

MENGGUNAKAN KONTROL FUZZY UNTUK PENGATURAN SUHU CAIRAN BERBASIS ATMEGA16

Setiawan Romadhan^{*)}, Budi Setiyono, and Sumardi

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

^{*)}E-mail : setiawan.romadhan@gmail.com

Abstrak

Sari buah merupakan salah satu minuman yang paling digemari masyarakat saat ini, dikarenakan rasanya yang enak, kadar vitamin yang cukup tinggi, serta terdiri dari bermacam-macam varian. Saat ini, sebagian besar proses pembuatan sari buah di Indonesia dalam skala *home industry* masih menggunakan cara konvensional dan manual. Metode pemanasan konvensional tidak dapat memberikan konsistensi suhu yang baik serta tidak memenuhi syarat pasteurisasi. Maka dari itu otomatisasi sangat diperlukan dalam pembuatan sari buah untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal. Pada penelitian ini, dibuat *prototype* alat pembuat sari buah otomatis untuk skala *home industry*. Otomatisasi sistem pada alat ini mencakup proses penakaran bahan utama, pencampuran bahan, pengadukan bahan, pengaturan suhu dan lama pemanasan sari buah. Metode kontrol yang digunakan dalam pengendalian suhu saat proses pemanasan (*heating*) adalah kendali *fuzzy*. *Settling point* suhu yang diinginkan pada proses pembuatan sari buah adalah $63^{\circ}\text{C} - 74^{\circ}\text{C}$, dengan lama pemanasan sekitar 15-30 menit. Hasil pengujian diperoleh bahwa pengendalian suhu *heater* menggunakan teknik kendali *fuzzy* pada alat pembuat sari buah otomatis menghasilkan respon sistem dengan *rise time* dan *settling time* yang kecil serta nilai *maksimum overshoot* yang masih dalam batas toleransi yakni 5%.

Kata kunci : Sari buah, pemanasan, kontrol fuzzy

Abstract

Fruit essence is one of the most popular drinks today's society, because it tastes good and fairly high levels of vitamins. Currently, most of the fruit essence making process in Indonesia still use manual process. Conventional heating methods can not provide a good temperature consistency and does not qualified in term of pasteurization. Therefore, process automation in the production process of fruit essence is required to get more optimal results. At this research, a prototype of automatic fruit essence maker machine was made for household industrial scale. Automation systems in this research include of the main ingredient dosing, mixing ingredients, mixing materials, temperature control, and prolonged heating of the fruit essence. Fuzzy control was applied in the temperature controlling of heater during the process of heating. Settling point temperature that was desired in the process of making the fruit essence was $63^{\circ}\text{C} - 74^{\circ}\text{C}$, with a heating time about 15-30 minutes. The test results obtained that heater temperature control using fuzzy control techniques in fruit essence maker machine generated the system's response that had small rise time and settling time and the maximum overshoot value was still within the tolerance limit of 5%.

Key words: Fruit essence, heating process, fuzzy control

1. Pendahuluan

Buah-buahan merupakan bahan pangan sumber vitamin. Sebagian besar produk pertanian, khususnya buah-buahan dan sayuran lebih banyak dikonsumsi dalam bentuk segar dari pada dalam bentuk olahan. Kadar air yang tinggi serta kandungan zat-zat gizi yang cukup bervariasi di dalam buah segar bisa mempermudah kerusakan buah.

Oleh karena itu pengolahan buah untuk memperpanjang masa simpannya sangat penting[1].

Salah satu hasil pengolahan buah segar yang menjadi andalan produk industri kecil adalah minuman sari buah. Di Indonesia, sistem otomatisasi dalam pengolahan sari buah skala rumah tangga masih sangat sedikit. Padahal, sistem otomatisasi dalam pengolahan produk minuman

sari buah memiliki beberapa keunggulan diantaranya adalah dapat mempersingkat waktu produksi, mengurangi *human error*, serta meningkatkan ketahanan proses dan konsistensi *output*.

Penelitian sebelumnya telah dilakukan perancangan simulasi *plant* pabrikasi minuman sirup skala industri dengan menggunakan logika *fuzzy*[2]. Pengendalian sistem dilakukan dengan mengontrol empat parameter, yakni bukaan *valve*, suhu, motor pengaduk, dan pH. Untuk mengetahui performansi sistem, *rule based* dan sistem inferensi logika *fuzzy* dihitung dan disimulasikan menggunakan *software* MATLAB. Penelitian ini menghasilkan model desain yang cukup efisien dan simpel serta mempunyai fleksibilitas untuk menyesuaikan parameter *input* dan *output* sesuai persyaratan pembuatan minuman sirup.

