

PENGENDALIAN TEKANAN PADA SISTEM HOMOGENISASI SUSU DENGAN KONTROLER PID BERBASIS ARDUINO UNO

Garneta Rizke Ayu Cempaka, Purwanto, Rahmadwati
Teknik Elektro Universitas Brawijaya
Jalan M.T Haryono No.167 Malang 65145 Indonesia
Email: garnetarac@gmail.com

Abstrak – Homogenisasi susu adalah suatu proses dimana butiran - butiran atau globula - globula lemak pada susu dipecah menjadi globula-globula yang lebih kecil yang berukuran 2μ atau kurang. Sistem homogenisasi susu dimaksudkan untuk menghindari terbentuknya lapisan krim yang terjadi bila air susu didiamkan. Cara kerja dari alat homogenisasi adalah dengan menekan susu pada tekanan yang tinggi dan melewatkannya pada sebuah lubang yang lebih kecil dari globula-globula lemak awal. Alat homogenisasi susu yang digunakan merupakan hasil rancangan sendiri sehingga berbeda dengan alat homogenisasi yang dijual di pasaran pada umumnya. Pada penelitian ini akan digunakan kontroler PID berbasis Arduino Uno untuk mengatur tekanan pada sistem homogenisasi susu. Dalam proses pengendalian tekanan, Arduino Uno yang sudah dikontrol dengan PID akan mengendalikan *Variable Speed Drive* (VSD) dan VSD akan menggerakkan motor induksi yang ada di dalam pompa. Pada penelitian ini pemodelan sistem menggunakan teori pertama metode Ziegler-Nichols dan didapatkan nilai parameter $K_p = 1.91$, $K_i = 0.62$, dan $K_d = 1.48$. Sensor yang digunakan adalah sensor tekanan MPX5700AP. Pada proses ini akan diberikan *setpoint* berupa tekanan sebesar 3 Bar.

Kata Kunci—homogenisasi susu, *Variable Speed Drive*, PID

I. PENDAHULUAN

Susu adalah salah satu minuman bergizi yang dibutuhkan oleh manusia, dari bayi sampai lansia. Susu mengandung zat gizi yang tinggi, yaitu protein, lemak, mineral, karbohidrat, vitamin, kalsium, fosfor, dll. Sehingga susu merupakan salah satu sumber tenaga karena mengandung lemak dan karbohidrat. Karena kandungan zat gizi yang penting bagi tubuh manusia, permintaan konsumen terhadap susu dan produk-produk olahan susu terus meningkat. Hal ini menjadi tantangan tersendiri bagi produsen untuk meningkatkan hasil produksi dan kualitas dari susu yang dihasilkan karena konsumen semakin selektif dalam

memilih susu dan produk-produk susu. Sekarang banyak dijumpai produsen-produsen susu olahan rumah tangga. Untuk menjaga kualitas susu dibutuhkan alat-alat khusus dengan harga tinggi.

Alat homogenisasi mula-mula ditemukan di Perancis pada tahun 1902, yang kemudian dipatenkan di Amerika pada tahun 1904 [1]. Cara kerja dari alat homogenisasi adalah dengan menekan susu pada tekanan yang tinggi dan melewatkannya pada sebuah lubang yang lebih kecil dari globula-globula lemak awal.

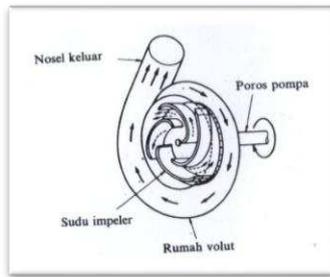
Salah satu manfaat dari sistem homogenisasi susu adalah untuk memperbaiki rasa dan tekstur dari susu. Berdasarkan tekanan, homogenisasi dibedakan menjadi dua, yaitu *high-pressure homogenization* ($p = 100-350$ Bar) dan *low-pressure homogenization* ($p = 5-30$ Bar) [2].

