuk meneruskan cahaya yang dipancarkan transmitter untuk dapat diterima oleh receiver, dan bagian yang tidak berlubang dimaksudkan untuk menghalangi cahaya tersebut. Sensor *rotary encoder* membutuhkan tegangan minimal 3.3V hingga tegangan maksimal 5.5V untuk pengaktifannya.

3.4 Komunikasi Serial Antara Mikrokontroller dengan PL2303HX



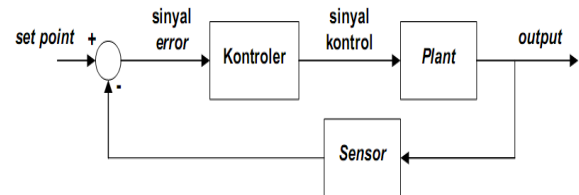
Gambar 8 Komunikasi Serial Antara Mikrokontroller dengan PL2303HX

PL2303HX adalah modul USB to TTL yang digunakan untuk komunikasi USART oleh mikrokontroller dengan komputer/PC. Tx pada mikrokontroller ATmega16 pada PORT D1 disambungkan ke Rx pada modul PL2303HX untuk memungkinkan komunikasi serial antara Tx dan Rx. GND pada Modul disambungkan ke GND.

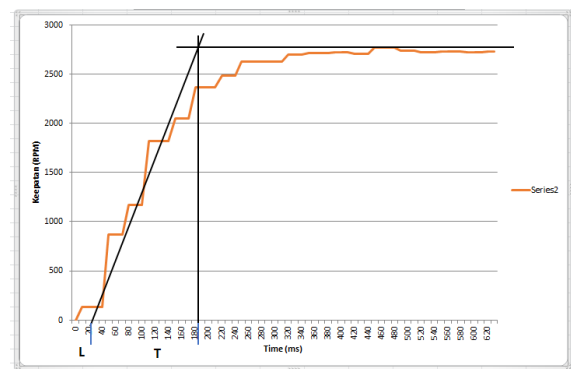
3.5 Perancangan dan Pembuatan Software

a. Metode PID (*Proportional Integral Derivative*)

PID (*Proportional integral Derivative*) adalah controller untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Komponen kontrol PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu Proportional, Integratif dan Derivatif. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu plant. Aksi kendali proporsional mempunyai keunggulan untuk memperkecil kesalahan, dan aksi kendali integral mempunyai keunggulan untuk memperkecil kesalahan, dan aksi kendali differensial memiliki keunggulan meredam kekurangan tanggapan atau kelebihan tanggapan



Gambar 9 . Blok Aksi Kontrol PID



Gambar 10 Grafik Respon Plan *Open Loop*

Gambar 10 diatas diperoleh dari grafik respon *open loop* motor DC. Caranya diberi masukan berupa unit step. Kemudian hasil grafik yang berupa kurva S dicari nilai L dan T. Maka didapatkan nilai L=1s dan T=13s. setelah mendapatkan nilai L dan T maka selanjutnya dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$K_p = 1.2 \times \frac{T}{L} \tag{2}$$

$$K_p = 1.2 \times \frac{0.17}{0.02} \tag{3}$$

$$K_p = 10.2$$

$$T_i = 2 \times L \tag{3}$$

$$T_i = 2 \times 0.02$$

$$T_i = 0.04$$

$$T_D = 0.5 \times L \tag{4}$$

$$T_D = 0.5 \times 0.02$$

$$T_D = 0.1$$

Setelah didapatkan nilai K_p , T_i dan T_d maka nilai K_p , K_i dan K_d dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$K_p = K_p \quad (5)$$

$$K_p = 10.2$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \quad (6)$$

$$K_i = \frac{10.2}{0.04}$$

$$K_i = 255$$

$$K_d = K_p \times T_D \quad (7)$$

$$K_d = 10.2 \times 0.1 \quad K_d = 1.02$$

IV. HASIL DAN ANALISA

4.1 Pengujian Sensor Kecepatan

Pengujian sensor kecepatan dilakukan dengan cara menemukan *error* sensor, diperoleh dari perbandingan hasil *sensing* sensor terhadap kecepatan *spinner motor* yang tertampil pada LCD 16x2 dengan alat ukur kecepatan tachometer. Persentase *error* dapat ditemukan dengan rumus:

$$E = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \times 100 \% \quad (8)$$