Penelitian penelitian ini akan dilakukan perancangan alat pembuat sari buah otomatis untuk skala *home industry*. Otomatisasi sistem pada alat ini mencakup proses penakaran bahan utama, pencampuran bahan, pengadukan bahan, sistem pewaktuan (*timer*) pada masing-masing tahapan proses, serta pengaturan suhu dan lama pemanasan sari buah. Metode kontrol *fuzzy*[3] akan diterapkan pada proses pemanasan, yang merupakan proses terpenting dalam pembuatan sari buah. Diharapkan, sistem dapat menghasilkan respon yang ideal dengan *rise time* dan *settling time* yang kecil serta nilai *maximum overshoot* yang masih dalam batas toleransi (5%). Dengan demikian, kestabilan suhu dapat tercapai dengan baik sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan sehingga dapat meningkatkan mutu pembuatan sari buah.

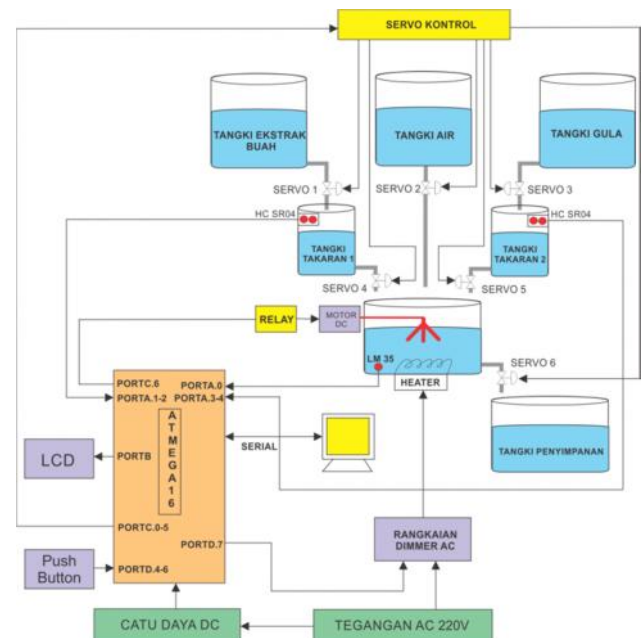
2. Metode

2.1 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras sistem pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Penjelasan dari masing-masing blok alat pembuat sari buah otomatis pada Gambar 1 adalah sebagai berikut :

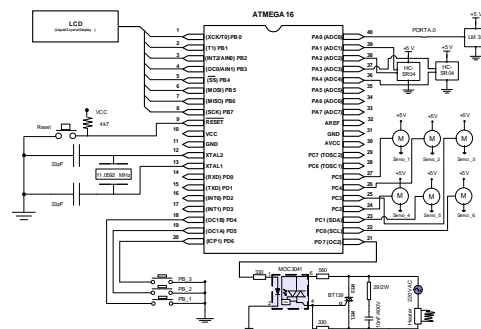
1. Mikrokontroler ATmega16 yang berfungsi sebagai pusat pengendalian pada sistem pengaturan suhu cairan ini dapat diprogram dengan menggunakan bahasa *C embedded*.
2. *Push Button* berfungsi sebagai masukan untuk mengatur *set point* suhu cairan dan sebagai tombol untuk menjalankan proses pengendalian.
3. LCD (*Liquid Crystal Display*) digunakan sebagai media tampilan (*display*) selama proses pengendalian berlangsung.
4. Sensor suhu LM35 merupakan sensor yang akan mendeteksi perubahan suhu pada *heater*. Keluaran sensor ini berupa tegangan analog.
5. Sensor jarak HC-SR04 difungsikan sebagai sensor *level* yang digunakan untuk mendeteksi ketinggian cairan pada tangki takaran.

6. Motor servo sebagai aktuator penggerak keran air`
7. *Heater* (Pemanas cairan) dengan daya 600 watt dengan sumber tegangan ac (bolak-balik) yang berfungsi sebagai *aktuator*.
8. Rangkaian pengendali tegangan AC adalah rangkaian yang berfungsi untuk mengendalikan tegangan beban dengan memberi waktu tunda pemicuan *triac*. Komponen utama pengatur tegangan AC berupa *triac* dan optoisolator *MOC3041*.
9. Relay berguna sebagai kendali *on-off* pada motor listrik yang difungsikan sebagai pengaduk cairan pada saat pemanasan.
10. Catu daya berfungsi sebagai suplai sistem secara keseluruhan.
11. PC (*Personal Computer*)
Dalam hal ini, PC digunakan untuk komunikasi serial dengan mikrokontroler.