Penelitian ini membahas tentang pengendalian tekanan pada sistem homogenisasi susu dengan merancang alat yang lebih sederhana dengan prinsip kerja yang sama, sehingga alat tersebut dapat meningkatkan kualitas susu. Pengendalian tersebut dilakukan dengan cara mengendalikan putaran motor induksi yang berada pada pompa. Sistem homogenisasi susu pada penelitian ini berbasis Arduino Uno dan memakai Kontroler PID sebagai kontrolernya. Diharapkan dengan menggunakan Kontroler PID berbasis Arduino Uno, tekanan dapat dikendalikan dengan sesuai.

II. SPESIFIKASI ALAT

A. Pompa Sentrifugal

Sebuah pompa merupakan pesawat angkut yang bertujuan antara lain memindahkan zat cair. Zat cair hanya mengalir bila terdapat perbedaan tekanan tertentu. Jadi pompa itulah yang harus membangkitkan perbedaan tekanan tersebut [3].



Gambar 1. Bagan Aliran Fluida di Dalam Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal, seperti diperlihatkan dalam Gambar 1, mempunyai sebuah impeler (baling-baling) untuk mengangkat zat cair dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi [4]. Daya dari luar diberikan kepada poros pompa untuk memutar impeler di dalam zat cair. Maka zat cair yang ada di dalam impeler, oleh dorongan sudu-sudu ikut berputar. Karena timbul gaya setrifugal maka zat cair mengalir dari tengah impeler ke luar melalui saluran di antara sudu-sudu. Disini *head* tekanan zat cair menjadi lebih tinggi. Demikian pula *head* kecepatannya bertambah besar karena zat cair mengalami percepatan. Zat cair yang keluar dari impeler ditampung oleh saluran berbentuk volut (spiral) di keliling impeler dan disalurkan ke luar pompa melalui nosel. Di dalam nosel ini sebagian *head* kecepatan aliran diubah menjadi *head* tekanan. Jadi impeler pompa berfungsi memberikan kerja kepada zat cair sehingga energi yang diakandungnya menjadi bertambah besar. Selisih energi per satuan berat atau *head* total zat cair antara flens isap dan flens keluar pompa disebut *head* total pompa.

Dari uraian di atas jelas bahwa pompa sentrifugal dapat mengubah energi mekanik dalam bentuk kerja poros menjadi energi fluda. Energi inilah yang mengakibatkan pertambahan *head* tekanan, *head* kecepatan, dan *head* potensial pada zat cair yang mengalir secara kontinyu.

B. Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi merupakan motor yang umum digunakan dalam dunia industri dan rumah tangga. Motor induksi sering digunakan karena motor induksi merupakan mesin yang ekonomis, handal, dan tersedia untuk berbagai aplikasi dan lingkungan kerja dengan jangkauan daya mulai dari beberapa watt sampai megawatt. Motor induksi multi fasa sering dijumpai dalam berbagai aplikasi berdaya besar sebagai penggerak utama seperti dijumpai di dunia industri sebagai pompa, kipas angin, kompresor dll. Motor induksi sering pula digunakan secara luas pada peralatan rumah tangga sebagai kipas angin, mesin cuci, peralatan pertukangan dll [5].

C. Sensor Tekanan

Sensor tekanan berfungsi untuk mengukur kekuatan tekanan suatu zat, misalnya tekanan zat gas atau zat cair. Tekanan yang dimaksud ialah tenaga/kekuatan yang dibutuhkan agar suatu zat tidak berkembang. Sensor tekanan banyak digunakan untuk mengontrol dan

mengawasi banyak pekerjaan sehari-hari. Sensor tekanan juga biasanya digunakan secara tidak langsung untuk mengukur variabel lain seperti arus gas, kecepatan, tekanan air, dan alat pengukur tinggi.

