

PERANCANGAN SISTEM KONTROL MOTOR BERBASIS KONTROL PID DENGAN MENGGUNAKAN MIKROKONTROLLER ATMEGA8535 PADA SIZING PROCESS SISTEM WEAVING I GREIGE DI PT. APAC INTI CORPORA

Rahmat Rizeki, Budi Setiyono, and Munawar Agus Riyadi

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

**)E-mail: rahmatrizeki01@gmail.com*

Abstrak

Seiring dengan kemajuan teknologi, banyak membawa perubahan pada otomatisasi pabrik tekstil. salah satunya adalah proses penganjian yaitu proses pemberian larutan kanji pada benang lusi dengan tujuan untuk menghasilkan benang pada kondisi tertentu dengan memasukkan benang pada proses tersebut. Pada penelitian ini, dibuat pengendalian sistem mesin penganjian dengan metode kontrol PID pada putaran motor DC dengan mikrokontroler Atmega 8535 dan sensor hall effect encoder sebagai akuisisi data serta dibantu dengan rangkaian sensor kelembaban. Sistem ini digunakan untuk melakukan simulasi proses penganjian dengan benang wol dan air sebagai pengganti bahan kanji. Benang tersebut akan dicelup dalam sebuah wadah dan selanjutnya melalui 4 silinder pemanas untuk melalui proses pengeringan dengan kecepatan motor 80 rpm dalam waktu 1-3 menit penggulungan. Hasil akan tercapai dengan menggunakan mesin sizing yang dibuat dengan air sebanyak 200 ml yang diletakkan pada wadah mekanika penganjian, dan didapatkan benang dengan kelembaban sebesar 16% dengan menggunakan kecepatan putaran 80 rpm dan lama waktu pemutaran 1 menit. Pada proses pengendalian sistem, dengan menggunakan penalaan trial error, parameter PID terbaik yang didapat adalah $K_p=1$, $K_i=1$, dan $K_d=4$. Pada pengujian dengan menggunakan penalaan PID, didapatkan tanggapan sistem yang baik dan cepat serta stabil dengan nilai rise time (t_r) = 1,6 detik, peak time (t_p)=3,2 detik, dan settling time (t_s)= 4 detik.

Kata Kunci : Sizing Process, kelembaban, kontrol PID, Motor DC.

Abstract

Along with advances in technology, many brings about changes in the textile factory automation, one of which is the sizing process that the process of starch solution on warp with the aim to produce threads on certain conditions by incorporating threads in the process. In this study, created an engine control of sizing process with PID of method control on DC motor rotation with 8535 microcontroller and hall effect sensor encoder as data acquisition and assisted with humidity sensor circuit. This system is used to simulate the sizing process with wool and water as a substitute for starch material. The thread will be dipped in a container and then through a 4-cylinder heater for the drying process with a motor speed of 80 rpm within 1-3 minutes winding. Results will be achieved by using a sizing machine created with 200 ml of water were placed in a container penganjian mechanics, and obtained thread with humidity of 16% using a rotation speed of 80 rpm and longer playback time of 1 minute. In the process control system, using a tuning trial error, PID parameters are best obtained $K_p = 1$, $K_i = 1$, and $K_d = 4$. In the test using PID tuning, obtained a good response and quick system and stable with a value rise time (t_r) = 1.6 seconds, peak time (t_p) = 3.2 seconds, and the settling time (t_s) = 4 seconds.

Keywords: Sizing Process, humidity, PID control, DC motor.

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi di dunia industri sangatlah pesat. Hal tersebut tidak lepas dari meningkatnya permintaan

konsumen terhadap barang-barang produksi dari suatu industri. Untuk mempercepat produksinya pihak industri memerlukan suatu sistem yang dapat bekerja secara efisien dan diiringi dengan melakukan penelitian pada alat produksi. Salah satu contoh upaya penelitian pada industri

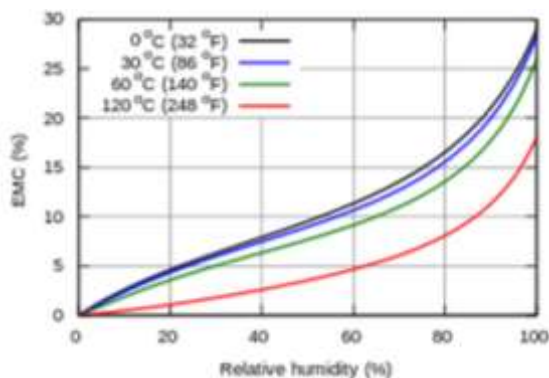
khususnya pabrik tekstil yakni penelitian mesin *sizing process* yang terdapat di salah satu divisi yang disebut dengan *Weaving Preparation*. Proses *sizing* (penganjian) adalah proses pemberian larutan kanji pada benang lusi dengan tujuan untuk meningkatkan daya tenun, memperbaiki rasa rabaan, memperbaiki mutu benang dari segi kekuatan, mulur, ketahanan gesek, dan kelenturannya serta memindahkan benang-benang lusi tunggal dari beam warping ke beam sizing atau bisa disebut beam siap tenun [1].

Bagian ini berfungsi sebagai penentu baik dan buruknya kualitas benang yang akan digunakan karena di dalamnya terdapat proses penganjian, yaitu pelapisan benang dengan kanji, sehingga benang menjadi dalam suatu kondisi dengan kelembaban yang diinginkan. Dalam tugas akhir ini penulis akan merancang aplikasi kontrol pada *plant sizing process* menggunakan mikrokontroler ATmega 8535 sebagai kontroler dan metode kontrol yang digunakan adalah kontrol PID. Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah membuat model mesin penganjian berbasis kontrol PID dengan menggunakan mikrokontroler Atmega8535 yang dapat mengatur kecepatan motor berdasarkan kelembaban.

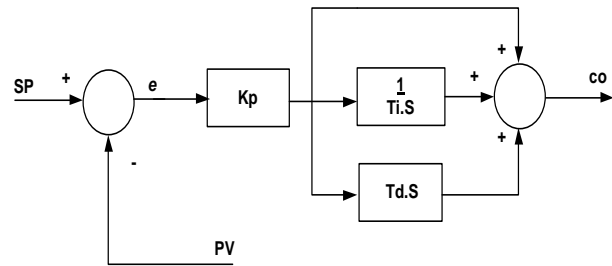
2. Metode

2.1 Proses Penganjian (*Sizing Process*)

Tujuan utama penganjian adalah untuk meningkatkan daya tenun benang lusi, karena dalam proses pertununan benang lusi banyak mengalami gesekan-gesekan, tarikan-tarikan serta hentakan-hentakan, untuk itu diperlukan peningkatan ketahanan gesek serta kekuatan tarik benang lusi yang akhirnya sangat mempengaruhi mutu kain yang dihasilkan dan dapat memperlancar jalannya proses



Gambar 1 Grafik *Equilibrium Moisture Content* (EMC) untuk kayu



Gambar 2 Struktur kontrol PID ideal bentuk *dependent* [5]

pertununan, dimana putus benang lusi berkurang dan benang lusi tidak berbulu[2]. Proses penganjian pada dasarnya terdiri dari beberapa tahap, yaitu benang-benang lusi ditarik, direndam dalam larutan kanji, dipress dengan roll, dikeringkan, dan kemudian digulung ke dalam *beam sizing*[3].

2.2 Moisture Content

Moisture content adalah jumlah air yang terkandung dalam bahan seperti tanah, batu, buah, atau kayu. Kadar air ini digunakan dalam berbagai bidang ilmiah dan teknis dan dinyatakan dengan rasio kering atau 0% hingga benar-benar basah 100% [5]. Untuk menentukan moisture content (mc) dapat menggunakan rumus 2.1.

$$MC = \frac{A-B}{B} \times 100\% \quad (2.1)$$

Dimana:

- MC = Moisture content (%)
- A = massa sebelum dikeringkan (gram)
- B = Massa setelah dikeringkan (gram)

Equilibrium Moisture Content (EMC) yang ditunjukkan oleh Gambar 1 adalah kadar air suatu padatan yang berada dalam keseimbangan dengan udara pada suhu dan kelembaban tertentu. EMC biasanya digunakan untuk memperkirakan nilai kadar air didalam suatu jenis barang tertentu dengan hanya mengetahui nilai relative humidity (RH) dan suhu.

2.3 Kontrol Proporsional, Integral, dan Derivatif (PID)

Kontrol PID merupakan gabungan dari tiga macam metode pengontrol, yaitu pengontrol proporsional (*Proportional Controller*), pengontrol integral (*Integral Controller*), dan pengontrol turunan (*Derivative Controller*)^[5]. Gambar 2 menunjukkan struktur kontrol PID ideal.

Bentuk umum dari kontrol PID ideal dalam bentuk kontinyu dapat dilihat dalam persamaan 2.2 [5].

$$U(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (2.2)$$

dengan

- U(t) = *output* kontroler atau sinyal kontrol,
- e(t) = *error* (e = SP - PV),
- K_p = *gain* proporsional,
- T_i = waktu integral,
- T_d = waktu derivatif.

Persamaan kontrol PID ideal dalam kawasan diskret yang ditanam ke dalam sistem mikroprosesor memiliki bentuk seperti pada persamaan 2.2, di mana persamaan tiap penguatnya dapat ditulis seperti pada persamaan 2.3, persamaan 2.4, dan persamaan 2.5 [5]. Aksi kontrol PID pada dasarnya bertujuan untuk menggabungkan kelebihan komponen-komponen dasar kontrol PID untuk memperbaiki respon sistem.

$$U_p(t) = K_p \cdot e(t) \quad (2.3)$$

$$U_i(t) = \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (2.4)$$

$$U_d(t) = K_p T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (2.5)$$

2.4 PWM (Pulse Width Modulation)

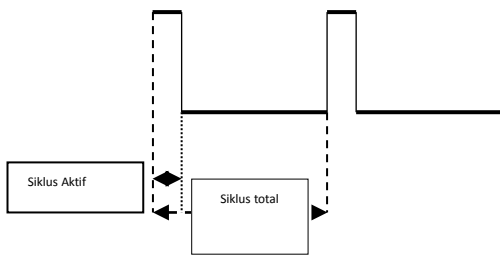
PWM digunakan dalam pengaturan tegangan, tegangan beban diatur dengan cara mengatur *duty cycle* dari gelombang kotak yang di-supply-kan ke basis dari *switching* transistor. *Duty cycle* adalah presentase besar siklus aktif di dalam satu frekuensi pita tegangan. Untuk mengukur *duty cycle* dapat digunakan rumus sesuai dengan persamaan 2.6 [5].

$$duty\ cycle = \frac{siklus\ aktif}{siklus\ total} \times 100\% \quad (2.6)$$

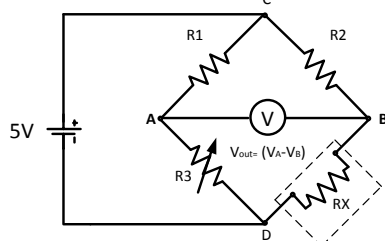
Bentuk *duty cycle* dapat dilihat seperti pada Gambar 3.

2.5 Jembatan Wheatstone

Jembatan wheatstone merupakan susunan rangkaian listrik untuk mengukur nilai hambatan kawat penghantar dengan menghubungkan kawat penghantar pada sumber tegangan dan dua buah resistor tetap serta sebuah resistor variabel yang selanjutnya sebagai pembanding hasil untuk melihat tingkat keakuratan hasil pengukuran hambatan (R) kawat tersebut secara teori[4].



Gambar 3 *Duty cycle* pada siklus tegangan [5]



Gambar 4 Rangkaian jembatan wheatstone untuk mengukur R_x

Pada Gambar 4 hambatan yang tidak diketahui besarnya dipasang pada R_4 (R_x), sedangkan R_3 diganti dengan sebuah potensiometer. Maka besar R_x dapat dihitung dengan persamaan 2.7 sebagai berikut[21]:

$$V_{AB} = \left(\frac{R_x}{R_3 - R_x} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) e \quad (2.7)$$

Tegangan yang muncul dari ketidakseimbangan jembatan Wheatstone tersebut yang nantinya akan dijadikan sebagai penginderaan sensor kelembaban pada benang yang melalui proses penganjian.

2.6 Perancangan Sistem

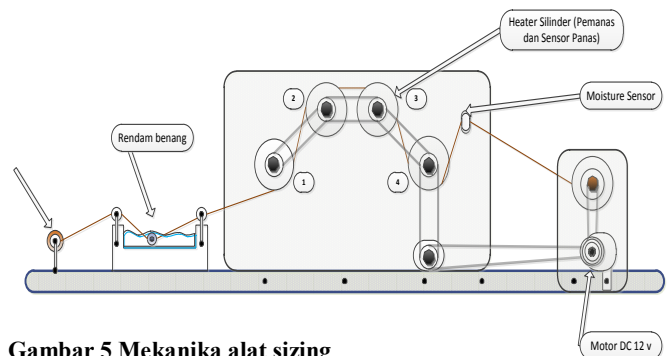
2.6.1 Perancangan Mekanika Sizing

Mekanika dibuat dengan menggunakan motor DC dan 4 buah silinder pemanas dimana *shaft* motor dihubungkan dengan *gearbox* yang terhubung dengan rantai dan gear pemutar. Gambar 5 menunjukkan mekanika penganjian yang dibuat.

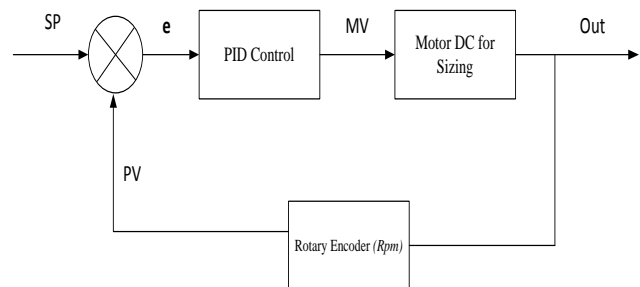
Pengendalian putaran di dalamnya dilakukan dengan menggunakan Mikrokontroler Atmega 8535 dengan berbasis metode kontrol PID, sedangkan sensor yang digunakan adalah *encoder hall effect* dan *wheatstone bridge* sebagai sensor kelembaban. Gambar 6 menunjukkan diagram blok sistem pengendalian pada mesin sizing yang dibuat dengan adanya set point, kemudian *error* akan memberikan respon dengan *manipulated value* (mv) sebagai output kontrol dan *process value* (pv) sebagai *feedback*.

2.6.2 Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

Perancangan sistem yang dibuat dapat dilihat dalam skematik pada Gambar 7.



Gambar 5 Mekanika alat sizing



Gambar 6 Diagram blok kendali sistem

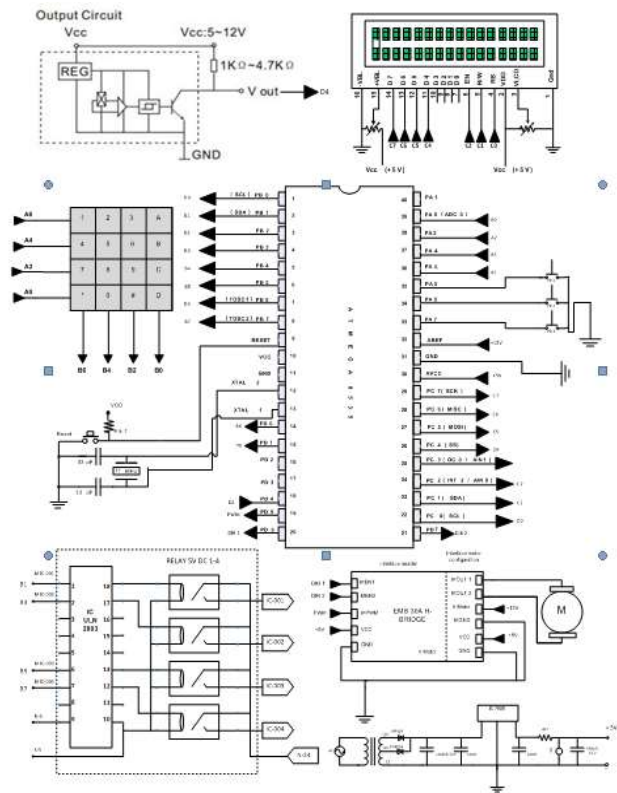
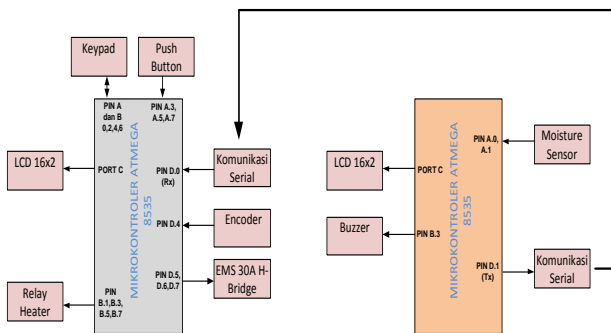
Mesin penganjian ini terdiri dari dua buah Mikrokontroller Atmega 8535 yaitu mikrokontroller utama dan mikrokontroller slave. Pengendalian putaran motor dan pemanas dilakukan oleh mikrokontroller utama, sedangkan pembacaan kelembaban dilakukan oleh mikrokontroller slave yang nantinya akan dikirim secara serial menuju mikrokontroller utama.

2.6.3 Perancangan Kontroler PID

Kontrol PID diaplikasikan untuk mengontrol putaran mesin sehingga dapat berputar sesuai dengan putaran yang diinginkan (sp_{rpm}). Gambar 6 menunjukkan diagram blok kendali sistem.

Masukan sistem berupa nilai putaran yang diinginkan (sp), data putaran yang dilakukan akan diumpun balikkan oleh sensor (pv). $error$ yang didapat adalah $sp - pv$. Nilai kontroler PID digunakan untuk memperbaiki sinyal keluaran sistem (mv).

Pada sistem yang akan dibuat ini, rancangan kontroler PID akan dibuat dalam bentuk PID digital dan ditanamkan dalam mikrokontroller dengan menggunakan bahasa C. Dasar perhitungan dan fungsi alih persamaan kontroler didapatkan berdasarkan persamaan kontroler digitalnya tertera pada persamaan 2 – 5 pada dasar teori.



Gambar 7 Skematik perancangan mikro utama

2.6.4 Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Pemrograman mikrokontroller ATmega 8535 dapat dilakukan dengan bahasa C. Perancangan *software* pada tugas akhir ini juga menggunakan bahasa C dengan kompilier Code Vision AVR versi 2.05.3. Diagram alir jalannya program utama atau *statechart* dapat dilihat pada Gambar 8.

Secara umum perancangan perangkat lunak pada mesin sentrifugasi dengan mikrokontroller ATmega 8535 terdiri atas :

- Perancangan program utama.
- Program inialisasi I/O dan variabel.
- Program *keypad*.
- Program tampilan LCD 2x16.
- Program *sampling* data dan *timer*
- Program pengambilan data putaran
- Program pengaktifan motor
- Program pengaktifan pemanas
- Program kontroler PID dan pengendalian motor
- Program diagram alih kondisi (*state*)
- Program pengiriman data serial

3. Hasil Dan Analisa

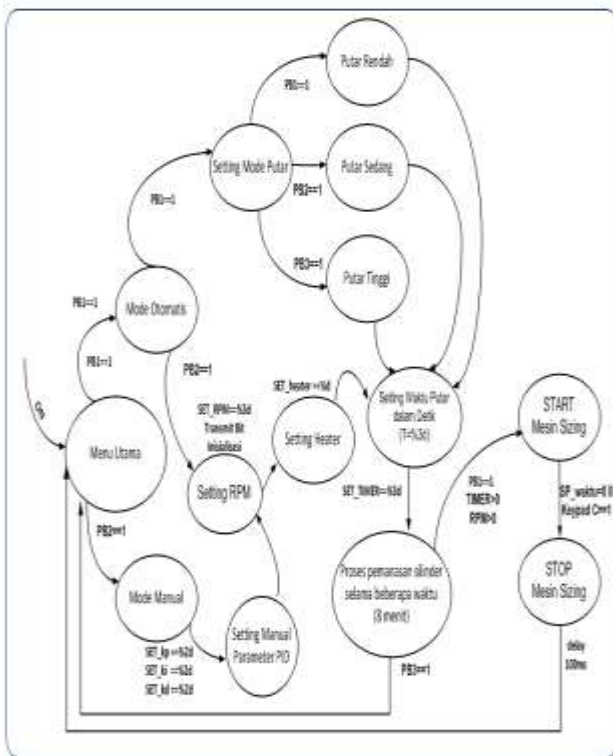
3.1 Pengujian Power Supply

Hasil keluaran tegangan pada supply 5 V dan 30 V dapat dilihat pada Tabel 1.

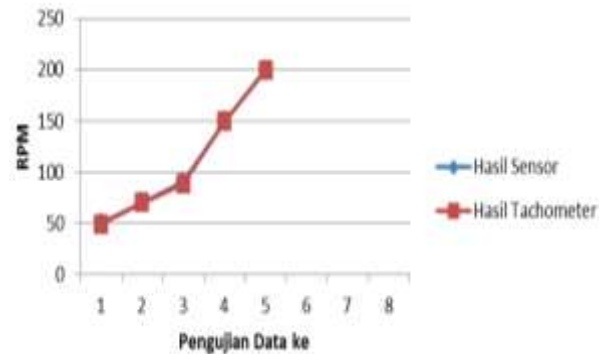
Tabel 1 Data pengujian power supply

Power Supply	Bentuk Pengujian	Nilai Tegangan (V)	Nilai Arus (A)
5 V	Beban kosong	5,12	-
	Dengan beban	5,02	0,02
12 V	Beban kosong	12,04	-
	Dengan beban	11,24	0,04
24 V	Beban kosong	24,02	-
	Dengan beban	24,00	0,04

Dari hasil pengujian terlihat bahwa power supply dapat bekerja dengan baik dikarenakan nilai tegangan yang terdapat pada output sesuai dengan besar tegangan yang diharapkan.



Gambar 8 Statechart program utama



Gambar 9 Grafik perbandingan sensor hall effect encoder dengan tachometer

3.2 Pengujian Sensor Hall Effect Encoder

Pengujian sensor dilakukan dengan membandingkan hasil keluaran pada sensor yang tertera dalam LCD dengan tachometer. Data hasil pengujian dapat dilihat dalam Tabel 2.

Tabel 2 Hasil pengujian sensor hall effect encoder

No	Set RPM (SP)	Hasil Sensor	Hasil Tachometer
1	50	50	49,4
2	70	70	70,5
3	90	90	89,2
4	150	150	149,8
5	200	200	197,8

Gambar 9 menunjukkan grafik perbandingan pengujian sensor rotary encoder dengan tachometer.

Berdasarkan hasil pengujian yang tertera pada Tabel 2, dapat diambil kesimpulan bahwa data antara hasil pembacaan sensor dengan data dari tachometer hampir sama, selisih yang terjadi rata-rata antara 0-1 rpm saja.

3.3 Pengujian LCD (Liquid Crystal Display)

Pengujian pada LCD dilakukan dengan menulis listing program berikut pada fungsi state().

```
lcd_gotoxy(0,0); lcd_putsf(" Mulai? ");
lcd_gotoxy(0,1); lcd_putsf(" Ya/Batal ");
```

Listing diatas ditulis pada program utama, sehingga muncul tulisan dalam tanda petik tersebut pada LCD. Pada baris pertama bertuliskan " Mulai? " sedangkan pada baris kedua bertuliskan " Ya/Batal? ", sehingga LCD dapat berfungsi dengan baik.

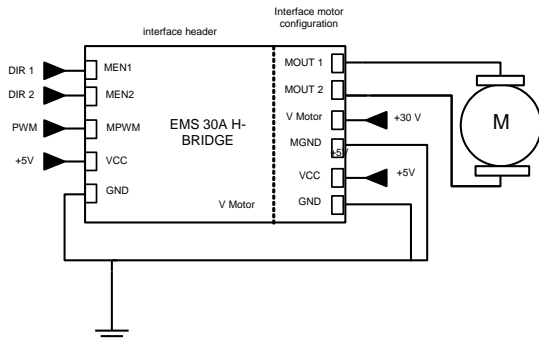
3.4 Pengujian Keypad

Pengujian keypad dilakukan dengan menekan setiap tombol yang ada pada keypad dan menampilkan data yang dihasilkannya ke LCD. Setiap tombol pada keypad menghasilkan kode yang berbeda-beda, misalnya ketika ditekan tombol masukan angka 1 kemudian 7 muncul

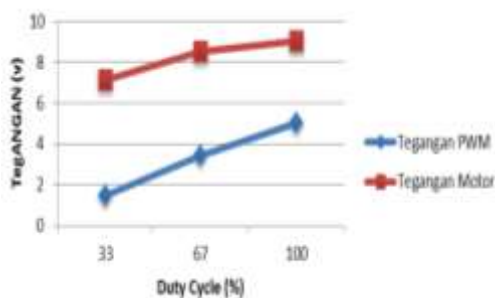
tulisan pada LCD berupa angka puluhan “17”, dapat dikatakan *keypad* berfungsi dengan baik.

3.5 Pengujian EMS 30A H-Bridge

Pengujian dilakukan dengan mengatur rangkaian EMS sesuai dengan konfigurasi yang dibutuhkan, yaitu *supply*, *ground*, pin PWM dan pin *V output*. Gambar 10 menunjukkan konfigurasi rangkaian pengujian EMS.



Gambar 10 Rangkaian pengujian EMS



Gambar 11 Grafik pengujian EMS 30 A H-Bridge



Gambar 12 Bentuk gelombang PWM *duty cycle* 33%,66% dan 100%

Dengan menggunakan rangkaian tersebut, dilakukan pengujian PWM dengan memberikan *input* PWM dari mikrokontroler dan juga pengaturan *directory* motor.^[14] Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Data pengujian EMS 30A H-Bridge

Nilai PWM (0-1023) (Duty Cycle)	Tegangan PWM (V)	Tegangan Motor (V)
300 (33%)	1,47	7,10
700 (67%)	3,43	8,50
1023 (100%)	5,01	9,04

Berdasarkan data hasil pengujian yang dilakukan, dapat disajikan dalam bentuk grafik. Gambar 11 menunjukkan grafik pengujian pada EMS 30 A H-Bridge, sedangkan Gambar 12 menunjukkan bentuk gelombang PWM berdasarkan *duty cycle*-nya..

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat ditunjukkan bahwa EMS dapat berfungsi dengan baik. Pengujian nilai PWM yang dikeluarkan oleh mikrokontroler juga dapat mengatur *duty cycle* dengan baik.

3.6 Pengujian Pembacaan Kelembaban Benang dengan Rangkaian Wheatstone Bridge

Pengujian pembacaan kelembaban dilakukan dengan membandingkan pembacaan kelembaban yang dihasilkan dengan formula rumus yang dibuat dengan pembacaan *adc* secara langsung. Selain itu pengujian juga dilakukan dengan mengukur kelembaban (*Moisture Content*) pada *plant* yang dibandingkan dengan pembacaan pada alat ukur *moisture* meter. Pembacaan sensor untuk pengujian ini dibatasi pada *range* kelembaban 1%-47%.

Tabel 4 Data pengujian EMS 30A H-Bridge

Pembacaan Nilai Adc	Moisture Meter (%)	Pengukuran Moisture Content (%)	Error(%)
1023	0%	1%	1
1020	5%	3%	2
1014	11%	9%	2
1007	19%	16%	3
988	36%	35%	5
982	42%	47%	5
Error rata-rata			3

Dari data pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa pembacaan rangkaian jembatan *wheatstone* dengan *moisture* meter didapatkan selisih rata-rata sebesar 3 %.

3.7 Pengujian Keseluruhan Sistem

3.7.1 Pengujian Sistem Tanpa Kontroler

Pengujian dilakukan dengan *set point* rpm (*sp rpm*) sebesar 400 rpm. Respon sistem dapat dilihat pada Gambar 14.

Berdasarkan pengujian dapat dilihat jika respon sistem masih sangat buruk, memiliki waktu naik (*tr*) yang tinggi dengan nilai 3,8 detik dan *settling time* (*ts*) 15 detik dengan *error steady state* yang tinggi. Dengan demikian, pemberian kontroler PID diperlukan untuk memperbaiki respon sistem.

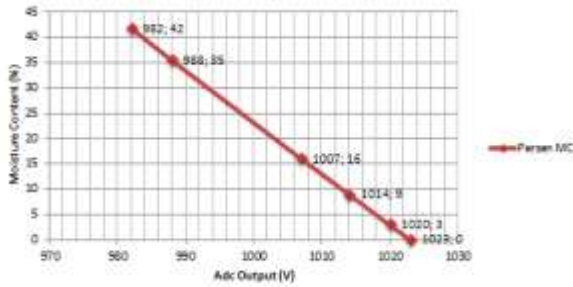
3.7.2 Pengujian Sistem Dengan Menggunakan Kontroler PID

Pengujian ini dilakukan secara kontinu dengan variasi data yang sangat banyak. Tabel 5 menunjukkan variasi data penalaan parameter.

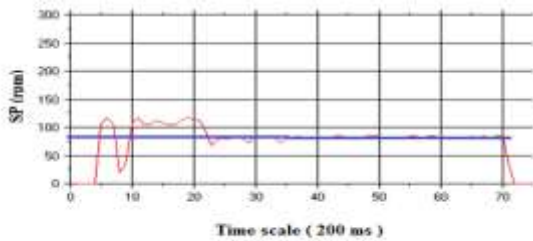
Tabel 5 Variasi data pengujian penalaan parameter PID

No	Kp	Ki	Kd
1	1	1	4
2	5	1	4
3	1	5	4
4	1	1	0
5	1	0	0

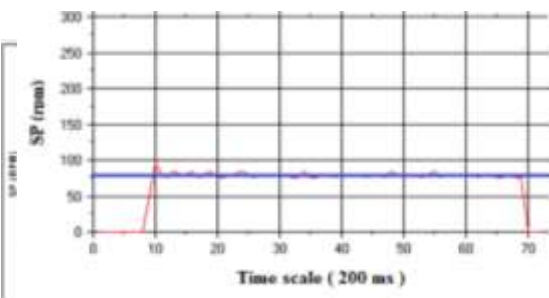
Dengan mengacu data penalaan parameter pada Tabel 5, keluaran sistem dapat dilihat pada *interface* penampil data. Gambar 15 sampai Gambar 19 menunjukkan hasil keluaran sistem.



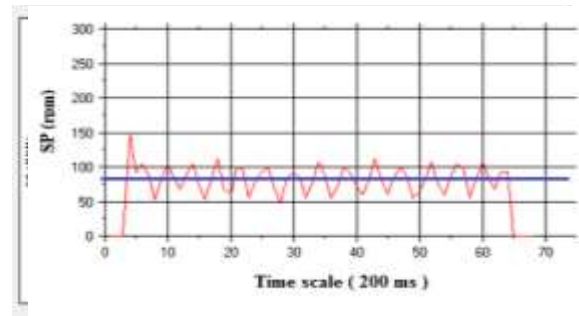
Gambar 13 Grafik pengujian pembacaan A/D dan *moisture content*



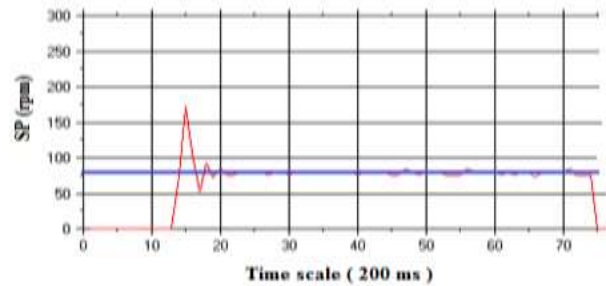
Gambar 14 Respon sistem tanpa kontroler



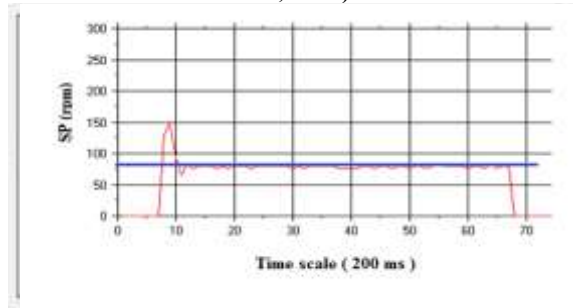
Gambar 15 Hasil respon sistem dengan kontroler PID (kp=1, ki=1, kd=4)



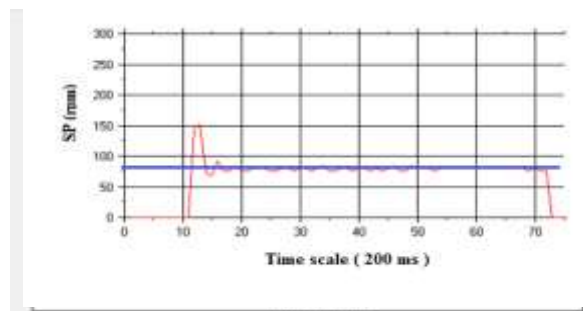
Gambar 16 Hasil respon sistem dengan kontroler PID (kp=5, ki=1, kd=4)



Gambar 17 Hasil respon sistem dengan kontroler PID (kp=1, ki=5, kd=4)



Gambar 18 Hasil respon sistem dengan kontroler PID (kp=1, ki=1, kd=10)



Gambar 19 Hasil respon sistem dengan kontroler PID (kp=10, ki=0, kd=15)



Gambar 20 Benang wol pada gulungan awal



Gambar 21 Hasil proses *sizing* dapat dilihat pada layar LCD

Tabel 6 Hasil respon sistem dengan kontroler PID

No	kp	ki	kd	tr (s)	tp (s)	ts (s)	Keterangan
1	1	1	4	1,6	3,2	4	Stabil State
2	5	1	4	1,4	2,4	8,6	Osilasi
3	1	5	4	1,8	3,8	5,6	Overshoot
4	1	1	0	1,4	3,6	4	Stabil
5	1	0	0	1,4	3,6	5	Stabil

Berdasarkan hasil respon sistem, dapat diambil kesimpulan bahwa nilai *gain* yang cukup optimal adalah saat $K_p=1$, $K_i=1$, $K_d=4$. Pada saat parameter PID diberi nilai *gain* tersebut, sistem memiliki respon naik yang cepat (1,6 detik), *overshoot* yang kecil dan waktu puncak yang cepat (3,2 detik) dan *settling time* yang cepat pula (4 detik).

3.8 Pengujian Aplikasi Alat untuk Penganjian benang

Proses penganjian benang memiliki beberapa tahapan agar benang dalam kondisi yang akan diharapkan. Langkah-langkah penganjian benang dengan mesin *sizing* yang dibuat ini adalah sebagai berikut :

1. Peletakan gulungan benang pada tempat penggulangan awal benang.
2. Proses penganjian dengan rpm 80 selama 1-3 menit beserta 4 silinder pemanas.

Berdasarkan hasil yang didapatkan, dapat diambil kesimpulan jika alat dapat digunakan sebagai purwarupa penganjian, di mana dengan benang wol yang dicelupkan 200 ml air, dengan melakukan proses penganjian dengan kecepatan 80 rpm dalam waktu 3 menit, telah didapatkan benang dengan kelembaban $\pm 16\%$.

Hal ini ditunjukkan pada Gambar 20 dan Gambar 21.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Pada pengujian penganjian benang dengan mesin *sizing* yang dirancang, didapatkan hasil bahwa mesin *sizing* yang dibuat dapat digunakan untuk membuat benang dalam keadaan kelembaban tertentu. Rincian produk yang dihasilkan adalah dengan menggunakan 4 silinder pengering dan dilakukan proses *sizing* dengan kecepatan 80 rpm, didapatkan hasil benang dengan kelembaban sebesar $\pm 16\%$.
2. Pada pengujian sistem tanpa menggunakan kontroler, respon sistem masih sangat buruk, yaitu memiliki waktu naik (t_r) yang tinggi dengan nilai 3,8 detik dan *settling time* (t_s) 15 detik dengan *error steady state*.
3. Pada pengujian sistem dengan kontroler PID, didapatkan respon sistem yang baik dengan waktu naik (t_r) = 1,6 detik, waktu puncak (t_p) = 3,2 detik dengan *overshoot* rendah, dan waktu stabil atau *settling time* (t_s) = 4 detik tanpa osilasi tinggi.
4. Pada penalaan parameter kontroler PID dengan menggunakan metode *trial error*, didapatkan nilai penguat terbaik yaitu $k_p=1$, $k_i=1$, $k_d=4$.
5. Pada respon sistem yang dibuat, *gain* integral (k_i) cenderung memperburuk sistem. Hal ini teruji saat perbandingan hasil respon sistem dengan k_p , k_i , k_d = 1, 1, 4 dan 1, 5, 4. Saat menggunakan nilai *gain* integral (k_i) yang kecil hasil respon sistem t_r , t_p , dan t_s berturut-turut adalah 1,6 detik, 3,2 detik, dan 4 detik tanpa ada *error steady state*, sedangkan saat menggunakan nilai *gain* integral yang besar adalah 1,8, detik, 3,8 detik, dan 5,6 detik.
6. Pada pengujian respon sistem dengan kontroler PID, didapatkan hasil bahwa nilai k_p terbaik adalah 1, jika dinaikkan maka sistem akan mengalami *overshoot*. Hal ini ditunjukkan saat variasi *gain* k_p = 1, k_i = 1, k_d = 4, dibandingkan dengan variasi *gain* k_p = 5, k_i = 1, k_d = 4. Didapatkan hasil pada pengujian sistem pertama mengalami *rise time* (t_r) = 1,6 detik dan *settling time* pada 4 detik tanpa osilasi dan *overshoot* rendah, sementara pada sistem kedua didapatkan hasil *rise time* (t_r) = 1,4 dan *settling time* (t_s) pada 8,6 detik, serta keadaan respon yang kesulitan mencapai titik kestabilan.

Referensi

- [1] Danil Saputra, Oki. 2011. "Aplikasi Sensor-Sensor Pada Proses Take Up Di HS20-II Spun Sizing Machine Di PT Primatexco Indonesia," Laporan Kerja Praktek. UNDIP, Indonesia.
- [2] Susy Nursayidah, Dekkeu. 1995. "Pengaruh Variasi Suhu Dan Konsentrasi Larutan Kanji Pada Proses Penganjian Benang Kapas Ne1 50S," Skripsi Sarjana SI, Fakultas Teknologi Industri UII, Yogyakarta, Indonesia.

- [3] Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*, diterjemahkan oleh Edi Leksono, Erlangga, Jakarta, 1994.
- [4] Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Automatik Jilid 2*, diterjemahkan oleh Edi Leksono, Erlangga, Jakarta, 1994.
- [5] Setiawan, Iwan, *Kontrol PID untuk Proses Industri*, Elex Media Komputindo, Jakarta, 2008.
- [6] Andrianto, Heri. "Pemrograman Mikrokontroler AVR Atmega16: Menggunakan Bahasa C (CodeVision AVR)," Penerbit Informatika, Bandung. 2007.
- [7] Sasongko, Bagus Hari, *Pemrograman Mikrokontroler dengan Bahasa C*, PENERBIT ANDI, Yogyakarta, 2012.
- [8] Adi Sulistiono, Achmad. "Perancangan Sistem Pengendali Pada Prototype Rumah Jamur Menggunakan PLC Omron CPM1A," *Skripsi Sarjana SI*, Fakultas Teknik UNDIP, Semarang, Indonesia.
- [9] Salamena, Vicky. 2012. "Simulasi Karakteristik Arus dan Kecepatan Motor DC Terhadap Masukan Penyearah Gelombang Penuh di Simulink-Matlab," *Thesis Dosen*. Politeknik Negeri Ambon, Indonesia.
- [10] Steffi Maharani, Aldea. 2011. "Aplikasi Kontrol PID Untuk Pengendalian Ketinggian Level Cairan Menggunakan TCP/IP," *Skripsi Sarjana SI*, Fakultas Teknik UNDIP, Semarang, Indonesia.
- [11] Permata Sari, Ranti. "Penalaan Parameter Kontrol PID Dengan Metode Heuristic, Aplikasi : Sistem Pengendalian Kecepatan Motor DC," *Skripsi Sarjana SI*. Fakultas Teknik ITS, Surabaya, Indonesia.
- [12] -----, *ATmega8535 Data Sheet*, <http://www.atmel.com>.
- [13] -----, *Liquid Crystal Display Module HD44780 : User Manual*, HITACHI, Japan, 1998.
- [14] -----, *EMS 30 A H-Bridge Manual Book.*, Innovative Electronics. Texas, USA.
- [15] Apriantoro, Ebtian., "Perancangan Mesin Sentrifugasi Berbasis Kontrol PID dengan Menggunakan Mikrokontroller ATmega 8535 untuk Pembuatan Virgin Coconut Oil (VCO) dari Santan Kelapa", Tugas Akhir S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2014.