

KINERJA REAKTOR *OHMIC* DENGAN SISTEM KENDALI *FUZZY EXPERT*

(Performance of the Ohmic Reactor with Fuzzy Expert Control System)

Ayla Ainayyah. M^{1*)}, Abdul Waris²⁾, dan Ahmad Munir³⁾

^{1*)} Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makassar

²⁾ Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin

³⁾ Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin

^{*)} email korespondensi: ayla.ainayyah@unm.ac.id

ABSTRACT

The heating process is a technique for preserving and processing foodstuffs. One of the methods that can be used is ohmic heating method. Ohmic reactors system today on the less optimal of the ohmic reactor performance so that additional control system is required for the ohmic reactor. The purpose of this research is to produce a fuzzy expert control system in the ohmic reactor to optimize the performance of the ohmic reactor. This research conducted by creating hardware and software. The test used a salt solution at a concentration of 1%, 2%, 3%, 4% as the test material. Heating is carried out at each solution concentration. The analysis result of the temperature response showed that the fuzzy expert control system in the ohmic reactor is operating well. This can be seen from the overshoot of the solution temperature only at a concentration of 4% of 2 °C for 4 seconds while in fuzzy showed an overshoot of 3 °C for 2 seconds. In addition, the setting time to reach the setting point was relatively small and the solution temperature was relatively stable. The fuzzy expert and fuzzy control systems have low steady state errors ranging from 1,1% and 2,2%. Meanwhile, the analysis results of the temperature response in the on-off control system do not meet the criteria for the success performance control due to overshoot, unstable solution temperature and large steady state errors in each solution concentrations. The used energy analysis found that the electrical energy used by fuzzy expert control system was 49169,2 Watt.s and fuzzy Sugeno was 45121,5 Watt.s.

Keywords: Ohmic reactor, Fuzzy expert, Energy.

ABSTRAK

Proses pemanasan merupakan salah satu teknik pengawetan dan pengolahan pada bahan pangan. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan metode pemanasan *ohmic*. Reaktor *ohmic* yang ada sekarang memiliki kinerja yang kurang optimal sehingga diperlukan sistem kendali lain pada reaktor *ohmic*. Tujuan dari penelitian ini yaitu menghasilkan sistem kendali *fuzzy expert* pada reaktor *ohmic* sehingga kinerja reaktor *ohmic* menjadi lebih baik. Penelitian ini dilakukan dengan membuat *hardware* dan *software*. Pengujian dilakukan menggunakan larutan NaCl pada konsentrasi 1%, 2%, 3%, 4% sebagai bahan uji. Pemanasan dilakukan pada masing-masing konsentrasi larutan. Hasil analisa respon suhu diketahui bahwa sistem kendali *fuzzy expert* pada reaktor *ohmic* beroperasi dengan baik. Hal tersebut dapat diketahui dari *overshoot* suhu larutan hanya terjadi pada konsentrasi 4% sebesar 2°C selama 4 detik sedangkan pada *fuzzy* terjadi *overshoot* sebesar 3°C selama 2 detik. Selain itu, *setling time* untuk mencapai *setting point* relatif kecil dan suhu larutan relatif stabil. Sistem kendali *fuzzy expert* dan *fuzzy* memiliki *error steady state* yang rendah berkisar 1,1% dan 2,2%. Sedangkan hasil analisa respon suhu pada sistem kendali *on-off* tidak memenuhi syarat kriteria keberhasilan kinerja kendali dikarenakan terjadi *overshoot*, suhu larutan

tidak stabil dan *error steady state* yang besar disemua konsentrasi larutan. Pada analisa penggunaan energi didapatkan bahwa energi listrik yang digunakan dengan sistem kendali *fuzzy expert* sebesar 49169,2 Watt.s dan *fuzzy* sebesar 45121,5 Watt.s.

Kata Kunci: Reaktor *ohmic*, *Fuzzy expert*, Energi.

PENDAHULUAN

Pengolahan bahan pangan dengan pemanasan merupakan salah satu teknik pengolahan dari beberapa teknik yang ada. Pemanasan bahan pangan biasanya digunakan untuk proses ekstraksi dan fermentasi. Pemanasan sendiri dapat dilakukan menggunakan api langsung maupun tidak menggunakan api. Namun, pemanasan bahan pangan jika dilakukan menggunakan api langsung mengakibatkan suhu pada bahan pangan tidak tersebar secara merata dan pemanasan dapat berlangsung dengan lama. Sedangkan proses pengolahan bahan pangan memerlukan suhu yang tersebar merata dan stabil sehingga tidak merusak bahan pangan.

Salah satu metode yang dapat digunakan sebagai solusi dari hal tersebut dengan menggunakan metode pemanasan *ohmic*. Metode pemanasan *ohmic* dilakukan dengan mengalirkan aliran listrik dalam bahan pangan. Pemanasan pada *ohmic heating* terjadi dalam bentuk transformasi dari energi internal (Sofi'i, 2017). Adapun alat yang digunakan pada metode pemanasan tersebut yaitu reaktor *ohmic*. Suhu pada reaktor *ohmic* akan mempengaruhi mutu dari bahan pangan yang diolah.