Gambar 1 Diagram blok perancangan perangkat keras

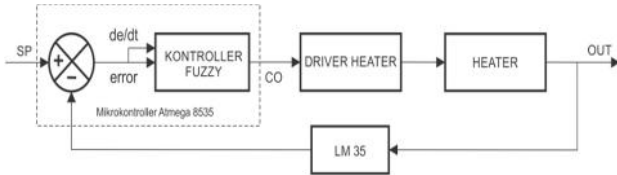
Adapun alokasi penggunaan *port* pada rangkaian ATmega16 dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini:



Gambar 2 Skematik perancangan perangkat keras

2.2 Perancangan Pengendali Fuzzy (FLC)

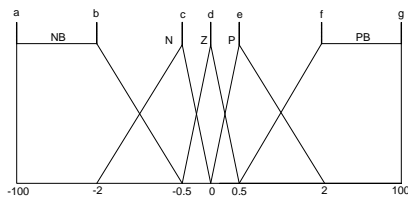
Masukan dari pengendali *fuzzy logic* adalah *error* dan *Error* sedangkan keluarannya adalah berupa sinyal kontrol dengan *range* 0% - 100%. Diagram blok pengendali *fuzzy* dapat dilihat seperti Gambar 6 dibawah ini.



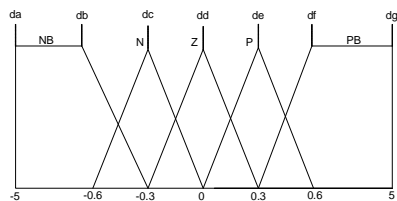
Gambar 3 Diagram blok sistem kendali fuzzy

2.2.1 Fuzzifikasi

Pada tahap ini diawali dengan menentukan parameter-parameter fungsi keanggotaan setiap himpunan Fuzzy. Dimana pada tugas akhir ini menggunakan dua himpunan fuzzy masukan yaitu *error* dan *error*.



Gambar 4 Perancangan keanggotaan error



Gambar 5 perancangan keanggotaan perubahan error



Gambar 6 perancangan keanggotaan himpunan keluaran fuzzy

2.2.2 Perancangan Rule Base

Pada penelitian ini perancangan *rule base* dan pengambilan keputusan terdiri dari dua masukan dan satu keluaran. Eksekusi aturan diproses menggunakan model

inferensi Mamdani. Perancangan *rule base* ditunjukkan dalam tabel 1.

Tabel 1 Perancangan aturan fuzzy dengan keluaran sinyal control

Error error	NB	N	Z	P	PB
NB	M	MH	H	ML	M
N	H	L	ML	MH	L
Z	L	M	L	L	M
P	L	M	L	L	M
PB	L	M	L	L	M

Keterangan: L = Low
ML = Medium Low
M = Medium
MH = Medium High
H = High

2.2.3 Defuzzifikasi

Untuk mendapatkan nilai *crisp output* dari himpunan fuzzy ini digunakan metode rata-rata berbobot (*Center average defuzzifier*) yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Output = \frac{\sum_{i=1}^N w_i CO_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (1)$$

Hasil defuzzifikasi inilah yang nantinya akan digunakan untuk mengatur besarnya nilai waktu tunda pemecuan *triac* untuk mengendalikan tegangan beban (*heater*).

2.3 Perancangan Perangkat Lunak

Pemrograman mikrokontroler Atmega16 dapat dilakukan dengan bahasa C. Perancangan *software* pada penelitian ini juga menggunakan bahasa C dengan kompilator Code Vision AVR versi 2.04.4a.

Secara umum pada perancangan perangkat lunak pada mikrokontroler ATmega8535 ini terdiri atas :

- Perancangan Program Utama.
- Program Inisialisasi I/O dan Variabel.
- Program *Push Button* dan *Pindah State*
- Program Pengambilan Data ADC (sensor suhu LM35 dan sensor jarak HC-SR04)
- Program Tampilan LCD 16x2
- Program *Zero Crossing Detector* dan Sinyal Pemicuan *Triac*
- Program Pengendali *Fuzzy Logic*
- Program Data Serial

3. Hasil dan Analisa

3.1 Pengujian Sensor Suhu LM35

Pengujian sensor ini dilakukan dengan membandingkan pembacaan sensor suhu LM35 dengan thermometer analog.

Tabel 2 Hasil perbandingan suhu sensor LM35 dan thermometer analog

No.	Suhu Termometer (°C)	Sensor LM35 (°C)	Error (°C)
1.	30	30,2	0,2
2.	32	31,6	0,4
3.	35	35,3	0,3
4.	38	38,2	0,2
5.	40	39,7	0,3
6.	43	43,3	0,3
7.	45	45,1	0,1
8.	47	46,8	0,2
9.	50	50,5	0,5
10.	53	53,3	0,3
Error			2,8
Error rata-rata			0,28

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa pembacaan sensor suhu LM35 memiliki rata-rata *error* total sebesar 0,28 °C.

3.2 Pengujian Rangkaian Pengendali Tegangan AC

Pengujian dilakukan dengan membandingkan sinyal picu dari mikrokontroler *portD.3* (TCNT0) dan tegangan keluaran dari rangkaian pengendali tegangan AC dengan variasi berdasarkan sinyal kontrol yang diberikan ke pemacu. Data hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 3.

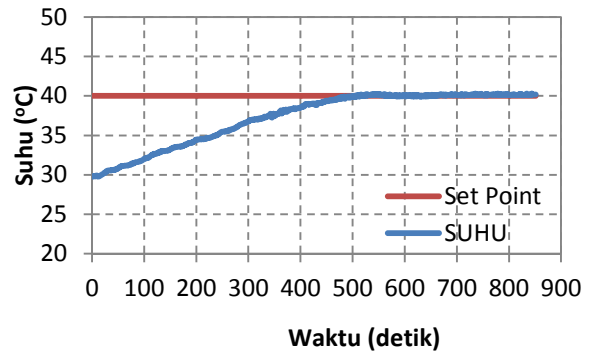
Tabel 3 Data pengujian tegangan sinyal picu dan kendali tegangan AC

No.	Sinyal Kontrol (%)	Nilai TCNT0	Tegangan Beban (Volt)	Pada
1.	0	147 (93)	0	
2.	10	158 (9D)	3	
3.	20	167 (A8)	15	
4.	30	179 (B3)	42	
5.	40	190 (BE)	72	
6.	50	201 (C9)	104	
7.	60	212 (D3)	136	
8.	70	223 (DE)	163	
9.	80	233 (E9)	186	
10.	90	244 (F4)	201	
11.	100	255 (FF)	209	

Berdasarkan Tabel 3 terlihat bahwa tegangan keluaran rangkaian kendali tegangan AC naik seiring dengan kenaikan nilai pada sinyal kontrol (co) dengan nilai maksimum 255 (FF).

3.3 Pengujian Sistem dengan Referensi Tetap

Pengujian referensi tetap adalah pengujian yang menggunakan masukan tetap yaitu 40°C. Suhu awal cairan yang ada dalam *heater* adalah 29,83°C.

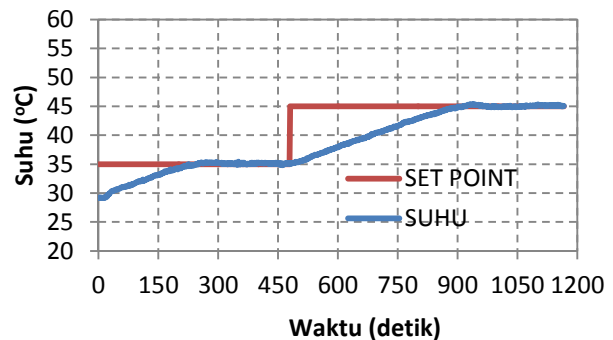


Gambar 7 Respon sistem dengan referensi tetap

Respon sistem pada pengujian dengan referensi tetap menghasilkan *Tr* (waktu naik) sebesar 504 detik dan *Ts* sebesar 523 detik. Pada respon sistem ini terdapat *overshoot* sebesar 0,24 °C.

3.4 Pengujian Sistem dengan Referensi Naik

Berikut ini adalah hasil pengujian sistem dengan menggunakan *set point* sebesar 35°C kemudian dinaikkan menjadi 45°C.