Prinsip kerja dari sensor tekanan adalah mengubah tegangan mekanis menjadi sinyal listrik. Ukuran tegangan didasarkan pada prinsip bahwa tahanan pengantar berubah dengan panjang dan luas penampang. Perubahan tekanan pada kantung menyebabkan perubahan posisi inti kumparan sehingga mengakibatkan perubahan induksi magnetik pada kumparan. Kumparan yang digunakan adalah kumparan CT (*senter tap*), dengan demikian apabila inti mengalami pergeseran maka induktansi pada salah satu kumparan bertambah sementara induktansi pada kumparan yang lain berkurang. Kemudian pengubah sinyal berfungsi untuk mengubah induktansi magnetik yang timbul pada kumparan menjadi tegangan yang sebanding.

D. Kontroler

Sistem kontrol adalah membandingkan nilai sebenarnya dari keluaran sistem secara keseluruhan dengan mengacu pada masukan (nilai yang dikehendaki) untuk menentukan penyimpangan dan menghasilkan sinyal kontrol yang akan mengurangi penyimpangan menjadi nol atau nilai yang terkecil [6].

Kontroler PID dapat di *tuning* dengan beberapa cara, antara lain Ziegler-Nichols *tuning*, *loop tuning*, metode analitis, optimasi, *pole placement*, *auto tuning*, dan *hand tuning*.

Langkah pertama yang dilakukan adalah mencari grafik karakteristik *plant*. Pencarian parameter Kp, Ki, dan Kd pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode Ziegler-Nichols.

E. Digital to Analog Converter (DAC)

DAC adalah perangkat untuk mengkonversi sinyal masukan dalam bentuk *digital* menjadi sinyal keluaran dalam bentuk *analog* (tegangan). Tegangan keluaran yang dihasilkan DAC sebanding dengan nilai *digital* yang masuk ke dalam DAC.

F. Arduino Uno

Arduino Uno adalah board mikrokontroler berbasis ATmega 328. Memiliki 6 pin input analog dan 13 output digital dimana 5 pin output tersebut dapat digunakan sebagai *Pulse Width Modulation* (PWM), 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack power, ICSP header, dan tombol reset. Arduino Uno dapat dilihat dalam Gambar 2.

Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan Board Arduino Uno ke komputer dengan menggunakan kabel USB.



Gambar 2. Arduino Uno

G. Variable Speed Drive (VSD)

Variable Speed Drive (VSD) merupakan sebuah alat pengatur kecepatan motor dengan mengubah nilai frekuensi yang masuk ke motor. Pengaturan nilai frekuensi ini dimaksudkan untuk mendapatkan kecepatan putaran dan torsi motor yang di inginkan atau sesuai dengan kebutuhan. Secara sederhana prinsip dasar inverter untuk dapat mengubah frekuensi menjadi lebih kecil atau lebih besar yaitu dengan mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC kemudian dijadikan tegangan AC lagi dengan frekuensi yang berbeda atau dapat diatur. Gambar 3 adalah salah satu contoh dari VSD. Spesifikasi VSD yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Merk : Altivar - Schneider
- Tipe : ATV312HU30N4
- Tegangan *Input* : 380-500 V
- Frekuensi Kerja : 50 Hz



Gambar 3. Variable Speed Drive (VSD)

III. PERANCANGAN MODUL

Perancangan ini meliputi pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak, perangkat keras meliputi perancangan sensor tekanan dan DAC. Perancangan perangkat lunak meliputi pembuatan program pada Arduino Uno untuk keperluan pengendalian tekanan.

A. Perancangan Sensor Tekanan MPX5700AP

Sensor tekanan pada perancangan ini berfungsi sebagai sensor pengukur tekanan pada sistem homogenisasi susu. *Output* dari sensor tekanan ini digunakan sebagai *input* untuk perhitungan algoritma PID yang dirancang. Sensor tekanan mampu melakukan pembacaan pada rentang tekanan 0-700 kPa. Pada penelitian ini digunakan Gambar sensor tekanan MPX5700AP dapat dilihat pada Gambar 4.



