

Rancang-Bangun Sistem Pengaduk Adonan Dodol dengan Kecepatan Konstan dan Torsi Adaptif

Rendy Ardiansyah, Rini Nur Hasanah dan Wijono

Abstrak– Dodol adalah salah satu makanan khas Indonesia yang sulit dalam pembuatannya karena diperlukan waktu yang cukup lama dan energi yang besar untuk mengaduk adonan hingga mempunyai kekentalan tertentu. Selain itu, kecepatan pengaduk adonan dodol diusahakan konstan agar menghasilkan dodol berkualitas baik dengan tingkat kematangan merata. Sebagai solusi, prinsip kerja dari rangkaian terkontrol penyearah gelombang penuh yang dikombinasikan dengan *rotary encoder* sebagai sensor kecepatan dapat digunakan untuk menghasilkan pergerakan motor dengan kecepatan yang konstan dan torsi yang adaptif. Motor DC magnet permanen digunakan untuk menggerakkan pengaduk jenis *pitch blade impeller*. Dihasilkan suatu sistem pengadukan adonan dodol dengan kecepatan konstan dan torsi adaptif.

Kata Kunci — Adonan dodol, rangkaian penyearah terkontrol gelombang penuh, kecepatan konstan, *pitch blade impeller*.

ISTILAH

D	diameter pengaduk, m	N_R	bilangan Reynold
E	tegangan jangkar, V	P	daya adukan, watt
g	gravitasi bumi, m/s ²	P_0	koefisien daya adukan
H	ketinggian cairan, m	R_a	resistansi jangkar, Ω
h	tinggi pengaduk dari dasar, m	r	jari-jari, m
I_a	arus jangkar, A	T	torsi, Nm
K_c	konstanta tegangan jangkar	t	waktu, s
K_t	konstanta torsi	V	volume, m ³
n	putaran adukan, rps	m	massa, kg
n_b	jumlah <i>blade</i> pengaduk	V_t	tegangan terminal, V
T	diameter tangki pada PBT, m	v	kecepatan, m/s
V_m	tegangan maksimum, V	ρ	massa jenis, kg/m ³
ω	kecepatan putar motor, rad/s	η	viskositas, Pa s
Φ	fluks magnet, weber	β	sudut pemadaman, ⁰
α	sudut dari kemiringan <i>blade</i> (PBT) dan sudut penyalan pada rangkaian penyearah terkontrol gelombang penuh, ⁰		
γ	Sudut dimana tegangan sumber sama dengan tegangan jangkar, ⁰		
PBT	<i>Pitch Blade Impeller</i>		

I. PENDAHULUAN

DODOL adalah salah satu makanan khas Indonesia yang cukup sulit dalam pembuatannya karena

Rendy Ardiansyah adalah mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (no telepon korespondensi penulis 081555665898; email: rendy@scientist.com)

Rini Nur Hasanah adalah dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (email: rini.hasanah@ub.ac.id)

Wijono adalah dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (email: wijono@ub.ac.id)

diperlukan waktu yang cukup lama dan energi yang besar untuk mengaduk adonan hingga mempunyai kekentalan tertentu. Selain itu, kecepatan pengaduk adonan dodol diusahakan konstan agar menghasilkan dodol berkualitas baik dengan tingkat kematangan merata.

Usaha dodol merupakan salah satu usaha kecil dan menengah (UKM) yang sangat penting bagi ekonomi Indonesia karena UKM merupakan penyumbang 60% PDB. Karena dodol merupakan makanan khas Indonesia maka diharapkan produksi dodol dapat memenuhi permintaan di dalam maupun luar negeri dengan adanya alat bantu proses pembuatannya.

Salah satu cara untuk mempermudah proses pembuatannya adalah dengan alat bantu pengaduk yang memiliki kecepatan pengadukan konstan. Alat pengaduk tersebut menggunakan motor listrik sebagai penggerak utamanya sehingga pengusaha dodol tidak perlu kesulitan untuk mengaduk adonan dodol dalam jumlah sedikit maupun banyak.

II. PENGATURAN KECEPATAN KONSTAN DAN TORSI ADAPTIF MOTOR PENGGERAK PENGADUK DODOL

Pengaturan kecepatan konstan dan torsi adaptif pada motor DC dilakukan dengan memanfaatkan hasil pembacaan *rotary encoder*. Hasil tersebut selanjutnya diolah menggunakan mikrokontroler untuk menghasilkan sinyal pengendali sudut penyalan *silicon controlled rectifier* (SCR) yang mengatur nilai tegangan masukan motor DC. Jika kecepatan motor kurang dari kecepatan yang diinginkan maka sudut penyalan dikurangi untuk meningkatkan tegangan agar kecepatan mencapai nilai yang diinginkan.

