

SIMULASI PENGENDALIAN SUHU ALAT PEMATANG KEJU MENGGUNAKAN KONTROL LOGIKA FUZZY BERBASIS SIMULINK

Muhammad Dieny Amrullah, , Goegoes Dwi Nusantoro, S.T., M.T , Rahmadwati S.T.,M.T.,Ph.D

Teknik Elektro Universitas Brawijaya

Jalan Sudimoro no 1 Malang 65142 Indonesia

Email : dieny.amrullah@gmail.com

Abstract- Hasil produksi keju dipengaruhi beberapa faktor, seperti proses pembuatan dan proses selama pematangan. Proses pembuatan dan proses pematangan yang tidak tepat dapat mengakibatkan rasa, aroma, dan tekstur yang buruk. Berbagai jenis keju dengan tahapan terperinci dalam proses pembuatannya juga sangat bervariasi. Ada beberapa proses sebelum susu berubah menjadi keju. Pematangan adalah salah satunya. Pematangan merupakan proses akhir dari rangkaian proses pembuatan keju.

Pematangan (ripening) adalah proses yang mengubah dadih-dadiah (keju mentah) segar menjadi keju yang penuh dengan rasa. Pematangan disebabkan oleh bakteri atau jamur tertentu yang digunakan pada proses produksi dan karakter akhir dari suatu keju banyak ditentukan dari proses pematangannya. Selama proses pematangan, keju dijaga agar berada pada temperatur dan tingkat kelembaban tertentu hingga keju siap dimakan. Waktu pematangan ini bervariasi tergantung dari jenis keju. Menurut Scott (2006), bahwa keju gouda bisa disimpan untuk minggu pertama di ruang pematangan pada suhu 11-13oC dengan tingkat kelembaban sekitar 75% - 85% (www.Food-Info.net). Jika suhu dan kelembaban ruangan tidak sesuai maka perkembangan bakteri yang membentuk keju akan melambat.

Penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya berjudul “Pengendalian Suhu dan Kelembaban Proses Pematangan Keju Menggunakan Kontroler PID Berbasis PLC” yang disusun oleh Gosi Desgraha pada tahun 2015 dan “Alat Pengontrol Suhu Pada Proses Pematang Keju Menggunakan Arduino berbasis Logika Fuzzy” yang disusun oleh Valdy Ramadhan pada tahun 2016. Penelitian sebelumnya dilakukan menggunakan kontrol ON-OFF untuk mengontrol kelembapan dan kontrol PID untuk mengontrol suhu ruang pada proses pematangan serta melakukan perbandingan antara control PID dengan logika fuzzy untuk mencari metode yang lebih baik.

Pada tugas akhir ini dibahas perancangan fungsi keanggotaan kontrol logika fuzzy untuk mensimulasikan pengendalian suhu alat pematang keju. Sistem kontrol kestabilan pengendalian suhu disimulasikan menggunakan software Matlab dengan simulink. Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan menjadi referensi perencanaan desain kontrol

dan pengembangan metode kontrol yang tepat pada sistem pengendalian suhu di masa mendatang.

Kata kunci- Fuzzy, suhu, simulasi, keju

I. Pendahuluan

Hasil produksi keju dipengaruhi beberapa faktor, seperti proses pembuatan dan proses selama pematangan. Proses pembuatan dan proses pematangan yang tidak tepat dapat mengakibatkan rasa, aroma, dan tekstur yang buruk. Berbagai jenis keju dengan tahapan terperinci dalam proses pembuatannya juga sangat bervariasi. Ada beberapa proses sebelum susu berubah menjadi keju. Pematangan adalah salah satunya. Pematangan merupakan proses akhir dari rangkaian proses pembuatan keju. Pematangan (ripening) adalah proses yang mengubah dadih-dadiah (keju mentah) segar menjadi keju yang penuh dengan rasa. Pematangan disebabkan oleh bakteri atau jamur tertentu yang digunakan pada proses produksi dan karakter akhir dari suatu keju banyak ditentukan dari proses pematangannya. Selama proses pematangan, keju dijaga agar berada pada temperatur dan tingkat kelembaban tertentu hingga keju siap dimakan. Waktu pematangan ini bervariasi tergantung dari jenis keju. Menurut Scott (2006), bahwa keju gouda bisa disimpan untuk minggu pertama di ruang pematangan pada suhu 11-13oC dengan tingkat kelembaban sekitar 75% - 85% (www.Food-Info.net). Jika suhu dan kelembaban ruangan tidak sesuai maka perkembangan bakteri yang membentuk keju akan melambat.

Penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya berjudul “Pengendalian Suhu dan Kelembaban Proses Pematangan Keju Menggunakan Kontroler PID Berbasis PLC” yang disusun oleh Gosi Desgraha pada tahun 2015 dan “Alat Pengontrol Suhu Pada Proses Pematang Keju Menggunakan Arduino berbasis Logika Fuzzy” yang disusun oleh Valdy Ramadhan pada tahun 2016. Penelitian sebelumnya dilakukan menggunakan kontrol ON-OFF untuk mengontrol kelembapan dan kontrol PID untuk mengontrol suhu ruang pada proses pematangan serta melakukan perbandingan antara control PID dengan logika fuzzy untuk mencari metode yang lebih baik.

Pada tugas akhir ini dibahas perancangan fungsi keanggotaan kontrol logika fuzzy untuk mensimulasikan pengendalian suhu alat pematang keju. Sistem kontrol kestabilan pengendalian suhu

disimulasikan menggunakan software Matlab dengan simulink Masalah yang diteliti dalam penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Penurunan plant dengan pemodelan matematika yang disederhanakan dan dibuat simulasi.
2. Pemodelan sistem dianalisis dengan menggunakan aplikasi Matlab Simulink.
3. Kelembaban dianggap konstan.
4. Variabel yang dibandingkan adalah fungsi keanggotaan berjumlah tiga lima dan tujuh.

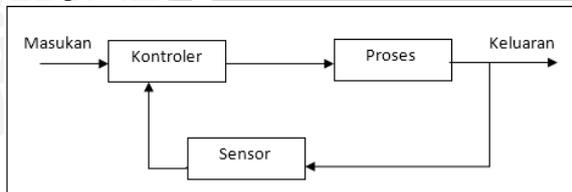
II. Tinjauan Pustaka

2.1. Sistem Pengendalian

Sistem pengendalian berfungsi untuk mengendalikan jalannya proses agar variabel proses yang sedang diukur dapat dikendalikan dan diatur sesuai dengan nilai yang dikehendaki (setpoint). Sistem pengendalian loop terbuka adalah sistem pengendalian yang keluarannya tidak dapat mempengaruhi aksi dari pengendaliannya. Jadi, pada sistem ini keluaran dari kontrolernya tidak diukur atau diumpanbalikkan untuk dibandingkan dengan masukannya (K. Ogata, 1985).

Salah satu contoh sistem loop terbuka adalah sistem pengaturan temperatur ruangan. Untuk mendapatkan temperatur yang diinginkan, operator menggunakan pengalamannya untuk mengeset daya yang dibutuhkan sistem agar keluaran sistem yang berupa temperatur ruangan sesuai dengan temperatur ruangan yang diinginkan.

Sistem pengendalian loop tertutup adalah sistem pengendalian yang sinyal keluarannya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengendaliannya (K. Ogata, 1985). Sinyal kesalahan yang bekerja yaitu antara sinyal masukan dan sinyal umpan balik yang disajikan ke kontroler disajikan sedemikian rupa untuk mengurangi kesalahan dan membawa keluaran sistem ke nilai yang dikehendaki. Blok diagram sistem loop tertutup ditampilkan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Blok Diagram Loop Tertutup
Sumber : Ogata, K., 1984 :4

2.2. Sistem orde dua

Sebuah Sistem Orde Kedua adalah sistem yang memiliki fungsi alih sebagai berikut:

$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{b_0}{s^2 + a_1s + a_0}$$

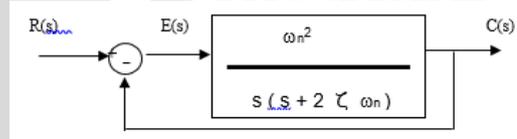
Bentuk umum dari persamaan di atas adalah :