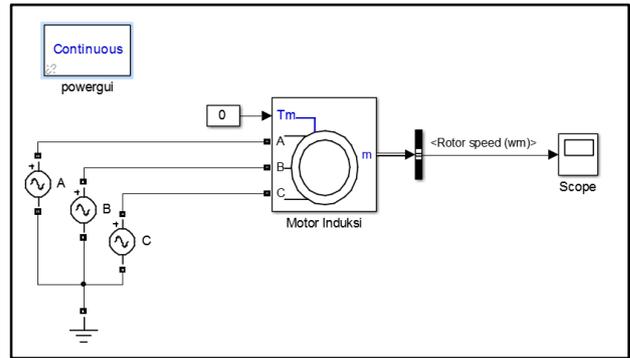
Gambar 4. Sensor Tekanan MPX5700AP

B. Perancangan Variable Speed Drive (VSD)

Pengujian *Variable Speed Drive* akan dilakukan bersamaan dengan pengujian motor induksi tiga fasa. Pengujian dilakukan dengan pengaturan *default* dari pabrik.

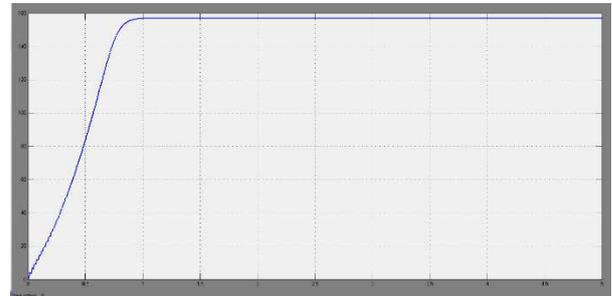
C. Karakteristik Motor Induksi

Penentuan karakteristik *plant* dilakukan melalui *software* MATLAB R2013a. Rangkaian simulasi pada MATLAB dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian Simulasi

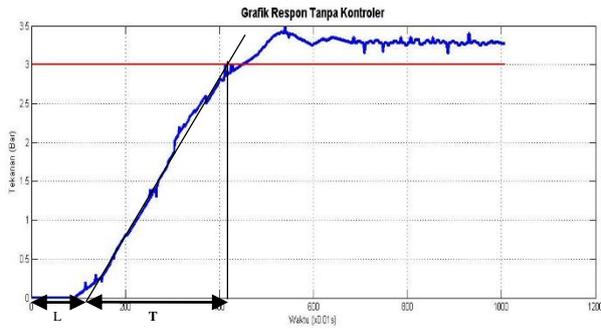
Dari rangkaian simulasi di atas, akan didapat grafik karakteristik seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Karakteristik Motor Induksi

D. Perancangan Kontroler

Penentuan parameter PID dilakukan menggunakan metode 1 Ziegler-Nichols. Langkah awal *tunning* parameter dengan menggunakan metode 1 Ziegler-Nichols adalah menarik garis *tangent* pada titik infleksi grafik karakteristik *plant*. Kemudian mencari perpotongan garis *tangent* dengan garis nilai akhir, sehingga diperoleh nilai T dan L. nilai T dan L tersebut digunakan untuk menentukan besarnya Kp, Ti, dan Td yang tepat sesuai dengan Tabel 1 aturan *tunning* metode 1 Ziegler-Nichols. Gambar 7 menunjukkan grafik penentuan parameter Kp, Ki, dan Kd menggunakan teori pertama metode Ziegler-Nichols.



Gambar 7. Grafik Penentuan Parameter Kp, Ki, dan Kd

Tabel 1. Tabel Aturan *Tunning* Metode 1 Ziegler-Nichols

Tipe Kontroler	Kp	Ti=Kp/Ki	Td=Kd/Kp
P	T/L	∞	0
PI	0.9(T/L)	L/0.3	0
PID	1.2(T/L)	2 x L	0.5 x L

Berdasarkan metode 1 Ziegler-Nichols, didapatkan hasil Kp=1.91, Ki=0.62, dan Kd=1.48.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian perangkat keras, yaitu sensor tekanan, *Variable Speed Drive* (VSD), motor induksi tiga fasa, DAC, dan pengujian sistem keseluruhan.