Keterangan :

E = Presentase *error* (%)

P_1 = Pembacaan pada sensor kecepatan (rpm)

P_2 = Pembacaan pada *tachometer* (rpm)

Tabel 2 . Tabel Hasil Pengujian Sensor *Rotary Encoder*

Duty Cycle (%)	Sensor (RPM)	Tachometer (RPM)	Error (%)
0	0	0	0
10.1	637	634	0.473
19.6	1267	1262	0.396
29.8	1740	1737	0.173
39.2	2025	2025	0
49.3	2216	2213	0.135
59.5	2358	2336	0.942
68.9	2441	2419	0.909
79.1	2493	2474	0.767
88.5	2546	2520	1.031
99.3	2572	2556	0.625
Rata-Rata			0.5451

3.3 Pengujian Rangkaian Driver Motor DC

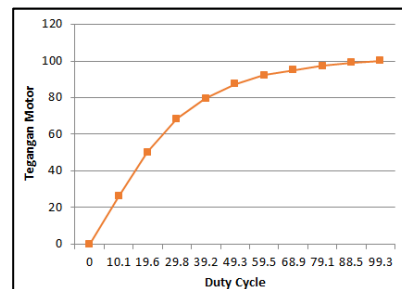
Pengujian driver motor dengan cara mengatur lebar pulsa (*duty cycle*) melalui program pada mikrokontroller dan

melihat tegangan keluaran pada motor. Frekuensi yang digunakan adalah 675 Hz. Perubahan nilai tegangan motor terhadap nilai *Duty Cycle* dapat dilihat pada Tabel (3.9)

Tabel 3 Tabel Hasil Pengujian Driver Motor DC

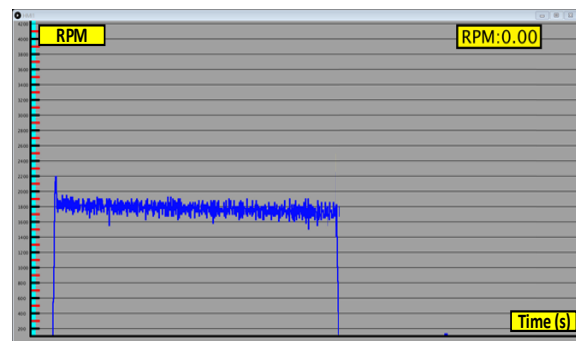
Duty Cycle (%)	Tegangan Motor (V)
0	0
10.1	26.23
19.6	50.2
29.8	68.5
39.2	79.7
49.3	87.6
59.5	92.2
68.9	95
79.1	97.4
88.5	99.2
99.3	100.2

Berdasarkan data di atas, dapat diplotkan dengan grafik hubungan antara *Duty Cycle* dengan tegangan motor adalah semakin besar nilai *duty cycle* semakin tinggi tegangan motor.



Gambar 11 Grafik Hubungan *Duty Cycle* dan Tegangan Motor

5.1 Pengujian HMI (*Human Machine Interface*)

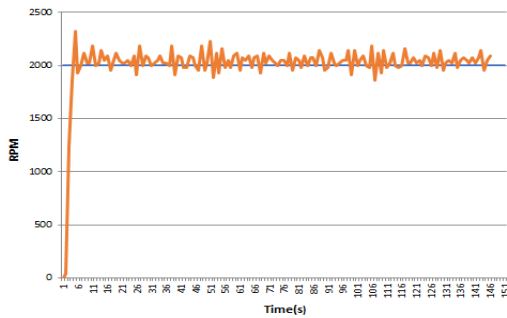


Gambar 12 Grafik Respon Secara *Real-Time* dengan Aplikasi Processing3

Untuk pengujian *interface* HMI menggunakan aplikasi *Processing 3* untuk menyamakan antara nilai yang dibaca oleh sensor dan yang ada pada aplikasi *Processing 3*.

5.2 Pengujian Kontrol PID Pada *Spinner Motor* Tanpa Beban

Pengujian metode osilasi PID *Ziegler-Nichols* pada *spinner motor* dilakukan dengan memasukkan nilai K_p dan K_i yang telah diperoleh pada perancangan *software* di bab sebelumnya, yaitu $K_p=10.2$ $K_i = 255$ dan $K_d = 1.02$, serta *setpoint* 2000 rpm.