Kecepatan motor DC akan semakin turun seiring dengan semakin tingginya viskositas dan densitas adonan dodol. Kenaikan viskositas dan densitas adonan tersebut menyebabkan semakin tingginya torsi pengadukan yang diperlukan. Agar torsi yang dihasilkan motor DC magnet permanen dapat memenuhi kebutuhan torsi pengadukan peningkatan kecepatan, pengaturan dilakukan dengan mengurangi sudut penyalan untuk meningkatkan tegangan keluaran pada rangkaian *driver* motor DC yaitu rangkaian terkontrol gelombang penuh.

A. Karakteristik Adonan Dodol

Dalam proses pembuatan dodol, adonan yang dipanaskan semakin lama akan semakin mengental.

Semakin mengentalnya adonan dodol menyebabkan kebutuhan torsi untuk pengadukan semakin besar.

Standar suhu pemanasan untuk pembuatan adonan dodol adalah 80⁰-85⁰C [1]. Selain proses pemanasan, dalam waktu yang bersamaan juga dilakukan proses pengadukan dengan kecepatan konstan yaitu 30 rpm untuk mencampur bahan-bahan tersebut agar dodol yang dihasilkan berkualitas baik [1].

B. Densitas dan Viskositas

Densitas atau massa jenis adalah ukuran massa setiap satuan volume benda. Rumus untuk menemukan massa jenis ditunjukkan oleh persamaan 1 [2].

Viskositas menjelaskan ketahanan internal fluida untuk mengalir atau sebagai ukuran dari pergeseran fluida. George Gabriel Stokes menemukan jika suatu bola dijatuhkan ke cairan dengan gaya beratnya sendiri (metode *falling ball*), maka nilai viskositas akan didapatkan dengan persamaan 2 [2].

$$\rho = \frac{m}{v} \tag{1}$$

$$\eta = \frac{2r^2g(\rho_{bola}-\rho_{cairan})}{9v} \tag{2}$$

C. Daya Pengadukan

Daya yang dibutuhkan untuk pengadukan dipengaruhi oleh kondisi beban. Sebagaimana ditunjukkan pada persamaan 3, dengan mengetahui bilangan Reynold maka dapat diketahui aliran fluida dan persamaan daya yang digunakan untuk pengadukan [3]. Persamaan daya secara umum ditunjukkan oleh persamaan 4, sedangkan untuk kondisi dengan bilangan Reynold < 10 (aliran laminar) ditunjukkan oleh persamaan 5.

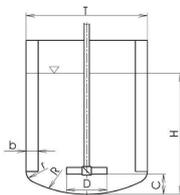
$$N_R = \frac{D^2 n \rho}{\mu} \tag{3}$$

$$\rho = \rho_0 \rho n^3 D^5 \tag{4}$$

$$\rho = \rho_0 \mu n^2 D^3 \tag{5}$$

Perhitungan koefisien daya menggunakan *pitched blade impeller* dilakukan dengan persamaan 6 [4]. Dimensi geometris sistem pengadukan dengan menggunakan *pitch blade impeller* ditunjukkan pada gambar 1.

$$P_0 = 1.507 \left(\frac{T}{D}\right)^{-0.365} \left(\frac{h}{D}\right)^{-0.165} \left(\frac{H}{T}\right)^{0.140} n_B^{0.171} (\sin \alpha)^{2.077} \tag{6}$$



Gambar 1. Dimensi geometris pengaduk dan tangki [4]

D. Motor DC Penguat Terpisah

Motor DC penguat terpisah merupakan salah satu dari jenis motor DC yang memiliki fluks medan (Φ) terpisah dari fluks jangkar. Motor DC penguat terpisah dibagi menjadi dua yaitu motor dengan penguatan berasal dari magnet permanen (fluks konstan) dan penguatan dihasilkan oleh kumparan medan, yang terletak secara terpisah dan mempunyai sumber pembangkit tersendiri berupa tegangan DC, sehingga besarnya fluks dapat

diatur. Motor DC ini yang digunakan sebagai penggerak utama dalam sistem pengadukan dodol.