Kinerja dari reaktor *ohmic* yang ada sekarang masih kurang optimal dikarenakan masih sering terjadi *overshoot* dan *error steady state* pada saat pemanasan berlangsung. Ketidak-stabilan pada sistem tersebut membuat energi yang digunakan pada alat juga tidak stabil, dapat mengalami peningkatan ataupun sebaliknya sehingga diperlukan sistem kendali pada reaktor *ohmic*. Selain itu, pemanasan yang berlangsung lama dapat merusak bahan pangan jika sering terjadi *overshoot* dan *error steady state*. Salah satu

sistem kendali yang dapat digunakan yaitu *fuzzy logic*. Sistem kendali ini dapat mengontrol sistem yang tidak linear atau tidak pasti (kabur).

Fuzzy logic mempelajari nilai kebenaran yang bernilai banyak dan merupakan salah satu cabang dari ilmu komputer dari banyaknya ilmu yang ada. Logika ini berbeda dengan nilai kebenaran pada logika klasik yang bernilai 0 (salah) atau 1 (benar) atau on-off. Logika *fuzzy* mempunyai nilai kebenaran real dalam selang 0-1 (Syafitri, 2016).

Penerapan sistem kendali *fuzzy logic* telah diterapkan pada reaktor *ohmic*. Namun, *gain* yang besar pada reaktor *ohmic* membutuhkan kaidah *fuzzy logic* yang banyak, begitupun proses *tuning* yang lama. Salah satu solusi yang dapat digunakan untuk mempermudah penggunaan *fuzzy logic* yaitu sistem kendali penambahan sistem kendali *expert system*. Sistem tersebut dinamakan *fuzzy expert system*.

Fuzzy expert system adalah suatu sistem pakar yang menggunakan perhitungan *fuzzy* dalam mengolah knowledge untuk menghasilkan konsekuensi, premis dengan konklusi atau kondisi dengan akibat sehingga menghasilkan informasi yang memiliki keakuratan kepada end user atau pengguna. Bentuk umum *fuzzy expert system* hampir sama dengan bentuk *rule based pada expert system* yaitu *if A then B* dimana A dan B adalah *fuzzy sets* (Santoso dkk., 2008).

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu menghasilkan sistem kendali *fuzzy expert* pada reaktor *ohmic* sehingga kinerja reaktor *ohmic* menjadi lebih baik.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu reaktor *ohmic*, 1 set *electronic tools* dan laptop. *Software* yang digunakan yaitu Arduino IDE, MATLAB dan *Microsoft Excel*.

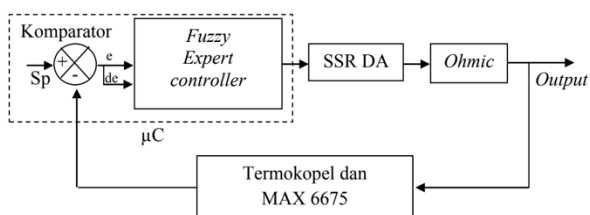
Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu termokopel, pengonversi termokopel (MAX 6675), *rotary encoder*, kabel *jumper*, *bread board*, SSR DA 25 Ampere, mikrokontroler, LCD 4×20 dan larutan NaCl dengan konsentrasi 1%, 2%, 3% dan 4%.

Prosedur Penelitian

1. Merancang sistem kendali

Sistem kendali dirancang menggunakan beberapa komponen utama seperti komparator sebagai *setpoint*, mikrokontroler, sensor suhu atau termokopel dan aktuator berupa SSR. Hubungan dari semua komponen tersebut dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1. Rancangan sistem kendali.

Keterangan sistem:

a. Komparator pada sistem kendali dibuat dalam bentuk program. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$e_n = SP - y_n$$

$$de_n = e_n - e_{n-1}$$

keterangan:

$$n = 1, 2, 3, \dots,$$

$$e = \text{error},$$

$$SP = \text{setting point (suhu larutan)},$$

$$y = \text{output},$$

$$de = \text{delta error (suhu larutan)}.$$

b. Aktuator yang digunakan pada sistem ini adalah SSR tipe DA dengan arus maksimum sebesar 25 Ampere. Berdasarkan pengamatan, arus listrik pada *ohmic system* dapat mencapai 10 Ampere sehingga arus listrik SSR yang digunakan sebesar 25 Ampere untuk mencegah kerusakan pada alat akibat arus berlebih. SSR tipe DA ini memiliki masukan

tegangan DC dengan keluaran tegangan AC.

- Mikrokontroler yang digunakan pada sistem adalah Arduino Uno. Mikrokontroler mempunyai memori penyimpanan yang cukup besar sehingga dapat menjalankan kaidah-kaidah kontrol.
- Sensor suhu yang digunakan pada sistem adalah termokopel karena memiliki linearitas yang baik, sensitivitas yang tinggi, stabilitas dan keseragaman yang baik.
- Termokopel tidak dilengkapi dengan pengonversi sehingga digunakan MAX 6675 untuk mengonversi hasil termokopel menjadi satuan suhu.

2. Merakit sistem kendali

Komponen yang sudah dirancang kemudian dirakit dan dihubungkan ke *ohmic system*. Hal tersebut untuk mempermudah dalam pengerjaan program kendali. Program kendali akan menyesuaikan dengan letak komponen.

3. Membuat program *fuzzy logic* dan *expert system*

Program kendali menggunakan kendali *fuzzy expert* dengan *fuzzy logic* menggunakan *error* dan *delta error* sebagai acuan kaidahnya. Sistem kendali *fuzzy logic* digunakan sebagai estimator PWM yang akan digunakan sebagai *input* dari *expert system*. Sedangkan *expert system* berfungsi sebagai pengendali. Adapun diagram alir proses pembuatan program kontrol pada penelitian ini sebagai berikut:

- Langkah pertama pembuatan program kontrol dilakukan dengan menentukan *input* dan *output* pada reaktor *ohmic*. Adapun *input* pada sistem kontrol ini yaitu nilai *error* dan *delta error* hasil selisih dari nilai *setpoint* dengan suhu, sedangkan *output*-nya yaitu sinyal kendali (PWM) pada aktuator daya (SSR).
- Fungsi keanggotaan yang digunakan pada penelitian ini yaitu segitiga, dengan jumlah masing-masing *input* dan *output* yaitu 2 dan 1.
- Mendefinisikan fungsi keanggotaan yang digunakan dengan tujuan untuk menentukan semesta pembicaraan. Pada *input*, semesta pembicaraan yang digunakan yaitu *error* suhu dengan nilai -10

- +10 dan *delta error* suhu dengan nilai -2 - +2. Sedangkan pada *output*, semesta pembicaraan yang digunakan yaitu PWM dengan nilai 0 – 255.

- d. Menyusun kaidah kontrol yang akan digunakan untuk menghindari terjadinya *overshoot* pada saat proses dan sistem yang tidak stabil. Kaidah kontrol *fuzzy* disusun berdasarkan nilai dari *error* dan *delta error*. Sedangkan kaidah kontrol *expert* disusun berdasarkan *output* dari *fuzzy* berupa PWM.
- e. Kaidah yang telah dibuat akan digunakan untuk membuat program kontrol *fuzzy expert* menggunakan *software* Arduino IDE. Hasil dari pembuatan program kontrol tersebut berupa *INO file*.
- f. Mengunggah *file* program kontrol ke mikrokontroler.

4. Pengujian

a. Uji fungsional

Uji fungsional bertujuan untuk mengetahui program kontrol yang diterapkan dapat bekerja sesuai yang diharapkan. Adapun uji fungsional yang dilakukan yaitu uji *gain* dan validasi program.

1) Uji *gain*

Uji *gain* bertujuan untuk mengetahui apakah daya yang digunakan cukup besar dengan kriteria melampaui setpoint maksimum yang akan digunakan pada reaktor *ohmic*. Adapun prosedur yang digunakan pada uji *gain* yaitu:

- a) Menyiapkan alat dan bahan berupa reaktor *ohmic* dan larutan NaCl dengan konsentrasi 1%, 2%, 3% dan 4 %.
- b) Menghubungkan reaktor *ohmic* yang berisi larutan NaCl ke sumber listrik
- c) Mengamati perubahan suhu setiap 1 detik dan menggunakan data *logger*.
- d) Mengulang prosedur b dan c dengan konsentrasi larutan NaCl yang berbeda.
- e) Menplot data suhu yang dihasilkan pada MS. *Excel* dan menghitung kemiringan kurva. Adapaun rumus yang digunakan untuk menghitung *gain* yaitu:

$$Gain = \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

keterangan:

ΔT = perubahan suhu (°C) dan

Δt = perubahan waktu (s).

2) Uji kaidah kontrol dengan simulasi

Hasil dari program kontrol yang telah dibuat kemudian disimulasi di MATLAB dan mikrokontroler. Tujuannya yaitu untuk mengetahui kesesuaian kaidah-kaidah dengan yang diharapkan.

b. Uji kinerja

Uji kinerja alat dilakukan menggunakan bahan larutan NaCl untuk mengetahui keteraturan dan kecepatan peningkatan suhu pada alat serta efisiensi dalam penggunaan energi listrik. Uji kinerja yang dilakukan terdapat 2 yaitu uji respon dinamik dan statik. Uji respon dinamik dan statik dilakukan untuk mengetahui respon kontrol pada reaktor *ohmic*. Kriteria keberhasilan yang digunakan sebagai berikut:

- 1) *Overshoot* suhu kecil (< 3%).
- 2) *Settling time* suhu relatif singkat (10% dari lama pemanasan).
- 3) *Error steady state* suhu kecil (2% - 5%).
- 4) Suhu stabil pada 90°C.
- 5) Penggunaan energi lebih hemat dari kontrol *on-off*.

Adapun prosedur uji kinerja alat sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan bahan berupa larutan NaCl dengan konsentrasi 1%, 2%, 3% dan 4 %.
 - 2) Memasukkan larutan NaCl ke dalam tabung reaktor *ohmic* yang terkontrol *fuzzy expert*.
 - 3) Mengaktifkan reaktor *ohmic* bersamaan dengan *Serial Monitor software* Arduino IDE pada suhu *setpoint* yang telah ditentukan.
 - 4) Me-*non*-aktifkan reaktor *ohmic* setelah 10 menit.
 - 5) Mengolah data hasil pengukuran menggunakan rumus yang telah ditentukan.
- #### 5. Analisis data

Program kendali menggunakan kendali *fuzzy expert* dengan *fuzzy logic* menggunakan *error* dan *delta error* sebagai acuan kaidahnya. Sistem kendali *fuzzy logic* digunakan sebagai estimator PWM yang akan digunakan sebagai *input* dari *expert system*. Sedangkan *expert system* berfungsi sebagai pengendali. Adapun diagram alir proses pembuatan program kontrol pada penelitian ini sebagai berikut:

a. Daya

$$P = I \times V$$

keterangan:

P = daya (Watt),

I = arus listrik (A) dan

V = tegangan (Volt).

b. Konsumsi energi

$$E = P \times \Delta t$$

keterangan:

E = energi (Watt.s),

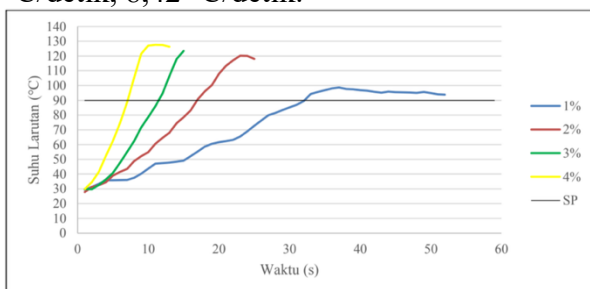
P = daya (Watt) dan

Δt = interval waktu (s).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gain System

Penelitian ini dimulai dengan melakukan uji *gain* pada reaktor *ohmic*. Uji *gain* tersebut bertujuan untuk melihat respon sistem dan kenaikan suhu dari reaktor *ohmic* tanpa sistem kendali. Uji *gain* dilakukan pada masing-masing konsentrasi larutan NaCl 1%, 2%, 3%, 4% dan didapatkan hasil seperti pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2. dapat diketahui bahwa respon suhu larutan NaCl mampu melewati *setting point* yang telah ditentukan yaitu 90°C dengan laju kenaikan suhu pada larutan NaCl 1%, 2%, 3%, 4% masing-masing sebesar 1,96 °C/detik, 3,70 °C/detik, 5,44 °C/detik, 8,42 °C/detik.



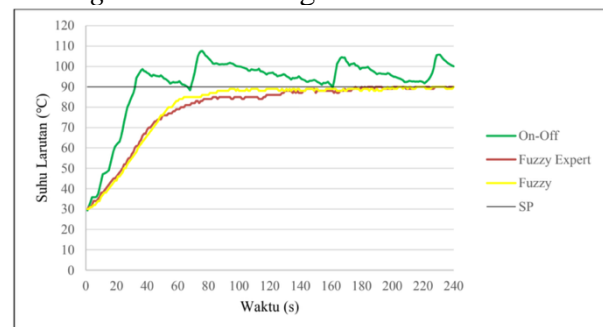
Gambar 2. *Gain system* pada reaktor *ohmic*.

Berdasarkan data laju kenaikan suhu tersebut, dapat diketahui bahwa daya yang diberikan pada reaktor *ohmic* cukup besar sehingga mengakibatkan *overshoot* yang besar. Untuk itu dibutuhkan sistem kendali pada reaktor *ohmic* untuk mengatur suhu larutan tetap stabil pada *setting point* yang telah ditentukan. Besarnya laju kenaikan suhu pada masing-masing larutan dipengaruhi oleh konsentrasi larutan tersebut. Semakin tinggi konsentrasi larutan NaCl maka semakin cepat pula kenaikan suhunya. Hal tersebut dikarenakan jumlah ion yang menghantarkan arus listrik juga besar. Menurut Irwan dkk. (2016), bahwa semakin banyak ion yang terkandung maka semakin besar pula daya hantar arus listrik benda tersebut. Jumlah ion

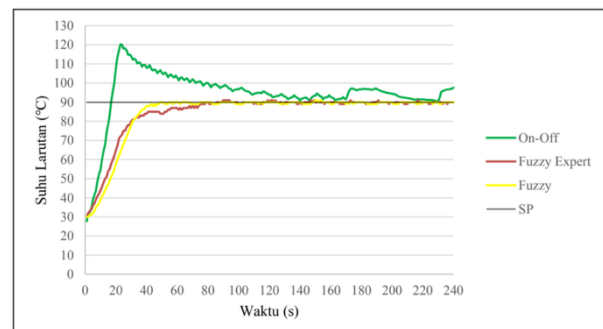
dalam suatu benda dipengaruhi oleh jumlah padatan yang terkandung.

Respon Dinamis Suhu Larutan

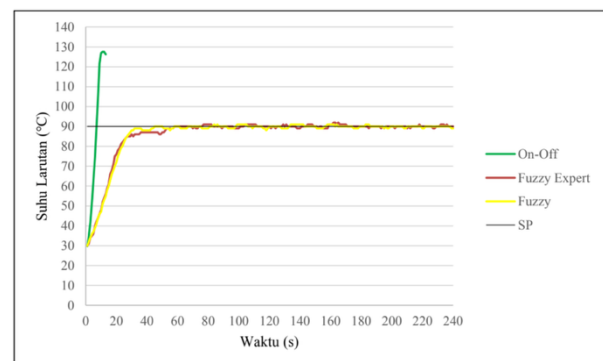
Pada penelitian ini, dilakukan pengamatan terhadap respon dinamis suhu larutan dengan konsentrasi 1%, 2%, 3% dan 4% dan tiga macam sistem kendali yaitu *on-off*, *fuzzy* dan *fuzzy expert* itu sendiri. Pengamatan respon dinamis bertujuan untuk mengetahui *overshoot* dan *settling time* dari suhu larutan. Terdapat beberapa kriteria yang telah ditetapkan untuk menguji keberhasilan sistem kendali yaitu *overshoot* suhu kecil dan *settling time* relatif singkat.



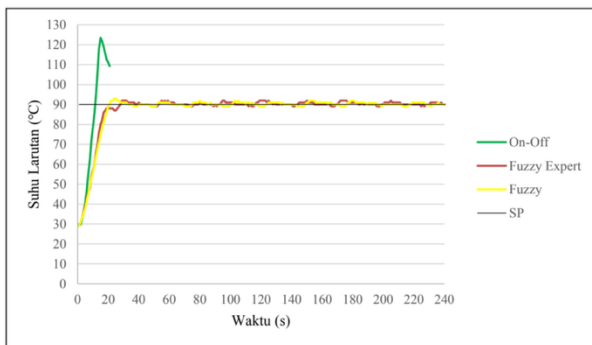
Gambar 3. Respon dinamis suhu larutan NaCl konsentrasi 1%.



Gambar 4. Respon dinamis suhu larutan NaCl konsentrasi 2%.



Gambar 5. Respon dinamis suhu larutan NaCl konsentrasi 3%.



Gambar 6. Respon dinamis suhu larutan NaCl konsentrasi 4%.

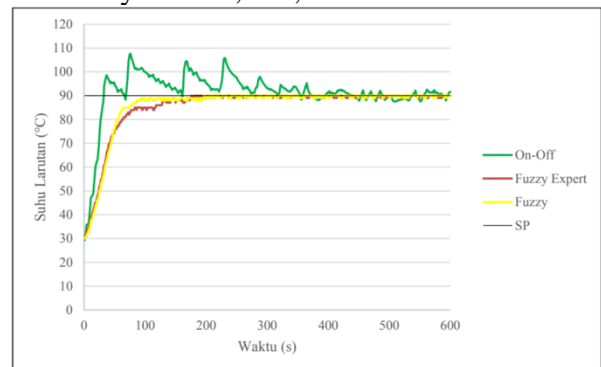
Berdasarkan gambar tersebut, dapat diketahui bahwa pada sistem kendali *on-off* terjadi *overshoot* suhu pada larutan konsentrasi 1%, 2%, 3% dan 4 % masing-masing sebesar 27°C selama 3 detik, 30°C selama 2 detik, 30°C selama 7 detik dan 33 °C selama 2 detik. Dapat diketahui pada Gambar 5. dan Gambar 6. bahwa konsentrasi 3% dan 4% tidak dapat dikontrol oleh sistem kendali *on-off*. Pada sistem kendali *fuzzy* tidak terjadi *overshoot* untuk konsentrasi larutan 1%, 2% dan 3%. Namun pada konsentrasi larutan 4%, terjadi *overshoot* sebesar 3°C selama 2 detik. Sama halnya pada sistem kendali *fuzzy expert* tidak terjadi *overshoot* untuk konsentrasi larutan 1%, 2%, 3% dan pada larutan 4% terjadi *overshoot* sebesar 2°C selama 4 detik. *Overshoot* suhu pada sistem kendali *on-off* terjadi dikarenakan sistem tetap diberikan daya penuh jika belum mencapai *setting point*. *Overshoot* yang besar dapat menyebabkan kerusakan pada bahan yang diolah. Sedangkan pada sistem kendali *fuzzy expert* hampir tidak terjadi *overshoot* dikarenakan penggunaan daya telah diatur oleh kaidah *expert system*. *Overshoot* yang terjadi pada konsentrasi 4% membuktikan batasan dari sistem kendali ini hanya sampai 4%.

Pada gambar di atas menunjukkan *settling time* untuk masing-masing sistem kendali. Pengamatan *settling time* bertujuan untuk mengetahui seberapa cepat sistem mencapai *setting point*. Dari pengamatan diketahui bahwa waktu yang dibutuhkan sistem kendali *fuzzy expert* untuk mencapai *setting point* tidak jauh berbeda dengan *fuzzy*. Hal tersebut dikarenakan terdapat batasan-batasan pada kaidah *expert* yang dibuat serta sulitnya didapatkan nilai PWM yang sesuai. Menurut Santoso dkk. (2008), bahwa *expert*

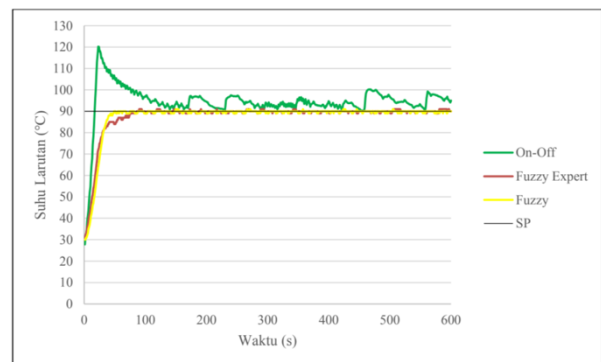
system di dalam bekerja berdasarkan *rule based* membutuhkan pencocokan yang benar-benar pas.

Respon Statis Suhu Larutan

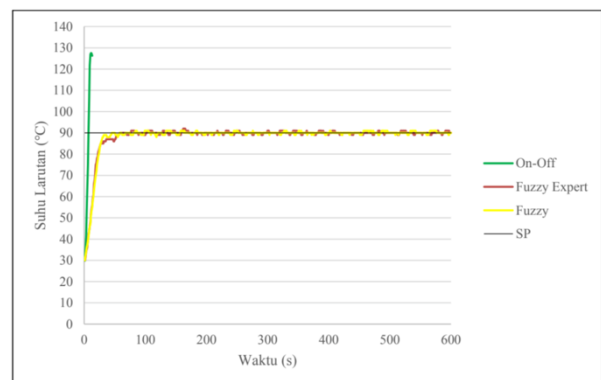
Pada pengamatan respon statis suhu larutan, terdapat dua hal yang diamati yaitu *error steady state* suhu dan kestabilan suhu larutan. Adapun kriteria yang ditetapkan untuk *error steady state* yakni 2%-5%. Pengamatan ini dilakukan selama 10 menit pada tiga sistem kendali yang berbeda yaitu *on-off*, *fuzzy* dan *fuzzy expert*. Selain itu, pengamatan juga dilakukan dengan konsentrasi larutan yang berbeda yaitu 1%, 2%, 3% dan 4%.



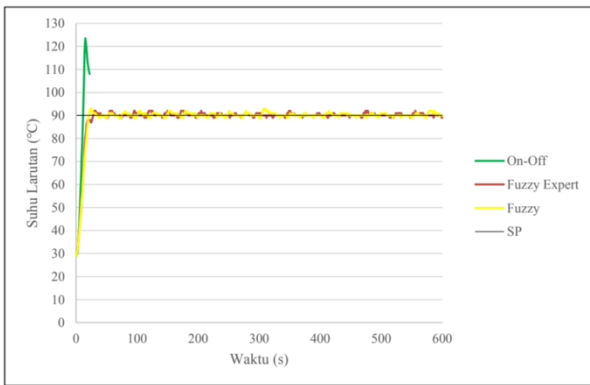
Gambar 7. Respon statis suhu larutan NaCl konsentrasi 1%.



Gambar 8. Respon statis suhu larutan NaCl konsentrasi 2%.



Gambar 9. Respon statis suhu larutan NaCl konsentrasi 3%.

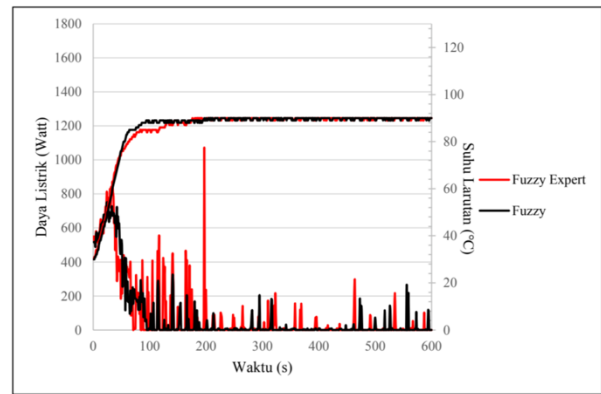


Gambar 10. Respon statis suhu larutan NaCl konsentrasi 4%.

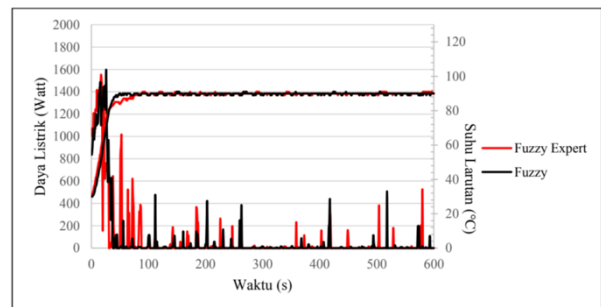
Pada gambar di atas menunjukkan bahwa suhu larutan pada sistem kendali *on-off* tidak stabil pada *setpoint* yang telah ditentukan dan terjadi *error steady state* yang besar yaitu 16°C atau 18% untuk konsentrasi 1%, 7°C atau 8% untuk konsentrasi 2%, 8°C atau 9% untuk konsentrasi 3% di beberapa titik. Pengamatan pada konsentrasi 3% dan 4% untuk sistem kendali *on-off* tidak dilakukan sampai akhir karena berpotensi merusak alat akibat peningkatan suhu yang drastis. Sedangkan untuk sistem kendali *fuzzy* dan *fuzzy expert* dapat diketahui bahwa suhu larutan stabil dengan *error steady state* yang kecil. Pada sistem kendali *fuzzy* dan *fuzzy expert* untuk konsentrasi larutan 1%, 2% dan 3% dapat diketahui bahwa *error steady state* pada sistem kendali tersebut hanya 1°C atau 1,1%. *Error steady state* pada sistem kendali *fuzzy* dan *fuzzy expert* untuk konsentrasi larutan 4% yaitu sebesar 2°C atau 2,2%. *Error steady state* 1% dan 2,2% masih dalam batas toleransi yang disarankan. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Ogata (1997), bahwa jika respon sistem memperlihatkan bahwa variabel pengamatan mencapai *setpoint*, maka sistem ini dianggap baik sebagai sebuah sistem kontrol atau nilai *error steady state* berada dikisaran 2% atau 5%.

Penggunaan Daya Listrik

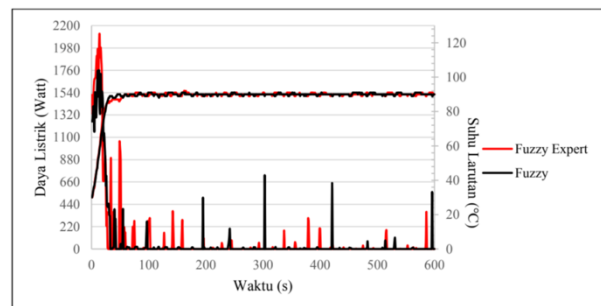
Pengamatan daya listrik bertujuan untuk mengetahui berapa besar daya listrik yang digunakan pada sistem kendali *on-off*, *fuzzy expert* dan *fuzzy* dengan konsentrasi NaCl 1%, 2%, 3% dan 4%. Selain itu, pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara konduktivitas listrik dan daya yang digunakan pada masing-masing konsentrasi larutan.



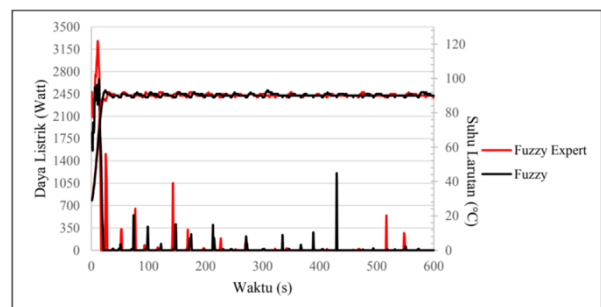
Gambar 11. Daya listrik larutan NaCl konsentrasi 1%.



Gambar 12. Daya listrik larutan NaCl konsentrasi 1%.



Gambar 13. Daya listrik larutan NaCl konsentrasi 1%.



Gambar 14. Daya listrik larutan NaCl konsentrasi 1%.

Penggunaan daya listrik sangat berpengaruh pada penggunaan energi pada reaktor *ohmic* sehingga menjadi salah satu hal yang perlu diperhatikan. Daya listrik berhubungan dengan konduktivitas listrik

suatu larutan. Pada Gambar 14. dapat dilihat bahwa daya listrik yang paling tinggi yaitu pada konsentrasi larutan NaCl 4%. Hal tersebut dikarenakan konduktivitas listrik pada konsentrasi 4% juga besar sehingga arus dan tegangan yang dialirkan juga besar. Menurut Irwan dkk. (2016), bahwa konduktivitas listrik merupakan kemampuan sebuah benda baik itu benda padat maupun cair dalam menghantarkan arus listrik. Namun, penggunaan daya listrik yang paling besar yaitu pada konsentrasi 1%. *Settling time* yang lama pada konsentrasi 1% mengakibatkan arus dan tegangan akan terus dialirkan sampai *setting point* tercapai sehingga daya listrik yang digunakan juga besar. Penggunaan daya pada sistem kendali *fuzzy expert* dan *fuzzy* hampir sama. Pada sistem kendali *fuzzy expert* dan *fuzzy*, daya yang masuk pada sistem akan terus berkurang jika suhu larutan telah mendekati *setting point* sehingga tidak terjadi *overshoot* suhu pada masing-masing konsentrasi larutan.