Gambar 13 . Grafik Respon Hasil Perhitungan PID

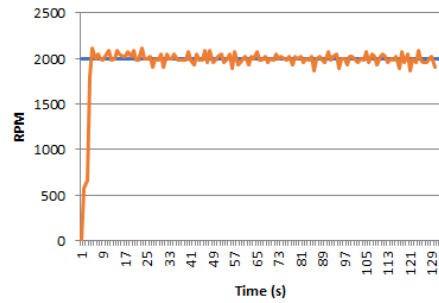
Dengan nilai parameter controller *Ziegler Nichols* yang telah dihitung tadi, didapatkan respon sistem dengan unjuk kerja yang ditunjukkan pada tabel 4 berikut :

Tabel 4 Karakteristik Respon dengan nilai $K_p=10.2$ $K_i = 255$ dan $K_d = 1.02$

Performa Respon Kurva	Hasil
<i>tr (rise time)</i>	4.032 s
<i>ts (settling time)</i>	12 s
<i>tp (peak time)</i>	5 s
<i>Mo (Maximum overshoot)</i>	16.15%

Dari gambar 13 dapat dilihat bahwa respon kontrol PID *Ziegler Nichols* dengan nilai $K_p=10.2$ $K_i = 255$ dan $K_d = 1.02$ menghasilkan grafik yang tidak bagus karena *settling time* masih lambat, terlalu besar *overshootnya*. Oleh Karena itu dilakukan *trial error* dan didapat nilai $K_p=4$, $K_i=1$ dan $K_d=7.8$.

Berdasarkan respon sistem kontrol PID di atas, karena hasil kurang baik maka dilakukan *trial error* dengan mengganti nilai K_p , K_i serta K_d nya untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Dengan nilai $K_p=4$ $K_i=1$ dan $K_d=7.8$ dengan *SP=2000* rpm



Gambar 14 Grafik Hasil Respon *Trial error*

Dengan nilai parameter controller PID yang telah ditentukan tadi, didapatkan respon sistem dengan unjuk kerja yang ditunjukkan pada tabel 4.4 berikut :

Tabel 5 Karakteristik Respon dengan nilai $K_p=4$ $K_i=1$ dan $K_d=7.8$

Performa Respon Kurva	Hasil
<i>tr (rise time)</i>	4.38 s
<i>ts (settling time)</i>	6 s
<i>tp (peak time)</i>	23 s
<i>Mo (Maximum overshoot)</i>	5.8%

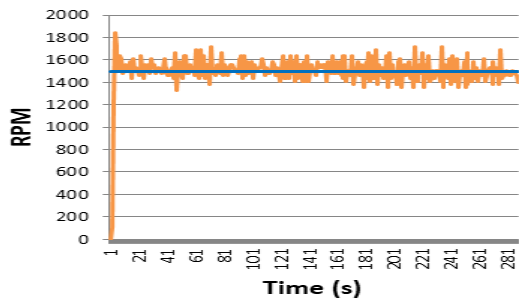
Berdasarkan percobaan *trial error* yang telah dilakukan dilihat dari karakteristik responnya yang memiliki *ess* yang paling kecil, *ts* paling cepat dan *Po* yang paling kecil adalah dengan nilai $K_p=4$, $K_i=1$ dan $K_d=7.8$ dan grafiknya lebih stabil daripada yang lainnya, jadi nilai K_p , K_i dan K_d inilah yang paling cocok alat *Spinner* ini.