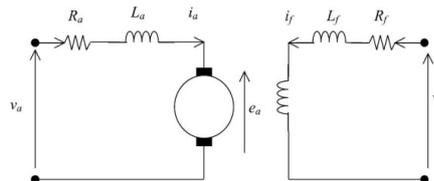
Terdapat dua hal yang dapat mempengaruhi nilai torsi dan kecepatan motor DC berpenguatan terpisah, yaitu tegangan dan fluks medan. Hal ini dapat kita amati dari persamaan torsi dan kecepatan motor pada keadaan tunak yang ditunjukkan pada persamaan 7 dan 8 [5].

$$T = K_T i_a \tag{7}$$

$$n = \frac{V_t - I_a R_a}{K_e} \tag{8}$$

$$K_T = \frac{1}{2\pi} K_e \tag{9}$$

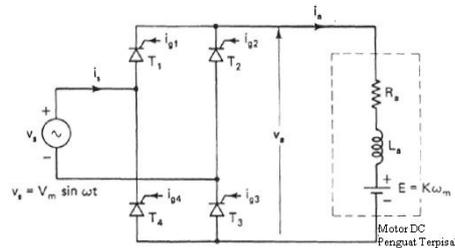
$$P = T \omega \tag{10}$$



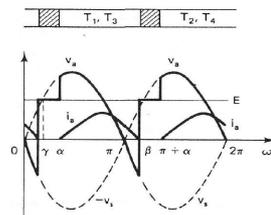
Gambar 2. Rangkaian ekuivalen motor DC penguat terpisah [6]

E. Rangkaian Penyearah Terkontrol Gelombang Penuh dengan Beban Motor DC Penguat Terpisah

Rangkaian penyearah gelombang penuh merupakan rangkaian penyearah arus (AC ke DC) [6]. Rangkaian ini dapat digunakan untuk mengatur tegangan masukan pada motor, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3. Tegangan jangkar motor diatur melalui 4 buah SCR yang dapat dikontrol sudut penyalannya melalui *gate*.



Gambar 3. Rangkaian penyearah gelombang penuh dengan beban motor DC penguat terpisah [7]



Gambar 4. Grafik konduksi SCR pada kondisi α > γ [7]

Persamaan arus yang digunakan untuk menghitung kondisi seperti pada gambar 4 ditunjukkan oleh persamaan 11, dimana γ ditunjukkan oleh persamaan 12 [7].

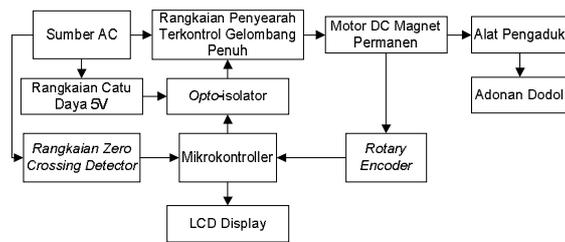
$$I_a = \frac{V_m [\cos(\alpha) - \cos(\beta)] - (\beta - \alpha) K_e n}{\pi R_a} \tag{11}$$

$$\gamma = \sin^{-1} \left(\frac{E}{V_m} \right) \tag{12}$$

III. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN

A. Cara Kerja Sistem

Secara garis besar, diagram perancangan ditunjukkan pada gambar 5.

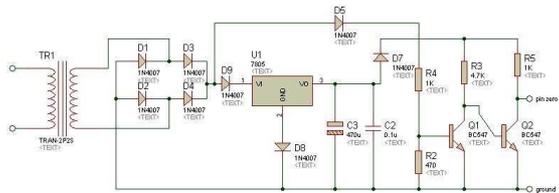


Gambar 5. Blok diagram desain sistem elektrik pengaduk adonan dodol

Pada sistem pada gambar 5, baling-baling yang dikopel dengan motor mengaduk adonan dodol dengan kecepatan konstan 30 rpm. Adonan dodol makin lama makin mengental sehingga akan meningkatkan torsi beban yang mengakibatkan kecepatan motor berkurang. *Rotary encoder* mendeteksi perubahan kecepatan motor sehingga sensor memerintahkan mikrokontroler untuk mengatur sudut penyalan pada SCR. Sudut penyalan yang dibangkitkan pada SCR harus dapat menghasilkan tegangan keluaran yang mampu menghasilkan kecepatan motor sebesar 30 rpm. Titik referensi dari sudut penyalan didasarkan pada perubahan logika tinggi ke rendah pada rangkaian *zero crossing detector*. Kecepatan motor ditampilkan pada tampilan serial monitor Arduino.