Gambar 8 Respon sistem dengan referensi naik

Respon sistem pada pengujian dengan referensi naik dengan *set point* 35°C menghasilkan nilai *dead time* sebesar 10 detik, *Tr* (waktu naik) sebesar 226 detik dan *Ts* sebesar 246 detik. Pada respon sistem saat *set point* dinaikkan menjadi 45°C sistem menghasilkan *Tr* (waktu naik) sebesar 434 detik, dan *Ts* sebesar 477 detik. Pada pengujian ini terdapat *overshoot*. Nilai *Overshoot* (%OS) ini dapat dinyatakan dalam %. %OS dapat dihitung menggunakan persamaan:

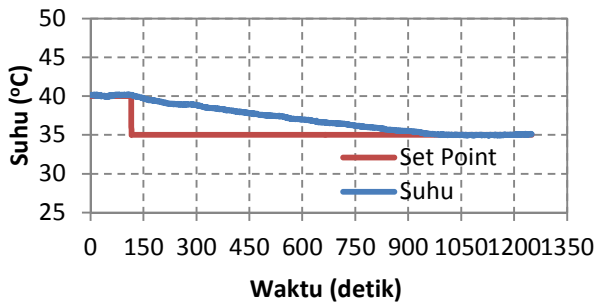
$$\%OS = \frac{C_{max} - C_{reff}}{C_{reff}} \times 100\% \quad (2)$$

dimana : C_{max} = Nilai puncak maksimal
 C_{reff} = Nilai referensi

Pengujian dengan sistem referensi naik ini menghasilkan *overshoot* sebesar 0,34 °C (3,4%).

3.5 Pengujian Sistem dengan Referensi Turun

Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan *set point* pada suhu 40°C kemudian diturunkan menjadi 35°C.

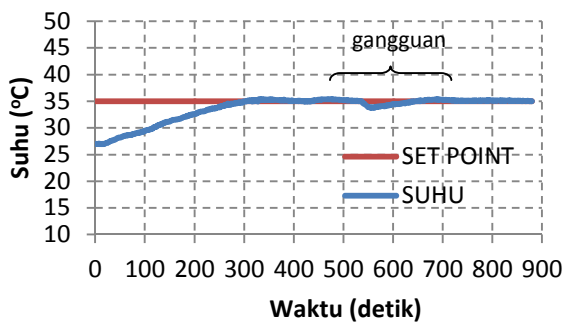


Gambar 9 Respon sistem dengan referensi turun

Pada respon sistem saat *set point* diturunkan menjadi 35°C sistem menghasilkan T_r (waktu naik) sebesar 852 detik, dan T_s sebesar 852 detik. Pada pengujian ini, tidak terdapat *overshoot* dan *error steady state*.

3.6 Pengujian Sistem terhadap Gangguan

Pada tahap ini, sistem pengendalian suhu pada alat pemanas sari buah diuji dengan gangguan. Gangguan yang dimaksud dalam pengujian ini adalah menambahkan air sebanyak 750 mililiter ke dalam alat pemanas (*heater*).



Gambar 13 Respon sistem terhadap gangguan

Pengujian dengan gangguan dan *set point* sebesar 35°C menghasilkan respon sistem dengan T_r (waktu naik) sebesar 300 detik, T_s (waktu stabil) sebesar 340 detik, dan *dead time* sebesar 17 detik. Dengan cara yang sama pada persamaan (4.1), pada pengujian ini menghasilkan *overshoot* sebesar 0,44°C (4,5 %).

Setelah sistem diberikan gangguan, suhu sistem mengalami penurunan menjadi 33,75°C. Pada kondisi ini, untuk kembali mencapai *set point*, sistem memiliki T_r (waktu naik) sebesar 89 detik, T_s (waktu stabil) sebesar 165 detik dan menghasilkan *overshoot* sebesar 0,34°C.

3.7 Pengujian Aplikasi Alat Pembuat Sari Buah Otomatis

Langkah-langkah pembuatan sari buah (menggunakan buah apel) dengan alat pembuat sari buah otomatis dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Proses pemilihan buah apel
2. Proses pengambilan ekstrak sari buah
3. Proses otomatisasi pembuatan sari buah

Otomatisasi sistem pada alat ini mencakup proses penakaran bahan utama, pencampuran bahan (*mixing*), pengadukan bahan, serta pengaturan suhu dan lama pemanasan sari buah.

Setelah pemanasan selesai berdasarkan *setting mode* yang telah dilakukan, kemudian dibandingkan dengan hasil pemanasan sari buah tanpa menggunakan pengendali (*open loop*) didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4 Tabel perbandingan suhu heater dengan dan tanpa controller

No.	Waktu Pemanasan (menit)	Set Point (°C)	Suhu Heater (°C) Tanpa Kontrol	Suhu Heater (°C) Kontrol Fuzzy
1.	0	70	27.7	27.7
2.	10	70	44.6	45.1
3.	20	70	61.3	62.2
4.	25	70	72.4	70.3
5.	30	70	96.3	70.1
6.	35	70	97.6	70.1

Berdasarkan tabel 4 di atas, pemanasan menggunakan *heater* tanpa pengendali tidak dapat memberikan konsistensi suhu yang baik serta tidak memenuhi syarat pasteurisasi. Kenaikan suhu heater tanpa controller hingga hampir mencapai 100°C memang dapat membunuh bakteri patogen dalam olahan sari buah. Akan tetapi, pemanasan yang terlalu tinggi (diatas 80°C) menyebabkan hilangnya nutrisi yang ada pada olahan sari buah dan menyebabkan penurunan kadar vitamin C hingga lebih dari 90 % [4]. Oleh karena itu, pengontrolan suhu dan sistem pewaktu dalam proses pasteurisasi menjadi hal yang sangat penting. Dengan demikian, keakuratan suhu maupun waktu pengolahan dapat tercapai sesuai standar.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang dilakukan, Pembacaan sensor suhu pada sistem pengendalian suhu pada *plant* alat pembuat sari buah otomatis menghasilkan rata-rata *error* sebesar 0,28°C. Nilai *overshoot* yang didapatkan pada beberapa pengujian, yaitu pada pengujian dengan referensi tetap, referensi naik, dan pengujian dengan gangguan masih berada dalam batas toleransi yakni sebesar $\pm 5\%$. Pada pengujian aplikasi alat, saat suhu naik menuju *set point* (0-25 menit), suhu *heater* tanpa kontroler dan suhu *heater* dengan kontroler *fuzzy*

sama-sama naik mendekati suhu 70°C. Setelah Mencapai *set point*, *heater* dengan kontroler *fuzzy* akan mempertahankan suhu pemanasan sesuai *set point* yang diberikan yakni 70°C dengan rata-rata *error* 0,1 °C. Sebaliknya, suhu *heater* tanpa kontroler (*open loop*) terus mengalami kenaikan melewati *set point* hingga mendekati suhu 100°C. Saran pengembangan sistem lebih lanjut, untuk memperbaiki respon sistem, sebaiknya perancangan *membership functions* dilakukan dengan lebih teliti agar parameter yang dihasilkan lebih tepat serta dapat merespon perubahan suhu lebih akurat. Pengendalian suhu ini dapat dikembangkan dengan kendali yang lebih baik, salah satunya dengan mengaplikasikan metode kendali fuzzy-PID yakni menggunakan logika *fuzzy* untuk menghasilkan parameter Kp, Ki, dan Kd pada pengendali PID.

Referensi

- [1]. Suyanti, "Panduan Mengolah 20 Jenis Buah", Penebar Swadaya, Jakarta, 2010.
- [2]. Syed Fazil Bin Farukh, M. Saleem Khan, "A New Approach of Syrup Manufacturing Using Fuzzy Time Control Discrete Event System," *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, Vol. 5, No. 2, April 2013.
- [3]. Gang Feng, "Analysis and Synthesis of Fuzzy Control Systems: A Model-Based Approach", CRC Press, USA, 2010.
- [4]. Moe Sandar, Tun, "Stability of vitamin C content in guava juices during pasteurization and storage at different conditions", Mahidol University, Bangkok, 2007.
- [5]. Anonim, "Tekno Pangan dan Agroindustri", Volume I, Nomor 1-12, Jurusan Teknologi Pangan dan Gizi - IPB, Bogor, 1990.
- [6]. Huaguang Zhang, Derong Liu, "Fuzzy Modelling and Fuzzy Control", Birkhauser, Boston, USA, 2006
- [7]. Sumardi, "Belajar AVR Mulai Dari Nol", Graha Ilmu, Yogyakarta, 2013.
- [8]. Sutojo, T, dkk, "Kecerdasan Buatan", ANDI, Yogyakarta, 2011.
- [9]. -----, ATmega16 Data Sheet, <http://www.atmel.com>, diakses Maret 2014
- [10]. -----, LM35 Datasheet, <http://www.national.com>, diakses April 2014.