4.5 Pengujian Sistem Dengan Beban

Untuk pengujian sistem dengan beban, pada pengujian ini menguji kontrol PID yang diberi gangguan berupa beban yang dimasukkan ke dalam *spinner* pada saat awal sistem sebelum diaktifkan. Beban yang diberikan sejumlah 1 kg dan 2 kg. Gangguan yang diberikan berbeda untuk melihat respon sistem yang dihasilkan dan waktu yang dibutuhkan untuk memisahkan ampas apel dan airnya. Dengan memberikan nilai $K_p=4$, $K_i=1$ dan $K_d=7.8$ dengan *set point* 1500rpm dan beban 1 kg grafik yang dihasilkan adalah pada gambar 4.5 berikut:



Gambar 15 Grafik Plot Hasil HMI SP 1500 rpm Beban 1kg



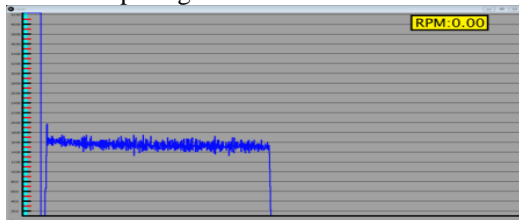
Gambar 16 Grafik Respon Sistem 1500 rpm Beban 1kg

Dengan nilai parameter kontroller PID yang telah dihitung tadi, didapatkan respon sistem dengan unjuk kerja yang ditunjukkan pada tabel 6 berikut :

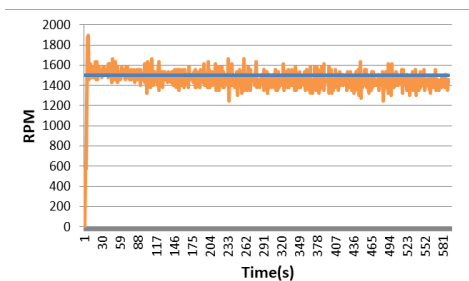
Tabel 6 Karakteristik Respon dengan SP 1500 rpm Beban 1kg

Performa Respon Kurva	Hasil
<i>tr</i> (rise time)	3.43s
<i>ts</i> (settling time)	6s
<i>tp</i> (peak time)	4s
<i>Po</i> (percent overshoot)	23.067%

Dengan memberikan nilai $K_p=4$, $K_i=1$ dan $K_d=7.8$ dengan set point 1500rpm dan beban 2 kg grafik yang dihasilkan adalah pada gambar 17 berikut:



Gambar 17 Grafik Plot Hasil HMI SP 1500 rpm Beban 2 kg



Gambar 18 Grafik Plot SP 1500 rpm Beban 2 kg Pada Ms. Excel

Dengan nilai parameter kontroller PID yang telah dihitung tadi, didapatkan respon sistem dengan unjuk kerja yang ditunjukkan pada tabel 7 berikut :

Tabel 7 Karakteristik Respon dengan SP 1500 rpm Beban 2kg

Performa Respon Kurva	Hasil
<i>tr</i> (rise time)	4.48s
<i>ts</i> (settling time)	15s
<i>tp</i> (peak time)	6s
<i>Mo</i> (Maximum overshoot)	24.8%

Untuk membandingkan hasil respon sistem yang diperoleh pada pengujian sebelumnya dapat dirangkum yang ditunjukkan pada tabel 8 sebagai berikut

Tabel 8 Perbandingan Karakteristik Sistem Beban 1 kg dan 2 kg

A. Performa Respon Kurva	B. 1kg	C. 2kg
D. <i>tr</i> (rise time)	E. 3.43s	F. 4.48s
G. <i>ts</i> (settling time)	H. 6s	I. 15s
J. <i>tp</i> (peak time)	K. 4s	L. 6s
M. <i>Mo</i> (maximum overshoot)	N. 23.067 %	O. 24.8 %