B. Desain dan Perancangan Rangkaian Zero Crossing Detector

Desain rangkaian *zero crossing detector* pada gambar 6 merupakan pengembangan dari rangkaian *zero crossing detector* pada *Phase angle control of SCR using AT89C51* [8]. Rangkaian ini dapat mendeteksi titik tegangan nol pada sumber tegangan AC 1 fasa serta menghasilkan keluaran berupa perubahan tegangan dari 5V menjadi 0V.

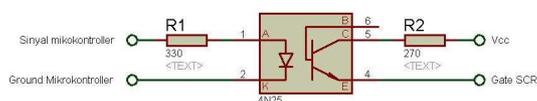


Gambar 6. Rangkaian zero crossing detector

C. Desain dan Perancangan Rangkaian Opto-isolator

Opto-isolator adalah rangkaian yang digunakan untuk mencegah tegangan tinggi mempengaruhi sinyal kontrol yang dihasilkan oleh mikrokontroler [9]. Komponen yang dapat digunakan untuk memisahkan antara tegangan tinggi dan sinyal kontrol diantaranya adalah *optocoupler* 4N25.

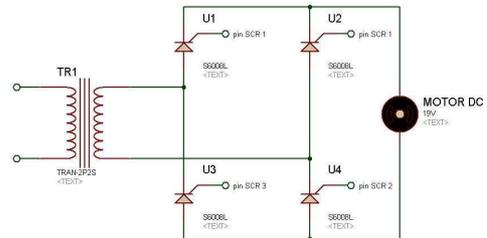
Dari *datasheet optocoupler* 4N25 diketahui bahwa resistor diperlukan untuk membatasi arus masukan sebesar 10 mA dan arus keluaran sebesar 15 mA (arus maksimum untuk memicu *gate* SCR) sehingga didapat rangkaian seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian *Opto-isolator*

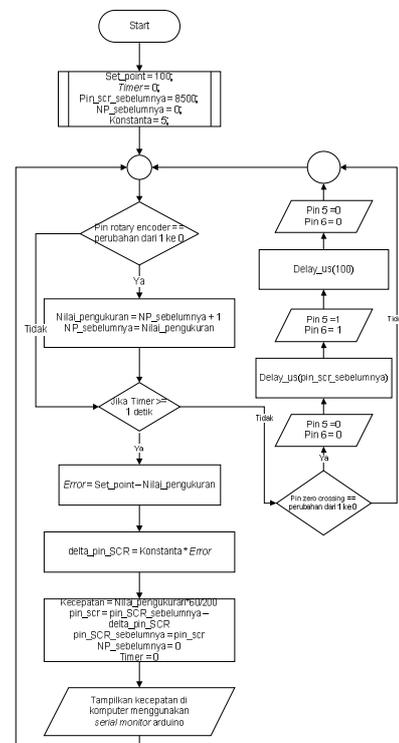
D. Desain dan Perancangan Rangkaian Driver Motor DC

Rangkaian *driver* ini tersusun dari 1 buah trafo 220V/18V 5A dan 4 buah SCR S6008L yang membentuk rangkaian penyearah terkontrol gelombang penuh. Rangkaian ini dapat digunakan untuk mengontrol kecepatan motor DC dengan cara mengatur tegangan keluarannya melalui pemucuan *gate* SCR. Rangkaian dilengkapi beban motor ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Rangkaian *driver* motor DC

E. Perancangan Perangkat Lunak



Gambar 9. Diagram alir perangkat lunak

Agar sistem pengadukan dengan kecepatan konstan dan torsi adaptif dapat direalisasikan, algoritma pengendalian, sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 9, perlu diaplikasikan dalam bentuk perangkat lunak yang selanjutnya dijalankan pada mikrokontroler Arduino.

Proses yang dijalankan meliputi pembacaan sensor pada *rotary encoder*, pembacaan titik nol dari rangkaian *zero crossing detector*, menampilkan kecepatan pada *serial monitor*, dan menghasilkan pulsa pemicu *gate* SCR untuk mengatur kecepatan motor.

F. Desain dan Perancangan Mekanik Pengaduk

Sistem mekanik pengaduk (gambar 10) dibuat menggunakan media pengkopelan kayu antara poros

motor DC dengan alat pengaduk. Hal ini untuk menghindari perpindahan panas dari alat pengaduk ke motor DC. Perbandingan roda gigi yang digunakan untuk menghubungkan poros motor DC dengan poros *rotary encoder* adalah 1:1.



Gambar 10. Sistem mekanik pengaduk

Pengaduk jenis *pitch blade impeller* digunakan pada perancangan ini, dengan diameter adukan 13,5 cm, sudut kemiringan adukan 30° , jumlah *blade* 1. Pengaduk memiliki ketinggian terhadap tangki 2 mm. Tangki yang digunakan berbentuk parabola yang memiliki diameter 33 cm. Ketinggian cairan terhadap tangki sebesar 7 cm. Berdasarkan persamaan 6, koefisien daya pengaduk (P_0) besarnya 0,4157.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS HASIL

A. Pengujian Sensor pada Rotary Encoder

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah tegangan keluaran sensor memiliki nilai tegangan yang memenuhi untuk kondisi logika *high* dan logika *low* pada Arduino Uno. Grafik tegangan keluaran *rotary encoder* ketika diputar diperlihatkan pada gambar 11.



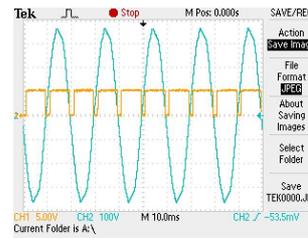
Gambar 11. Tegangan keluaran pada *rotary encoder*

Terlihat bahwa ketika kondisi LED tidak terhalangi oleh piringan maka foto transistor akan aktif (tegangan keluaran 4V-4.5V) dan menghasilkan logika *high*. Ketika kondisi LED terhalangi oleh piringan maka foto transistor akan tidak aktif (tegangan keluaran 0V) dan menghasilkan logika *low*.

B. Pengujian Rangkaian Zero Crossing Detector

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja rangkaian *zero crossing detector* ketika tegangan sumber AC 1 fasa berada pada titik tegangan nol, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 12.

Tegangan keluaran rangkaian *zero crossing detector* ditunjukkan oleh *channel 1* dan tegangan AC 1 fasa ditunjukkan oleh *channel 2* pada gambar 12. Ketika tegangan AC 1 fasa bernilai 0V, maka akan terjadi perubahan nilai tegangan keluaran rangkaian *zero crossing detector* dari 5V menjadi 0V.



Gambar 12. Tegangan keluaran rangkaian *zero crossing detector*

C. Pengujian Rangkaian Opto-isolator

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon tegangan keluaran yang dihasilkan *opto-isolator* terhadap tegangan masukan *opto-isolator*.

Pada gambar 13, tegangan masukan *opto-isolator* ditunjukkan pada *channel 1* dan tegangan keluaran dari *opto-isolator* ditunjukkan pada *channel 2*. Gelombang tegangan keluaran *opto-isolator* tertinggal dari gelombang tegangan masukan *opto-isolator* sebesar 11 mikrodetik. *Error* sudut penyalan yang dihasilkan ditunjukkan pada persamaan 13.

$$\theta^0 = \frac{11}{10000} \times 180^0 = 0.198^0 \quad (13)$$



Gambar 13. Gelombang tegangan keluaran dan masukan *opto-isolator*

D. Pengujian Rangkaian Driver Motor DC

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja rangkaian *driver* motor jika diberi beban motor DC magnet permanen. Pengujian dilakukan dengan menggunakan trafo 240V/12V 1A. Hasil pengujian dengan kondisi motor DC magnet permanen tanpa pengaduk ditunjukkan pada kolom tabel 1 bagian sebelah kiri.

Dari tabel 1 untuk kondisi motor tanpa beban pengaduk diketahui bahwa nilai tertinggi putaran terjadi pada saat sudut penyalan $66,6^{\circ}$. Semakin tinggi sudut penyalan (sudut penyalan $>66,6^{\circ}$) maka semakin kecil pula tegangan keluaran yang dihasilkan *driver* motor DC dan putaran motor DC magnet permanen.

Motor DC magnet permanen yang digunakan memiliki resistansi jangkar (R_a) sebesar 0.85 ohm. Nilai K_e dan K_t motor DC magnet permanen dihitung dengan persamaan 8 dan 9. Dengan mengambil nilai rata-rata dari beberapa kali hasil pengukuran, didapatkan nilai K_e sebesar 4,7679 dan K_t sebesar 0,7588. Dengan mengetahui nilai K_e dan K_t maka sudut pemadaman bisa didapatkan dengan melakukan iterasi persamaan 11 menggunakan metode Newton-Rhaphson hingga ketelitian 0,0001, sedangkan torsi dihitung menggunakan persamaan 7.

Pada kondisi motor tanpa dibebani pengaduk, torsi yang dihasilkan motor DC magnet permanen cenderung konstan ketika sudut penyalan SCR diubah-ubah. Semakin besar sudut penyalan yang diberikan, semakin

besar pula sudut pemadaman yang dihasilkan. Hal ini karena sudut penyalan merupakan titik dimana arus mulai mengalir dari sumber menuju motor DC, sedangkan sudut pemadaman merupakan sudut pemutusan sumber dengan motor DC.

E. Pengujian Sistem Pengadukan tanpa Adonan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari sistem jika pengaduk tidak diberi beban adonan dodol. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan trafo 240V/12V 1A. Hasil pengujian sistem pengadukan ditunjukkan pada tabel 1 bagian kanan (motor DC magnet permanen dihubungkan dengan pengaduk). Metode perhitungan sudut pemadaman dan torsi yang digunakan sama dengan metode yang digunakan pada pengujian *driver* motor DC.

Seperti juga hasil percobaan tanpa pengaduk, torsi yang dihasilkan oleh motor DC magnet permanen yang dihubungkan dengan pengaduk pada sudut penyalan yang diubah-ubah juga cenderung konstan. Namun demikian, pada kondisi motor terhubung pengaduk terukur nilai torsi yang lebih besar karena tambahan momen inersia yang dimiliki pengaduk maupun *rotary encoder*. Sudut pemadaman yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan pada pengujian *driver* motor DC tanpa pengaduk, karena arus yang diperlukan untuk memutar poros motor DC yang dihubungkan dengan pengaduk lebih besar dibandingkan dengan tanpa pengaduk sehingga sudut pemadaman yang dihasilkan lebih besar untuk motor DC yang dihubungkan dengan pengaduk.

F. Pengujian Sistem Pengadukan dengan Adonan Dodol

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari sistem jika pengaduk diberi adonan dodol. pengujian ini dilakukan dengan menggunakan trafo 220V/18V 5A untuk meningkatkan *range* torsi yang mampu dijangkau oleh motor DC magnet permanen. Pengujian dilakukan dengan mengukur viskositas dan densitas adonan dodol. Selain itu juga dilakukan pengukuran arus dan kecepatan pada motor DC magnet permanen.

TABEL 2.
VISKOSITAS DAN DENSITAS ADONAN DODOL

Waktu pemanasan (detik)	Kecepatan bola jatuh (m/s)	Jari-jari bola (m)	Densitas bola (Kg/m ³)	Densitas adonan dodol (Kg/m ³)	Viskositas adonan dodol (Pa s)
0	0,266667	0,012	2000	1000	1,17552
360	0,000242	0,0125	3250	1400	2600,929
600	0,000167	0,0125	3250	1750	3061,25

Pengujian densitas adonan dodol dilakukan sesuai dengan kebutuhan data pada persamaan 1 dan pengujian viskositas adonan dodol dilakukan dengan metode *falling ball* seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2. Hasil pengujian gravitasi tempat pengujian 9.796 m/s². Hasil pengujian densitas dan viskositas adonan dodol ditunjukkan pada Tabel 2.

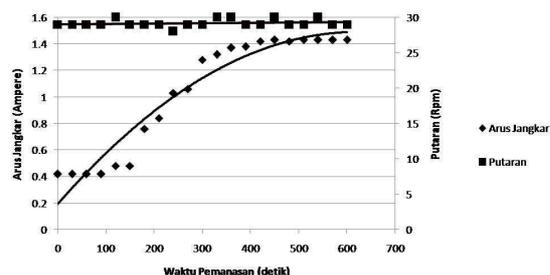
Dari Tabel 2 terlihat bahwa semakin lama pemanasan

adonan dodol, maka densitas dan viskositas adonan dodol semakin meningkat sehingga proses pengadukan akan semakin berat. Persamaan viskositas adonan dodol dapat dicari dengan menggunakan regresi polinomial orde 2 yang ditunjukkan pada persamaan 14 dan persamaan densitas adonan dodol dapat dicari dengan menggunakan regresi linier yang ditunjukkan pada persamaan 15.

$$\mu = 1.1690 + 10.4038t - 0.0088t^2 \quad (14)$$

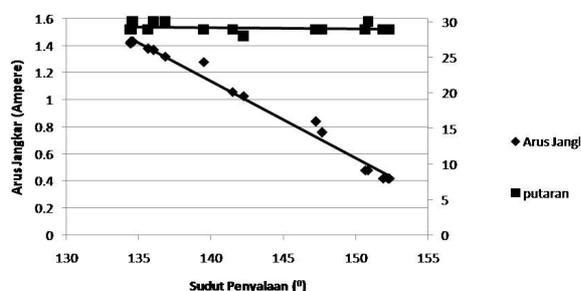
$$\rho = 1.2390t + 986.8421 \quad (15)$$

Putaran adukan yang digunakan berdasarkan teori adalah 30 rpm, diameter pengaduk 13,5 cm, koefisien daya adukan 0,4157, dan berdasarkan persamaan 6 adonan dodol memiliki aliran laminar sehingga daya adukan teori adonan dodol ditunjukkan pada gambar 16.



Gambar 14. Grafik hasil pengujian sistem dengan beban adonan

Gambar 14 menunjukkan grafik hasil pengujian sistem dengan pengambilan data arus dan putaran setiap 30 detik. Semakin lama pemanasan adonan dodol dilakukan maka arus yang dibutuhkan untuk mengaduk semakin besar. Namun ketika waktu pemanasan > 420 detik, arus yang dibutuhkan cenderung konstan.



Gambar 15. Grafik arus jangkar dan putaran = f(sudut penyalan)

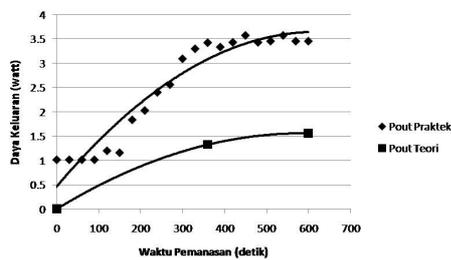
Gambar 15 menunjukkan hasil pengujian sistem dengan pengambilan data arus dan putaran terhadap fungsi sudut penyalan. Semakin kecil sudut penyalan yang diberikan ke rangkaian *driver* motor DC maka arus yang mengalir menuju motor DC magnet permanen semakin besar dan putaran motor yang dihasilkan konstan.

Daya adukan adonan dodol berdasarkan hasil percobaan dihitung menggunakan persamaan 10. Dengan menggunakan regresi polinomial orde 2 maka didapatkan persamaan daya adukan adonan dodol seperti yang ditunjukkan pada persamaan 16.

Berdasarkan gambar 16, daya yang dibutuhkan untuk mengaduk adonan dodol semakin lama semakin besar. Terdapat perbedaan daya antara hasil perhitungan teoretis dengan hasil percobaan, karena diabaikannya

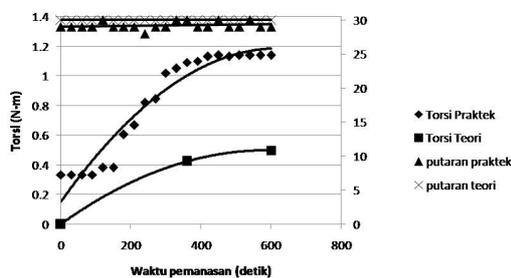
rugi-rugi daya pada perhitungan teoretis. Pada kondisi sebenarnya, rugi-rugi daya termasuk hal yang diperhitungkan dalam kebutuhan daya yang dikeluarkan oleh motor untuk mengaduk adonan dodol.

$$P = 0.5405 + 0.0086t - 0.000006t^2 \quad (16)$$



Gambar 16. Daya adukan = f (waktu pemanasan)

Perbandingan hasil perhitungan teoretis dengan hasil pengujian putaran dan torsi pengadukan sebagai fungsi lama waktu pemanasan ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Grafik torsi dan putaran = f (waktu pemanasan)