Penggunaan Energi

Perhitungan penggunaan energi bertujuan untuk mengetahui seberapa besar energi yang digunakan untuk pemanasan *ohmic* pada masing-masing konsentrasi larutan dan sistem kendali yang berbeda. Pada Tabel 1. dapat diketahui bahwa energi yang digunakan sistem kendali *fuzzy* untuk semua konsentrasi larutan NaCl lebih rendah dibandingkan *fuzzy expert*. Energi sistem kendali *fuzzy* Sugune lebih hemat 9,6% pada konsentrasi 1%, dan 2,2% pada konsentrasi 2%, 11,8% pada konsentrasi 3% dan 8,8% pada konsentrasi 4%. Perbedaan tersebut dikarenakan pada *fuzzy*, *setling time* untuk mencapai *setting point* relatif lebih kecil dibandingkan dengan *fuzzy expert* disemua konsentrasi larutan. Sedangkan untuk sistem kendali *on-off* tidak dilakukan analisa energi total dikarenakan hasil analisa respon suhu larutan tidak memenuhi kriteria keberhasilan kinerja kendali. Pada sistem kendali *on-off* terjadi *overshoot* suhu yang tinggi, suhu larutan tidak stabil serta *error steady state* yang besar disemua konsentrasi larutan. Dengan keterbatasan dari sistem kendali *on-off* maka pemanasan menggunakan reaktor *ohmic* terkendali sistem *fuzzy logic* dan *fuzzy*

expert tetap lebih baik dikarenakan suhu stabil pada *setting point* dan *error steady state* lebih kecil.

Tabel 1. Data penggunaan energi pada reaktor *ohmic*

No	Konsentrasi	Waktu Pemanasan (detik)	Sistem Kendali	Energi Total (Watt.s)
1		-	<i>On-Off</i>	-
2	1%	600	<i>Fuzzy</i>	*46911,7
3		600	<i>Fuzzy Expert</i>	51895,5
4		-	<i>On-Off</i>	-
5	2%	600	<i>Fuzzy</i>	*45765,3
6		600	<i>Fuzzy Expert</i>	46837,6
7		-	<i>On-Off</i>	-
8	3%	600	<i>Fuzzy</i>	*43012,2
9		600	<i>Fuzzy Expert</i>	48803,7
10		-	<i>On-Off</i>	-
11	4%	600	<i>Fuzzy</i>	*44796,8
12		600	<i>Fuzzy Expert</i>	49140,1

(Sumber: *Paotonan, 2020)

Pada sistem kendali *fuzzy* dan *fuzzy expert*, penggunaan energi lebih besar pada konsentrasi larutan 1%. Hal tersebut dikarenakan *setling time* atau waktu untuk mencapai *setting point* lebih besar dibandingkan konsentrasi lainnya. Besarnya *setling time* tersebut menyebabkan daya akan terus diberikan pada reaktor *ohmic*. Besarnya daya berbanding lurus dengan besarnya energi. Menurut Fatimah (2012), bahwa jumlah tegangan berbanding lurus dengan konsumsi energi yang digunakan, semakin besar tegangan, maka konsumsi energi yang digunakan juga akan semakin besar serta sebaliknya.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini yaitu sistem kendali *fuzzy expert* pada reaktor *ohmic* beroperasi dengan baik. Hal tersebut dapat diketahui dari *overshoot* suhu larutan kecil, *setling time* relatif kecil untuk mencapai *setting point*, suhu larutan relatif stabil serta *error steady state* yang rendah 1,1% dan 2,2%. Selain itu, sistem kendali *fuzzy expert* dapat mengendalikan reaktor *ohmic* dengan konsentrasi larutan NaCl yang tinggi (4%) dengan suhu larutan tetap stabil pada *setting point* dan *error steady state* yang kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Fatimah, S. (2012). *Aplikasi Teknologi Ohmic dalam Ekstraksi Karaginan Murni (Refined Carrageenan) dari Rumput Laut Eucheuma cottonii*. Universitas Hasanuddin.
- Irwan, F., Afdal dan Indah A. (2016). *Kajian Hubungan Konduktivitas Listrik dengan Konsentrasi Padatan Terlarut pada Air Permukaan. Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF 2016, 5*.
- Ogata, K. (2010). *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*. Airlangga: Jakarta.
- Santoso, LW., Rolly I. dan Feky S. (2008). *Implementasi Fuzzy Expert System untuk Analisa Penyakit Dalam pada Manusia. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2008, 13 – 18*.
- Sofi'i, I. dan Sumardi HS. (2017). *Pengaruh Kadar Garam Terhadap Suhu pada Pemanasan Ohmic Heating. Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri 2017, 18.1 – 18.6*.
- Syafitri, N. (2016). *Simulasi Sistem untuk Pengontrolan Lampu dan Air Conditioner dengan Menggunakan Logika Fuzzy. Jurnal Informatika, 10(1), 1164 – 1172*.