Berdasarkan tabel di atas perbandingan antara massa 1 kg dengan massa 2kg pada Set point 1500 adalah semakin besar massa apel anna yang dimasukkan ke dalam spinner maka semakin lambat hasil respon sistemnya. Untuk waktu spinning dengan beban 1 kg dengan rpm 1500 adalah 7 menit 55 detik sedangkan untuk 2kg dengan rpm yang sama membutuhkan waktu selama 5 menit 2 detik. Bisa dilihat pada tabel 4.14 di atas *Po* sangat besar namun belum melebihi 25% settling time lambat meskipun rise time sudah cepat.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada sistem pengaturan level *feedwater heater* menggunakan PLC dan HMI, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada pengujian sensor jarak, perbandingan antara pembacaan sensor jarak pada tampilan HMI dengan pengukuran manual menggunakan penggaris memiliki nilai *error* minimal sebesar 0,3% dan *error* maksimal sebesar 4%. Dari nilai *error* tersebut menunjukkan bahwa sensor jarak dapat menunjukkan kinerja yang cukup akurat dan presisi. Dan pada rangkaian pengkondisi sinyal sensor ultrasonik, tegangan *output* yang dihasilkan mampu memberikan kinerja yang cukup optimal dengan memiliki *range output* antara 1,14V – 4,96V sehingga dapat diolah dengan baik oleh kontroler PLC.
2. Pada pengujian kontrol PID menggunakan metode Ziegler-Nichols, diperoleh parameter kontrol PID dengan nilai $K_p = 13.5$, $T_i = 0.67$, dan $T_d = 2$. Dan dari grafik respon sistem diperoleh karakteristik *error steady state* = 2.1 cm, *time rise* (T_r) = 42s, *time peak* (T_p) = 68s, *settling time* (T_s) = 58 s, dan *maksimum overshoot* (M_p) = 16.8 %. Cara kedua menggunakan manual *tuning* dengan *trial error* dan mendapatkan respon sistem terbaik saat nilai $K_p = 15$, $T_i = 0.01$, $T_d=0.02$ dan mendapatkan karakteristik sistem *error steady state* = 2.1 cm, *time rise* (T_r) = 15s, *time peak* (T_p) = 25s, settling time (T_s) = 60s, dan maksimum overshoot

(Mp) = 4.8 %. Pada pengujian kontrol PLC dan HMI, PLC mampu memberikan kinerja yang baik dan akurat untuk setiap perubahan sistem dan HMI dapat memberikan tampilan visual yang *real time* dan presisi untuk setiap respon *input* dan *output* dengan rata-rata *interval* waktu respon sebesar 0,25 second.

3. Pada pengujian sistem, dengan kontrol PID diperoleh respon sistem yang lebih cepat dan lebih stabil jika dibandingkan dengan tanpa kontroler. Saat sistem diberikan gangguan sebesar 50%, dan 100% pada pembukaan *valve* dengan waktu yang sama yaitu 49s diperoleh hasil dimana semakin besar gangguan yang diberikan kepada sistem, maka semakin besar *error* yang di hasilkan dari *settling time* awal saat di lakukan manual tuning.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada sistem pengaturan level *feedwater heater* menggunakan PLC dan HMI, maka saran dari penulis untuk pengembangan penelitian tentang alat ini lebih lanjut adalah sebagai berikut :

1. Sensor yang di gunakan untuk pembacaan levelnya menggunakan sensor yang bisa langsung di koneksikan dengan PLC agar tidak di perlukan tambahan rangkaian pengkondisi sinyal dan mikrokontroler lagi.
2. Pengembangan alat juga dapat dilakukan dengan menggunakan metode pengontrolan lain untuk mendapatkan respon sistem yang lebih baik

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Majid Agung S. (2012). "Pengontrolan Temperatur Menggunakan Metode Kontrol PID Berbasis Mikrokontroler AT90S8515". Makalah Seminar Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.
- [2] Prasetyorini, dkk (2014). "Potensi Antioksidan Berbagai Sediaan Buah Sirsak [Annona Muricata Linn] (Potential Test Of Antioxidant Various Preparation Of Soursop Fruit [Annona Muricata Linn])". Tugas akhir Fakultas MIPA Universitas Pakuan Bogor.
- [3] Priatmoko Aji (2007). "Rancang Bangun Sistem Kontrol Temperatur Ruangan Berbasis Mikrokontroler AT89S51". Tugas Akhir Program Studi D III Instrumentasi dan Elektronika Universitas Diponegoro Semarang.
- [4] Prihansanti A.H.T (2009). "Populasi Bakteri dan Jamur pada Daging Sapi dengan Penyimpanan Suhu Rendah". Tugas Akhir Jurusan Peternakan, Fakultas Pertanian, Universitas Mercu Buana, Yogyakarta.
- [5] Utomo Filda Rizky (2017). "System Kontrol Temperatur yang Terprogram pada Ekstraksi Buah Sirsak dengan Refrigerator (Cooler & Warmer) Menggunakan Metode Algoritma Fuzzy Logic " Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Malang.
- [6] Wiradhana Raditya (2015). "Sistem Pengendalian Suhu pada Tungku Bakar Menggunakan Controller PID" Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro.