

PERANCANGAN MESIN SENTRIFUGASI BERBASIS KONTROL PID DENGAN MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER ATMEGA 8535 UNTUK PEMBUATAN *VIRGIN COCONUT OIL (VCO)* DARI SANTAN KELAPA

Ebtian Apriantoro^{*)}, Sumardi, and Budi Setiyono

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

^{*)} Email: ebtianapriantoro@gmail.com

Abstrak

Kelapa merupakan salah satu hasil perkebunan yang sangat lazim ditemui di Indonesia. Salah satu produk hasil pengolahan kelapa adalah minyak kelapa murni atau VCO (Virgin Coconut Oil). Dewasa ini, pembuatan VCO dari santan kelapa dapat dilakukan dengan teknik sentrifugasi, yaitu dengan memanfaatkan gaya sentrifugasi untuk memecah emulsi senyawa yang ada di dalamnya. Pada penelitian ini, dilakukan perancangan mesin sentrifugasi berikut pengendaliannya dengan metode kontrol PID. Plant sistem adalah sebuah motor DC yang dilengkapi dengan mekanika sentrifugasi berikut panel kontrolnya. Pengendalian putaran sistem dilakukan oleh mikrokontroler Atmega 8535 dengan sensor rotary encoder. Sistem ini nantinya akan digunakan untuk membuat VCO dengan bahan bakunya adalah santan kelapa. Santan tersebut akan disentrifugasi dengan kecepatan 400 rpm dalam waktu 30-60 menit. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa sistem dapat berfungsi dengan baik. Hasil proses yaitu dengan cream santan sebanyak 50 ml, didapatkan VCO sebesar ± 15 ml dengan menggunakan kecepatan putaran 400 rpm dan lama waktu pemutaran 35 menit. Pada proses pengendalian sistem, dengan menggunakan penalaan trial error, parameter PID terbaik yang didapat adalah $K_p=6$, $K_i=0$, dan $K_d=15$. Pada pengujian dengan menggunakan penalaan PID, didapatkan tanggapan sistem yang baik dan cepat serta stabil dengan nilai rise time (t_r) = 4,4 detik, peak time (t_p)=5,6 detik, dan settling time (t_s) = 7 detik.

Kata kunci : *sentrifugasi, VCO, kontrol putaran, kontrol PID*

Abstract

Coconuts is one of familiar product of plantation that can be founded in Indonesia. As one of plantation is Virgin Coconut Oil (VCO). In the last time, VCO can be produced with centrifuge methods, that is make a constant rotation for the ingredients and use the centrifuge force to extract the compounds's emulsion inside them. At this research, has be made a prototipe of centrifuge machine and its control systems using PID control. The plant is a DC motor with centrifuge mechanism and completed with its control panel. Control of rotation is done by mikrokontroler Atmega 8535 and used rotary encoder for the sensor. The systems will be used to make Virgin Coconut Oil (VCO) from milk sequeezed of coconuts. That milk sequeezed of coconuts then be centrifuge at speed 400 rpm in 35 minutes. From the experiment result, systems can works properly. The result of process experiment is using 50 ml milk sequeezed of coconut's cream, can be produced ± 15 ml VCO with 400 rpm centrifuge in 35 minutes. In the controlling processes, used the trial error method for tuning gain PID, the best gain value for each parameter is, $k_p=6$, $k_i=0$, $k_d=15$. At this control experiment with PID control, the respon systems is good and stable with the rise time (t_r) = 4,4 seconds, peak time (t_p) = 5,6 seconds, and settling time (t_s) = 7 seconds.

Keywords : *Centrifuge, VCO, rotation control, PID control.*

1. Pendahuluan

Meskipun Indonesia merupakan negara penghasil kelapa terbesar dunia, produksi produk agroindustri kelapa Indonesia masih minim. Hal ini menyatakan bahwa komoditas kelapa di Indonesia hanya dimanfaatkan produk primernya saja, sedangkan pengembangan dan

pemanfaatan produk hilir serta hasil samping belum banyak dilakukan. Salah satu produk yang bernilai tinggi yang dihasilkan dari kelapa dan belum dimaksimalkan produksinya adalah VCO (*Virgin Coconut Oil*) atau minyak kelapa murni.

Penelitian sebelumnya telah dilakukan pembuatan VCO dengan cara memecah emulsi dengan proses sirkulasi

pemompaan dengan *variable* tekanan, serta melewatkannya ke *nozzle* dengan tekanan 2 atm selama 20 menit, maka akan didapatkan *yield* optimum sebesar 97% [6]. Metode tersebut sejatinya memanfaatkan mekanisme sentrifugasi, dengan aktuator pompa. Keberhasilan penelitian tersebut ditandai dengan mampu terpecahnya emulsi minyak pada *cream* santan, dan dididapkannya VCO meskipun belum sempurna.

Menindaklanjuti hasil penelitian yang pernah dilakukan, maka dalam penelitian ini ingin dibuat perangkat keras yang dapat memberikan otomatisasi dalam produksi VCO, yaitu dengan membuat mesin sentrifugasi berbasis kontrol PID dengan menggunakan mikrokontroler Atmega 8535, serta dapat digunakan untuk membuat VCO dari santan kelapa dengan putaran mesin sebesar 400 rpm dalam waktu 30-60 menit.

2. Metode

2.1 Minyak Kelapa Murni (*Virgin Coconut Oil*)

Virgin Coconut Oil terbuat dari daging kelapa segar. VCO adalah minyak dan lemak makan yang dihasilkan tanpa mengubah minyak, hanya diperoleh dengan perlakuan mekanis dan pemakaian panas minimal. VCO diperoleh dari daging buah kelapa yang sudah tua tetapi masih segar yang diproses tanpa pemanasan, tanpa penambahan bahan kimia apapun, diproses dengan cara sederhana sehingga diperoleh minyak kelapa murni yang berkualitas tinggi. Keunggulan dari VCO ini adalah jernih, tidak berwarna, tidak mudah tengik dan tahan hingga dua tahun [7]. Gambar 1 menunjukkan produk jadi sebuah Minyak kelapa murni atau VCO.

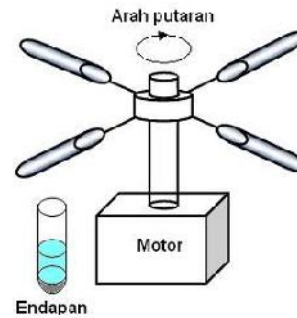


Gambar 1 *Virgin coconut oil*

2.2 Sentrifugasi

Sentrifugasi adalah pemisahan dengan menggunakan gaya putaran atau gaya sentrifugal. Metode ini dimaksudkan untuk mempercepat proses pengendapan dengan memberikan gaya sentrifugasi pada partikel partikelnya. Pemisahan sentrifugal menggunakan prinsip dimana objek diputar secara horizontal pada jarak tertentu. Apabila objek berotasi di dalam tabung atau silinder yang berisi campuran cairan dan partikel, maka campuran tersebut dapat bergerak menuju pusat rotasi, namun hal

tersebut tidak terjadi karena adanya gaya yang berlawanan yang menuju kearah dinding luar silinder atau tabung, gaya tersebut adalah gaya sentrifugasi [8]. Penggambaran teknik sentrifugasi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Pengendapan dengan teknik sentrifugasi

Persamaan gaya sentripetal yang didapat dari proses sentrifugasi ini dapat dilihat dalam persamaan 1 dan persamaan 2.

$$a_s = \omega^2 \cdot r \quad (1)$$

$$F_s = m \cdot a_s = m \cdot \omega^2 \cdot r \quad (2)$$

dimana:

F_s = gaya sentrifugal (Newton)

a_s = percepatan sentrifugal (m/s^2)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

r = jari-jari rotasi (m)

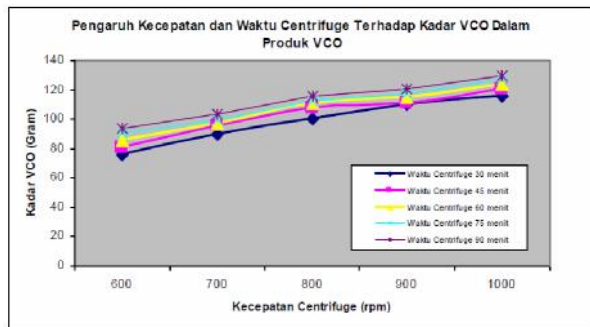
m = massa benda yang diputar (kg)

2.3 Pembuatan VCO dengan Sentrifugasi

Cara melakukan pembuatan VCO dengan metode sentrifugasi yaitu, mula-mula daging buah kelapa yang telah diparut diberi air, kemudian diperas dan disaring sehingga menghasilkan santan. Santan ditampung dalam tempat/wadah dan diendapkan selama 3 jam hingga didapatkan krim santan. Proses selanjutnya krim santan disentrifugasi sehingga diperoleh 3 (tiga) lapisan, yaitu lapisan minyak, *blondo* (protein), dan air. Ketiga lapisan tersebut merupakan komposisi didalam santan yang terpisah karena perbedaan berat jenis. Lapisan paling atas yang berupa minyak merupakan produk *Virgin Coconut Oil* (VCO).

Penelitian sebelumnya menunjukkan, bahwa perbandingan antara volume santan dengan VCO yang dihasilkan adalah 1 : 15, dengan menggunakan santan sebanyak 1,5 liter (satu buah kelapa), dihasilkan VCO sebanyak kurang lebih 91 gram. Proses sentrifugasi pada santan kelapa dilakukan dengan variasi putaran dari 600-1000 rpm, dan waktu pemutaran 30, 40, 60, dan 90 menit, didapatkan hasil emulsi minyak dan terbentuk dalam tiga lapisan. Emulsi ini terdiri dari air, *blondo*, dan VCO. Variasi penggunaan kecepatan dan waktu pada penelitian

yang dilakukan ini tidak mempengaruhi pada terbentuk atau tidaknya VCO, melainkan hanya berpengaruh pada banyaknya VCO yang dibuat. Semakin tinggi putaran yang dilakukan dan semakin besar lama waktu pemutaran, maka hasil VCO yang dibuat semakin besar^[8]. Gambar 3 menunjukkan grafik hasil pengujiannya.

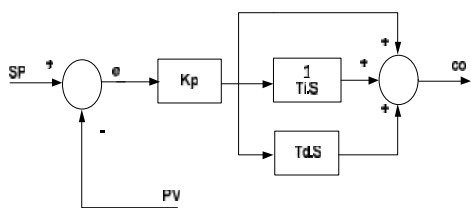


Gambar 3 Grafik pengaruh kecepatan dan waktu pada pembuatan VCO metode sentrifugasi^[8]

Berdasarkan hasil penelitian yang pernah dilakukan, terlihat bahwa VCO dapat dibuat dengan metode sentrifugasi, di mana besarnya kecepatan putar dan lama waktu pemutaran berpengaruh terhadap VCO yang dihasilkan^[8]. Dengan mengacu pada penelitian di atas, maka akan dicoba pembuatan VCO dengan variasi putaran sebesar 400 rpm dalam waktu 30-60 menit.

2.4 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 4 menunjukkan struktur kontrol PID ideal.



Gambar 4 Struktur kontrol PID ideal bentuk dependent^[5]

Bentuk umum dari kontrol PID ideal dalam bentuk kontinyu dapat dilihat dalam persamaan 3^[5].

$$U(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (3)$$

dengan

$$U(t) = \text{output kontroler atau sinyal kontrol,}$$

$$e(t) = \text{error (e = SP - PV),}$$

$$K_p = \text{gain proporsional,}$$

$$T_i = \text{waktu integral,}$$

$$T_d = \text{waktu derivatif.}$$

Realisasi kontrol PID digital akan ditemukan dalam sistem berbasis mikroprosesor. Sistem kontrol PID digital bekerja dalam basis-basis waktu diskret, sehingga persamaan matematis diskret diperlukan untuk aplikasi kontrol PID ke dalam sistem mikroprosesor. Persamaan kontrol PID ideal dalam kawasan diskret yang ditanam ke dalam sistem mikroprosesor memiliki bentuk seperti pada persamaan 4, di mana persamaan tiap penguatnya dapat ditulis seperti pada persamaan 5, persamaan 6, dan persamaan 7^[5].

$$U(k) = U_p(k) + U_i(k) + U_d(k) \quad (4)$$

dengan :

$$U_p(k) = K_p \cdot e(k) \quad (5)$$

$$U_i(k) = U_i(k-1) + \frac{K_p T_c}{T_i} e(k) \quad (6)$$

$$U_d(k) = K_p T_d \frac{(e(k) - e(k-1))}{T_c} \quad (7)$$

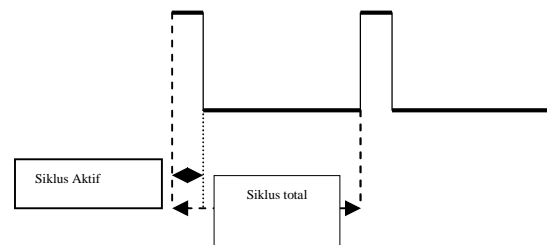
Aksi kontrol PID pada dasarnya bertujuan untuk menggabungkan kelebihan komponen-komponen dasar kontrol PID untuk memperbaiki respon sistem.

2.5 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 8^[5].

$$\text{duty cycle} = \frac{\text{siklus aktif}}{\text{siklus total}} \times 100\% \quad (8)$$

Bentuk *duty cycle* dapat dilihat seperti pada Gambar 5.

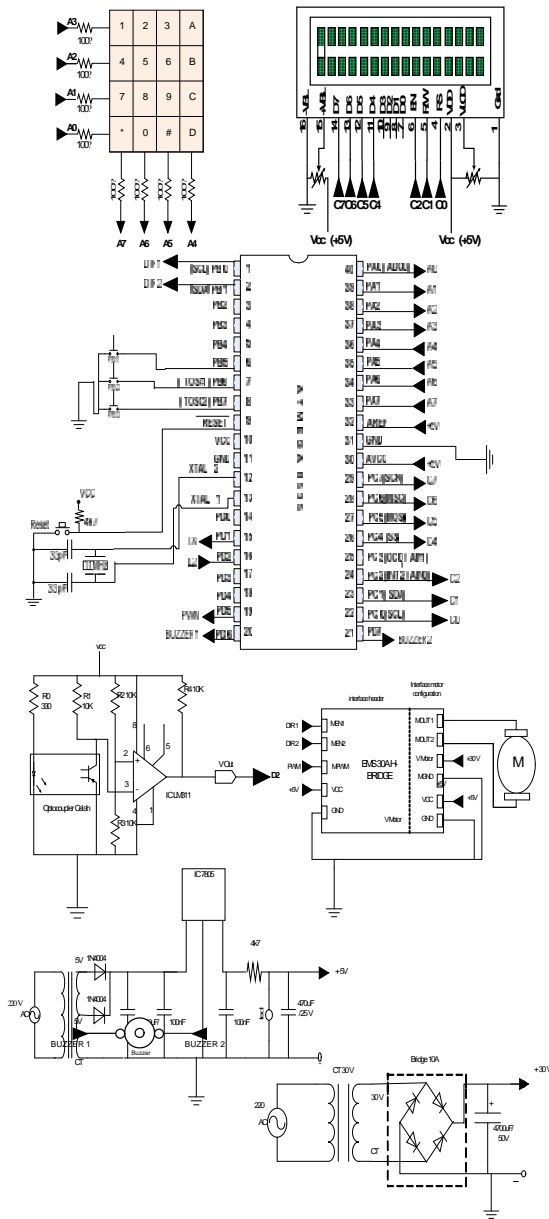


Gambar 5 Duty cycle pada siklus tegangan^[5]

PWM digunakan sebagai sinyal keluaran kontroler yang dikirimkan ke dalam motor DC untuk nantinya digunakan sebagai pengatur putaran motor. Melalui PWM, maka besar tegangan yang di-supply ke motor DC dapat diatur.

2.6 Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

Perancangan sistem yang dibuat dapat dilihat dalam skematik pada Gambar 6.



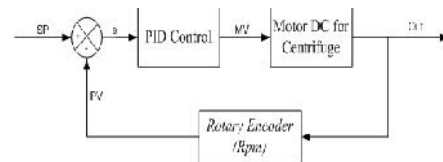
Gambar 6 Skematik perancangan hardware

Perangkat keras dalam mesin sentrifugasi ini terdiri dari beberapa komponen seperti perangkat *input output*, *power supply*, kontroler, sensor dan aktuator berikut mekaniknya. *Power supply* yang digunakan ada dua, yaitu 5 V dan 30 V. *Input* sistem menggunakan *keypad* matriks 4x4 dan *push button*, sedangkan *output*-nya adalah LCD dan buzzer sebagai indikator. Kontroler atau unit pengendali menggunakan Mikrokontroler Atmega 8535, dan sensor yang digunakan adalah *rotary encoder*. Aktuator *plant* berupa motor DC lengkap dengan

mekanika sentrifugasi dengan bantuan *driver EMS 30A H-Bridge* sebagai pengkondisi sinyalnya.

2.7 Perancangan Kontroler PID

Kontrol PID diaplikasikan untuk mengontrol putaran mesin sehingga dapat berputar sesuai dengan putaran yang diinginkan (*sp_rpm*). Gambar 7 menunjukkan diagram blok kendali sistem.



Gambar 7 Diagram blok kendali sistem

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

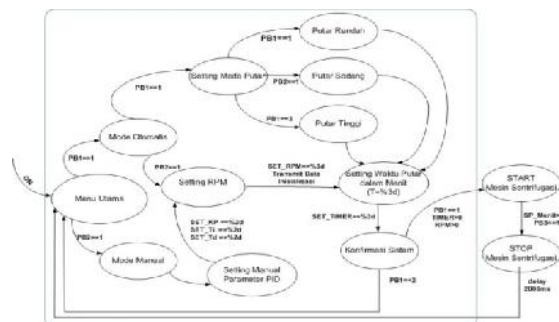
Pada sistem yang akan dibuat ini, rancangan kontroler PID akan dibuat dalam bentuk PID digital dan ditanamkan dalam mikrokontroler dengan menggunakan bahasa C. Dasar perhitungan dan fungsi alih persamaan kontroler didapatkan berdasarkan persamaan kontroler digitalnya tertera pada persamaan 2 – 5 pada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

Pada aktualisasinya, perhitungan nilai-nilai kontroler ini akan dibuat dalam bentuk fungsi di dalam bahasa C yang akan ditanamkan dalam mikrokontroler. Variasi nilai yang dapat diubah-ubah adalah konstanta dari tiap *gain* yaitu *kp*, *ki*, dan *kd*.

2.8 Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Pemrograman mikrokontroler ATmega 8535 dapat dilakukan dengan bahasa C. Perancangan *software* pada tugas akhir ini juga menggunakan bahasa C dengan kompilator Code Vision AVR versi 2.04.4a.

Diagram alir jalannya program utama atau *statechart* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Statechart program utama

Secara umum perancangan perangkat lunak pada mesin sentrifugasi dengan mikrokontroler 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 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	4,9	-
	Dengan beban mikrokontroler	4,9	0,09
30 V	Beban kosong	15,4	-
	Dengan beban motor	9,56	5,14

Dari hasil pengujian terlihat bahwa *power supply* dapat bekerja dengan baik. Pada pengujian 30 V tegangan yang tertera bernilai di bawah 30 V dikarenakan terminal tegangan trafo yang dihubungkan hanya pada kisaran 18 V. Hal ini dilakukan guna mengantisipasi agar motor tidak mengalami *over voltage* yang dapat mengakibatkan kumparan motor terbakar dan juga untuk mengantisipasi ketahanan *driver* EMS. Saat pengujian dengan tegangan 25 V dan arus 5,15 A, EMS sering mengalami *auto shut down*.

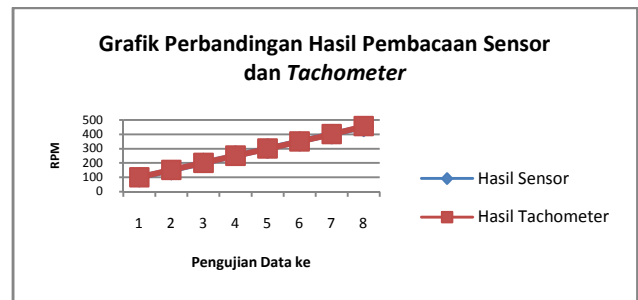
3.2 Pengujian Sensor Rotary Encoder

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 *rotary encoder*

No	Set RPM (SP)	Hasil Sensor	Hasil Tachometer
1	100	100	99,4
2	150	150	150,5
3	200	200	199,2
4	250	250	249,8
5	300	300	299,7
6	350	350	349,2
7	400	400	400,1
8	450	450	455,6

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



Gambar 9 Grafik perbandingan sensor *rotary encoder* dengan *tachometer*

Berdasarkan hasil pengujian yang tertera pada Tabel 4.2, 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. Selisih paling besar hanya saat pengujian rpm 450, di mana dalam *tachometer* terbaca 455,6. Hal ini dikarenakan nilai PWM yang hampir mencapai nilai maksimal sehingga kestabilan sistem cukup sulit terjaga.

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(" TA EBTIAN A. ");
lcd_gotoxy(0,1); lcd_putsf(" 21060110130069 ");
```

Listing diatas ditulis pada program utama, sehingga muncul tulisan dalam tanda petik tersebut pada LCD. Pada baris pertama bertuliskan "TA EBTIAN A." sedangkan pada baris kedua bertuliskan "21060110130069", sehingga LCD dapat berfungsi dengan baik.

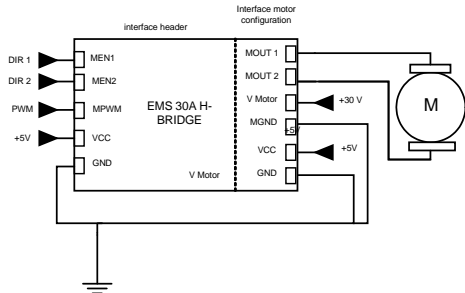
3.4 Pengujian Keypad

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 0 muncul tulisan pada LCD berupa angka puluhan "10", dapat dikatakan *keypad* berfungsi dengan baik.

3.5 Pengujian EMS 30A H-Bridge

Pengujian *hardware* EMS 30 A *H-Bridge* yang digunakan sebagai *driver* utama motor dilakukan dengan cara mengujikan nilai PWM. Pada dasarnya pengontrolan motor yang dilakukan adalah dengan menggunakan PWM, yaitu mengatur *duty cycle* tegangan yang dikirimkan sehingga tegangan keluaran terkendali dan hasil putaran sesuai dengan yang diinginkan.

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.



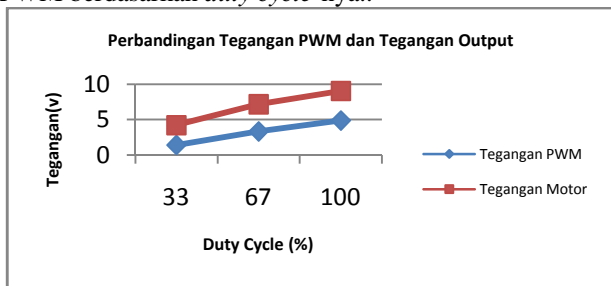
Gambar 10 Rangkaian pengujian EMS

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.

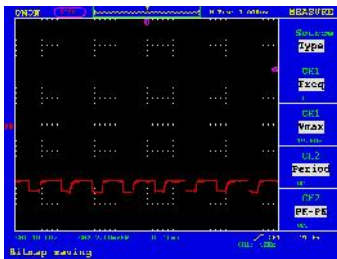
Tabel 3 Data pengujian EMS 30A H-Bridge

Nilai PWM (0-1023) (Duty Cycle)	Tegangan PWM (V)	Tegangan Motor (V)
300 (33%)	1,44	4,24
700 (67%)	3,34	7,18
1023 (100%)	4,87	9,05

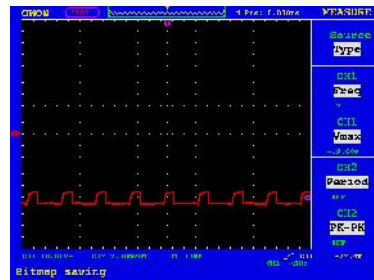
Berdasarkan data hasil pengujian yang dilakukan, dapat disajikan dalam bentuk grafik. Gambar 11 menunjukkan grafik pengujian pada EMS 30 A H-Bridge, sedangkan Gambar 12, 13, dan 14 menunjukkan bentuk gelombang PWM berdasarkan *duty cycle*-nya..



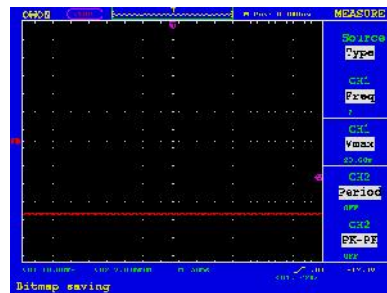
Gambar 11 Grafik pengujian EMS 30 A H-Bridge



Gambar 12 Bentuk gelombang PWM *duty cycle* 33%



Gambar 13 Bentuk gelombang PWM *duty cycle* 66%



Gambar 14 Bentuk gelombang PWM *duty cycle* 100%

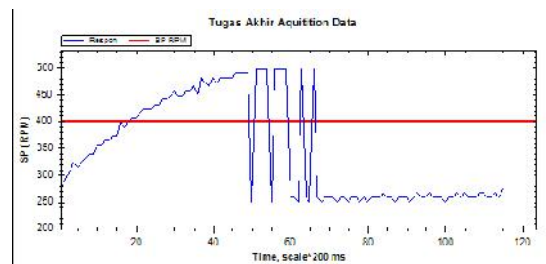
Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat dikatakan bahwa EMS dapat berfungsi dengan baik. Pengujian nilai PWM yang dikeluarkan oleh mikrokontroler juga dapat mengatur *duty cycle* dengan baik.

3.6 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan untuk menguji apakah sistem dapat berjalan dengan benar atau tidak. Dalam pengujian ini, dilihat respon sistem apakah sudah baik atau belum, jika masih terdapat kesalahan dalam pengendalian, maka akan dilakukan *tuning* parameter PID untuk memperbaiki respon sistem.

3.6.1 Pengujian Sistem Tanpa Kontroler PID

Pengujian dilakukan dengan *set point* rpm (sp rpm) sebesar 400 rpm. Respon sistem dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15 Respon sistem tanpa kontroler

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.

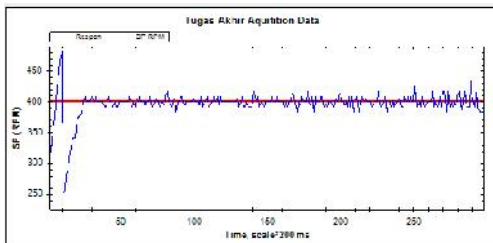
3.6.2 Pengujian Sistem Dengan Menggunakan Kontroler PID

Pengujian sistem dengan menggunakan kontroler PID dilakukan dengan memasang kontroler PID yang telah dibuat untuk mengirimkan sinyal perbaikan pada respon sistem. Untuk dapat menemukan respon sistem yang baik, tentu diperlukan *tuning* nilai parameter *gain* PID yaitu *kp*, *ki*, dan *kd* yang tepat terlebih dahulu. Pada pengujian yang dilakukan, penalaan parameter PID dilakukan dengan menggunakan metode *trial error*, yaitu dengan melakukan variasi nilai parameter *kp*, *ki*, dan *kd* secara acak sehingga didapatkan hasil yang kiranya terbaik. Pengujian ini dilakukan secara kontinu dengan variasi data yang sangat banyak. Tabel 4 menunjukkan variasi data penalaan parameter.

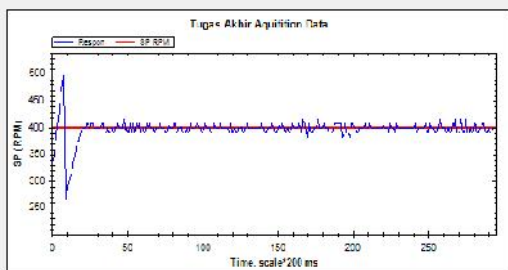
Tabel 4 Variasi data pengujian penalaan parameter PID

No	Kp	Ki	Kd
1	5	1	15
2	5	0	15
3	6	1	0
4	6	0	15
5	10	0	15

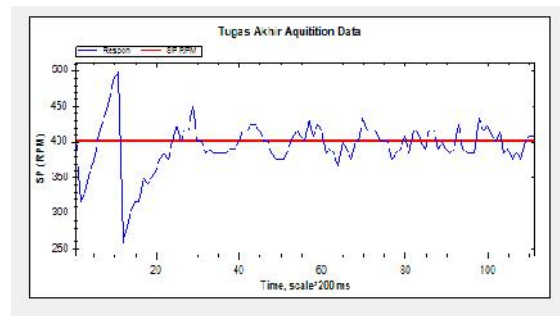
Dengan mengacu data penalaan parameter pada Tabel 4, keluaran sistem dapat dilihat pada *interface* penampil data. Gambar 16 sampai Gambar 20 menunjukkan hasil keluaran sistem.



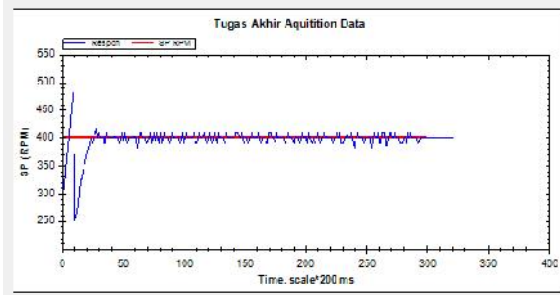
Gambar 16 Hasil respon sistem dengan kontroler PID ($kp=5, ki=1, kd=15$)



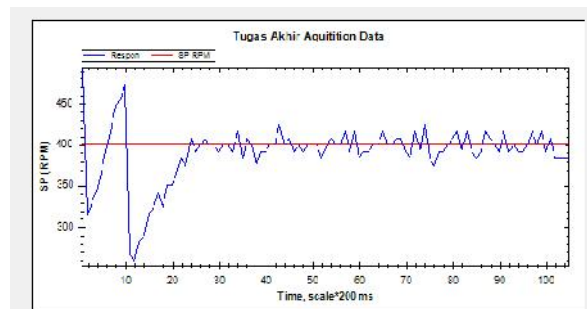
Gambar 17 Hasil respon sistem dengan kontroler PID ($kp=5, ki=0, kd=15$)



Gambar 18 Hasil respon sistem dengan kontroler PID ($kp=6, ki=1, kd=0$)



Gambar 19 Hasil respon sistem dengan kontroler PID ($kp=6, ki=0, kd=15$)



Gambar 20 Hasil respon sistem dengan kontroler PID ($kp=10, ki=0, kd=15$)

Dari respon sistem yang didapat, dapat diketahui nilai waktu naik (*tr*), waktu puncak (*tp*), dan *settling time* (*ts*). Waktu penetapan adalah waktu yang diperlukan kurva tanggapan sistem untuk mencapai dan menetap dalam daerah disekitar harga akhir (biasanya 5% atau 2%).^{[3][4]} Tabel 5 menunjukkan hasil waktu respon sistem.

Tabel 4.5 Hasil respon sistem dengan kontroler PID

No	kp	ki	kd	tr (s)	tp (s)	ts (s)	Keterangan
1	5	1	15	4,6	6,2	7	Error Steady State (t=55s)
2	5	0	15	4,4	6,4	7	Stabil
3	6	1	0	4,8	6,8	11,6	Osilasi
4	6	0	15	4,4	5,6	7	Stabil
5	10	0	15	4,4	8,6	10	Overshoot (5%)

Berdasarkan hasil respon sistem, dapat diambil kesimpulan bahwa nilai *gain* terbaik adalah saat $K_p=6$, $K_i=0$, $K_d=15$. Pada saat parameter PID diberi nilai *gain* tersebut, sistem memiliki respon naik yang cepat (4,4 detik), *overshoot* yang kecil dan waktu puncak yang cepat (5,6 detik) dan *settling time* yang cepat pula (7 detik).

3.7 Pengujian Aplikasi Alat untuk Pembuatan VCO

Langkah pembuatan VCO yang dilakukan antara lain^[8]:

1. Memilih kelapa tua.
2. Proses pemerasan santan kelapa
3. Pendiaman santan pada kulkas selama 3 jam hingga terbentuk *cream* santan.
4. Proses sentrifugasi dengan rpm 400 selama 30-35 menit, sehingga terbentuk tiga lapisan yang terdiri dari air, *blondo*, dan VCO.
5. Pendiaman hasil proses sentrifugasi selama 2-3 jam dan minyak VCO dapat dikonsumsi.

Pengujian dilakukan menggunakan mesin sentrifugasi yang dirancang dalam penelitian ini, untuk mode pemutar digunakan mode otomatis dengan kecepatan 400 rpm selama 35 menit. Volume *cream* santan yang digunakan untuk bahan uji adalah 50 ml. Gambar 21 menunjukkan *cream* santan sebelum proses sentrifugasi, dan Gambar 22 menunjukkan hasil *cream* setelah diproses dan didiamkan selama satu hari agar didapatkan hasil VCO yang lebih baik.



Gambar 21 *Cream* santan sebelum disentrifugasi



Gambar 22 Hasil proses sentrifugasi dan produk VCO

Berdasarkan hasil yang didapatkan, dapat diambil kesimpulan jika alat dapat digunakan untuk membuat VCO, di mana dari 50 ml *cream* santan, dengan melakukan proses sentrifugasi dengan kecepatan 400 rpm

dalam waktu 35 menit, telah didapatkan VCO dengan volume ± 15 ml.

4. Kesimpulan

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

1. Pada pengujian pembuatan minyak kelapa murni dengan mesin sentrifugasi yang dirancang, didapatkan hasil bahwa mesin sentrifugasi yang dibuat dapat digunakan untuk membuat VCO atau minyak kelapa murni. Rincian produk yang dihasilkan adalah dengan menggunakan 50 ml *cream* santan dan dilakukan proses sentrifugasi selama 35 menit, kecepatan 400 rpm, didapatkan hasil VCO sebanyak ± 15 ml.
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* yang tinggi.
3. Pada pengujian sistem dengan kontroler PID, didapatkan respon sistem yang baik dengan waktu naik (t_r) = 4,4 detik, waktu puncak (t_p) = 5,6 detik dengan *overshoot* rendah, dan waktu stabil atau *settling time* (t_s) = 7 detik tanpa osilasi tinggi.
4. Pada penalaan parameter kontroler PID dengan menggunakan metode *trial error*, didapatkan nilai penguat terbaik yaitu $k_p=6$, $k_i=0$, $k_d=15$.
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 = 5, 0, 15 dan 5, 1, 15. Saat tanpa menggunakan *gain* integral (k_i) hasil respon sistem t_r , t_p , dan t_s berturut-turut adalah 4,4 detik, 6,4 detik, dan 7 detik tanpa ada *error steady state*, sedangkan saat menggunakan *gain* integral adalah 4,6 detik, 6,2 detik, dan 7 detik dengan *error steady state* kecil (pada saat $t=55$ sekon).
6. Pada respon sistem dengan menggunakan *gain* derivatif (k_d), didapatkan hasil bahwa pengaruh k_d sangat penting dalam sistem untuk meredam osilasi. Hal ini ditunjukkan saat pengujian perbandingan respon sistem dengan nilai k_p , k_i , k_d = 6, 1, 0 dan 6, 0, 15. Didapatkan hasil bahwa sistem pertama memiliki respon waktu dengan nilai t_r = 4,8 detik, t_p = 6,8 detik, dan t_s = 11,6 detik dengan osilasi tinggi, sedangkan sistem kedua dengan menggunakan *gain* k_d , didapatkan hasil respon waktu t_r = 4,4, t_p = 5,6, dan t_s = 7 serta sistem stabil.
7. Pada pengujian respon sistem dengan kontroler PID, didapatkan hasil bahwa nilai k_p terbaik adalah 6, jika dinaikkan maka sistem akan mengalami *overshoot*. Hal ini ditunjukkan saat variasi *gain* k_p = 6, k_i = 0, k_d = 15, dibandingkan dengan variasi *gain* k_p = 10, k_i = 0, k_d = 15. Didapatkan hasil pada pengujian sistem pertama mengalami *rise time* (t_r) = 4 detik dan *settling time* pada 7 detik tanpa osilasi dan *overshoot* rendah, sementara pada sistem kedua didapatkan hasil *rise*

time (t_r) = 4,4 dan *settling time* (t_s) pada 10 detik dengan *overshoot* 5% serta keadaan respon yang kesulitan mencapai titik kestabilan.

Referensi

- [1]. Sasongko, Bagus Hari, *Pemrograman Mikrokontroler dengan Bahasa C*, PENERBIT ANDI, Yogyakarta, 2012.
- [2]. Andrianto, Heri. "Pemrograman Mikrokontroler AVR Atmega16: Menggunakan Bahasa C (CodeVision AVR)," Penerbit Informatika, Bandung. 2007.
- [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]. Mulyono,J., M. Maulana.A.N. 2011. "Pengaruh Tekanan Pada Pembuatan VCO Dengan Proses Sirkulasi Pemompaan" *Skripsi Sarjana SI*. Fakultas Teknik UNDIP, Semarang, Indonesia.
- [7]. Hariyani, Sri. 2006. "Pengaruh Waktu Pengadukan Terhadap Kualitas Virgin Coconut Oil," *Skripsi Sarjana SI*, Fakultas MIPA UNNES, Semarang, Indonesia.
- [8]. Nur Hapsari dan Tjatoer Welasih. 2009. "Pembuatan Virgin Coconut Oil (VCO) Dengan Metode Sentrifugasi," *Skripsi Sarjana SI*, Fakultas Teknologi Industri UPN "Veteran" Jawa Timur.
- [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]. -----, *Konfigurasi Manual DI-REV I Rotary Encoder.*, Depok Instrumen. Indonesia.
- [16]. -----, BSNI 2008
- [17]. Sudjadi, *Teori dan Aplikasi Mikrokontroler Aplikasi Mikrokontroler pada AT8C57*, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2005.