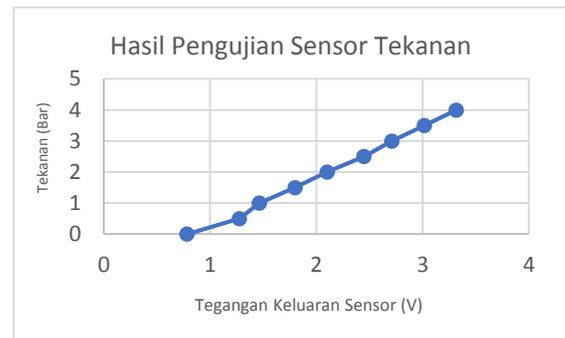
A. Pengujian Sensor Tekanan MPX5700AP

Tujuan pengujian sensor tekanan MPX5700AP adalah untuk mengetahui kemampuan sensor tekanan dalam membaca perubahan tekanan. Peralatan yang digunakan adalah MPX5700AP, multimeter, kompresor, dan catu daya 5V.

Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 8 menunjukkan hubungan linier dari tekanan dan tegangan keluaran sensor.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Tekanan MPX5700AP

No.	Tekanan (Bar)	Tegangan Keluaran Sensor (V)
1.	4	3,319
2.	3.5	3,018
3.	3	2,714
4.	2.5	2,45
5.	2	2,103
6.	1.5	1,8
7.	1	1,465
8.	0.5	1,279
9.	0	0,785



Gambar 8. Grafik Hasil Pengujian Sensor Tekanan MPX5700AP

Dari hasil pengujian yang dilakukan pada sensor tekanan dapat dilihat bahwa hasil pembacaan sensor tekanan yang digunakan mampu mendeteksi perubahan tekanan.

B. Pengujian Motor Induksi dan VSD Pengaturan

Default

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui hubungan frekuensi terhadap kecepatan putaran motor dan untuk mengetahui apakah pengaturan *default* VSD dapat dijalankan dengan baik. Peralatan yang digunakan adalah VSD, motor induksi, dan *tachometer*.

Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabel Hasil Pengujian

No.	Frekuensi (Hz)	Kecepatan Putaran (RPM)	No.	Frekuensi (Hz)	Kecepatan Putaran (RPM)
1.	0	0	12.	50	2956
2.	5	320	13.	45	2693
3.	10	613	14.	40	2402
4.	15	920	15.	35	2100
5.	20	1222	16.	30	1813
6.	25	1519	17.	25	1504
7.	30	1861	18.	20	1200
8.	35	2114	19.	15	976
9.	40	2404	20.	10	618
10.	45	2719	21.	5	333
11.	50	2956	22.	0	0

Dari hasil pengujian yang didapat, dicari rata – rata dari kecepatan putaran motor dan akan didapatkan grafik linier seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Hubungan Frekuensi terhadap Kecepatan Putaran Motor

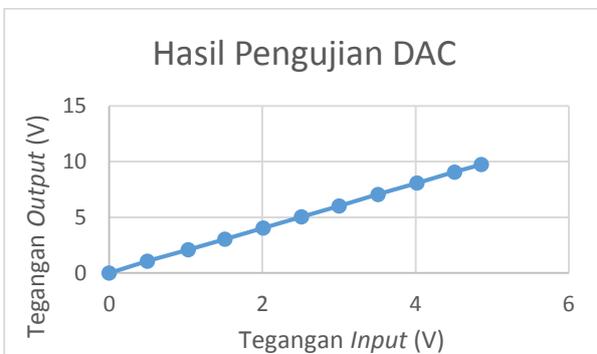
Dapat dilihat bahwa hubungan frekuensi terhadap kecepatan putaran motor adalah linier, dari pengujian ini juga dapat dibuktikan bahwa VSD dapat mengontrol motor dengan baik.

C. Pengujian DAC

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besar kecilnya *output* tegangan yang dikeluarkan oleh Arduino. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4 dan grafik hasil pengujian pada Gambar 10.