Pada Gambar 17 ditunjukkan semakin lama pemanasan dilakukan semakin besar torsi yang dibutuhkan untuk mengaduk hingga waktu pemanasan > 420 detik torsi yang dibutuhkan cenderung konstan. Selama pemanasan adonan dodol dilakukan kecepatan motor konstan dan torsi berubah sesuai dengan karakteristik adonan dodol pada Tabel 2. Hal ini membuktikan bahwa alat yang dibuat telah memenuhi tujuan dari perancangan dan pembuatan alat yaitu pengaduk adonan dodol yang dapat berfungsi dengan kecepatan konstan dan torsi adaptif.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada alat pengaduk adonan dodol maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem pengadukan dodol yang dihasilkan mampu membuat pengaduk bekerja dengan kecepatan konstan dan torsi adaptif menyesuaikan kondisi adonan.
2. Arus dan torsi motor diatur melalui tegangan masukannya dengan pengaturan sudut penyalakan SCR pada rangkaian terkontrol gelombang penuh.
3. Viskositas adonan dodol pada awalnya semakin lama semakin besar hingga mencapai nilai yang pada akhirnya cenderung konstan ketika waktu pemanasan melebihi kira-kira 6 menit.
4. Berdasarkan hasil perhitungan dan pengukuran, adonan dodol yang dialami sistem pengaduk termasuk dalam kategori aliran fluida yang bersifat laminar, yang berpengaruh dalam perhitungan daya dan torsi pengadukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kusumah, F.C., R.R.A. Maheswari & Z. Wulandari. 2002. Standarisasi Suhu Pemanasan Pada Proses Pengolahan Dodol Susu. *Med Pet Vol. 25 No.3*.
- [2] Young, Hugh D. & Roger A. Freedman. 2002. *Fisika Universitas Edisi 10 Jilid 1*. Jakarta : Erlangga.
- [3] Berk, Zeki. 2009. *Food Process and Engineering Technology*. USA : Elsevier inc.
- [4] Fort, I., T. Jirout, R. Sperling, S. Jambere, F. Rieger. 2002. *Study of Pumping Capacity of Pitched Blade Impellers*. *Acta polytechnica Vol 42 no.4/2002*.
- [5] Chapman, Stephen J. 2005. *Electric Machinery Fundamentals, Fourth Edition*. New York : McGraw-Hill.
- [6] Rashid, Muhammad. 2001. *Power Electronics Handbook*. California : Academic Press.
- [7] Dubey, Gopal. K. 1989. *Power Semiconductor Controlled Drives*. United States : Prentice Hall.
- [8] Bhatt, A. M. *Phase Angle Control of SCR Using AT89C51*. http://www.electronicshobby.com/electronicshobby/circuitarchives/view_article.asp?sno=477&id=4691. Diakses pada tanggal 10 Desember 2012.
- [9] Mazda, Fraidon. 1997. *Power Electronics Handbook 3rd Edition*. Oxford: Newnes.

TABEL 1.

DATA DAN HASIL PERHITUNGAN PADA MOTOR DC MAGNET PERMANEN TANPA PENGADUK (PENGUJIAN RANGKAIAN DRIVER) DAN DENGAN PENGADUK (PENGUJIAN SISTEM)

Waktu tunda (μ s)	Sudut penyalakan ($^{\circ}$)	Motor DC Magnet Permanen Tanpa Pengaduk					Motor DC Magnet Permanen Dihubungkan dengan Pengaduk				
		Data		Hasil Perhitungan			Data		Hasil Perhitungan		
		Tegangan rata-rata (V)	Arus rata-rata (A)	Putaran (rpm)	Sudut pemadaman ($^{\circ}$)	Torsi (N-m)	Tegangan rata-rata (V)	Arus rata-rata (A)	Putaran (rpm)	Sudut pemadaman ($^{\circ}$)	Torsi (N-m)
2500	45	8,56	0,25	104,9	55,5823	0,1897	6,55	0,4	80,1	55,905	0,3035
3000	54	8,47	0,25	103,7	61,7649	0,1897	8,02	0,41	98	65,1872	0,3111
3700	66.6	11,4	0,26	140,5	77,6014	0,1973	9,24	0,43	113	77,9184	0,3263
4000	72	11,1	0,26	136,8	81,3543	0,1973	8,97	0,43	110	82,2706	0,3263
5000	90	10,1	0,25	124,2	9,7669	0,1897	7,95	0,42	96	98,1600	0,3187
6000	108	8,23	0,24	100,7	113,6233	0,1821	5,66	0,41	70	115,0512	0,3111
7000	126	4,88	0,24	58,7	130,8807	0,1821	1,89	0,42	23	132,2795	0,3187
8000	144	0,48	0,2	3	147,5997	0,1518	0,14	0,24	0	148,2367	0,1821