Tabel 4. Hasil Pengujian DAC

No.	Tegangan Input (V)	Tegangan Output (V)
1.	0	0
2.	0.5	1.08
3.	1.03	2.09
4.	1.51	3.04
5.	2.01	4.04
6.	2.51	5.05
7.	3.00	6.02
8.	3.51	7.07
9.	4.02	8.08
10.	4.51	9.07
11.	4.86	9.74

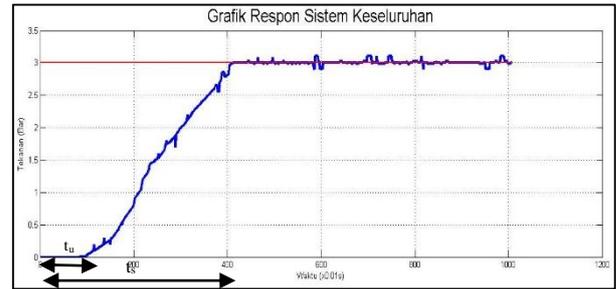


Gambar 10. Grafik Hasil Pengujian DAC

D. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan untuk mengetahui kinerja perangkat keras dan lunak serta mengetahui respon keseluruhan sistem dengan

kontroler PID yang telah dihitung yaitu $K_p = 1.91$, $K_i = 0.62$, dan $K_d = 1.48$. *Setpoint* yang digunakan adalah tekanan sebesar 3 Bar. Dari proses implementasi tersebut dihasilkan respon seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Pengujian Keseluruhan Sistem Homogenisasi Susu

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 11 grafik respon sistem keseluruhan, diperoleh kinerja sistem antara lain:

1. t_u (waktu tunda) yaitu waktu ketika tekanan belum naik karena motor masih dalam proses penyalaan. t_u berdasarkan pengujian adalah 0.83 detik.
2. t_s (*settling time*) yaitu waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai akhir ketika *steady*. t_s berdasarkan pengujian adalah 4.03 detik. *Settling time* didapat ketika tekanan telah mencapai 2.9 Bar dengan asumsi bahwa pada tekanan tersebut memiliki toleransi kurang dari 2% sehingga masih memenuhi syarat penentuan t_s .

V. KESIMPULAN DAN PROSPEK

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan perancangan dan pembuatan sistem homogenisasi susu ini dapat diimplementasikan dengan baik. Setelah dilakukan pengujian diperoleh kinerja sistem antara lain:

1. Berdasarkan data respon sistem yang diperoleh dari pengujian dengan menggunakan metode pertama dari teori Ziegler-Nicholes didapat nilai parameter kontroler PID dengan penguatan sebesar $K_p = 1.91$, $K_i = 0.62$, dan $K_d = 1.48$.
2. Setelah diimplementasikan, sistem homogenisasi susu dapat mencapai *set point* 3 Bar, *settling time* (t_s) = 4.03 detik dan waktu tunda (t_u) = 0.83 detik.
3. Sistem belum dapat menghasilkan hasil olahan susu sesuai standar karena pada penelitian ini menggunakan tekanan di bawah standar yang ada, namun pada hasil penelitian ini sudah mendekati standar tersebut.

Penelitian ini dapat diaplikasikan pada koperasi susu atau pada industri kecil-menengah untuk menambah kualitas susu olahan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adnan, Mochamad. 1984. *Kimia dan Teknologi Pengolahan Air Susu*. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada.
- [2] Spreer, Edgar. 1995. *Milk and Dairy Product Technology*. Terjemahan oleh Axel Mixa. 1998. New York: Marcel Dekker, Inc.

- [3] Nouwen, A. 1979. *Pompa 1*. Terjemahan oleh PT Bhratara Karya Aksara.1981. Jakarta: PT Bhratara Karya Aksara.
- [4] Sularso & Haruo Tahara. 2004. *Pompa dan Kompresor: Pemilihan, Pemakaian, dan Pemeliharaan*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- [5] Prima, Muh. Iqbal Dias. 2011. *Perancangan Modul Pengasutan Motor Induksi Tiga Fasa Metode Soft-Starting pada Praktikum Mesin Elektrik*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- [6] Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik Jilid 2*. Jakarta. Penerbit Erlangga.