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

ω_n = frekuensi sudut natural undamped (frekuensi alami)

ζ = faktor redaman

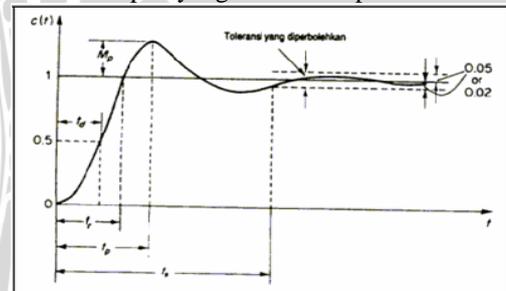
Dengan $R(s)$ adalah fungsi masukan dan $C(s)$ adalah fungsi keluaran. Seperti yang terlihat dalam diagram blok sistem dua berikut ini, hubungan masukan dan keluaran sistem dari diagram tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan:



Sistem orde dua sangat tergantung pada faktor redaman (ζ). Bila $0 < \zeta < 1$, sistem dinamakan *underdamp*. Bila $\zeta = 1$, sistem disebut *critically damp*, dan bila $\zeta > 1$, sistem disebut *overdamp*.

Dari kemungkinan-kemungkinan sistem yang ada, sistem Redaman Kurang (*underdamped system*) memiliki sifat dan fitur yang unik dan menarik. Sehingga, sebagian besar analisa dan perancangan sistem orde kedua, mendekatinya dengan menggunakan model redaman kurang ini.

Plot dari sistem redaman kurang dengan beberapa harga ζ dapat dilihat pada Gambar 2.2. Dari gambar tersebut, nampak bahwa semakin besar harga rasio redaman, ζ , sistem semakin berosilasi namun memiliki respon yang semakin cepat.



Gambar 2.2. Respon Waktu Sistem Underdamped
 M_p = overshoot maximum

t_p = peak time

t_d = delay time

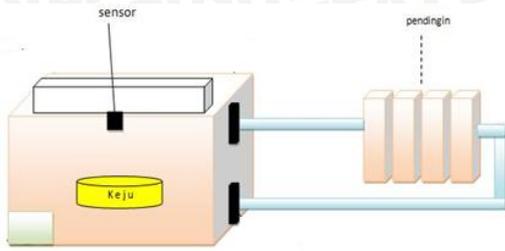
t_s = settling time

t_r = rise time

III. PERANCANGAN SIMULASI SISTEM

3.1. Perancangan Plant Sistem

Perancangan plant sistem dilakukan sebagai langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem, hal ini dimaksudkan agar sistem pengendalian suhu dapat berjalan sesuai deskripsi awal yang telah direncanakan. Plant sistem berupa pematang keju dan komponen-komponen pendukung lainnya yang digambarkan sebagai berikut.



Gambar 3.1. Sistem Pematang Keju

Sistem ini terdiri dari sensor yang membaca suhu di dalam box pematang keju. Sinyal dari sensor diteruskan ke mikrokontroler untuk diproses. Setelah memproses sinyal dari sensor, mikrokontroler mengeluarkan sinyal keluaran yang mengatur evaporator untuk mendinginkan udara dalam pematang keju.

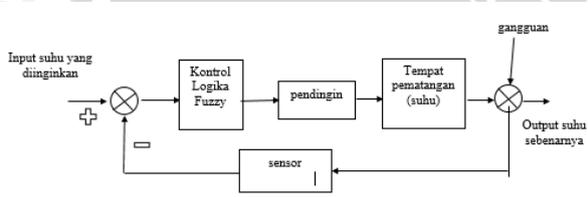
3.2. Pemodelan Sistem

Box pada simulasi ini berukuran panjang 45 cm, lebar 33 cm, tinggi 30 cm. Untuk persamaan diatas dimasukan nilai-nilai dari parameter yang sudah ditentukan. Sehingga model dari matematika sistem pematang keju adalah

$$\frac{H_i(s)}{\theta(s)} = \frac{-0.25}{-2s^2 - 0.26s - 1}$$

3.3. Blok Diagram

Pemodelan untuk simulasi pematang keju secara keseluruhan dapat digambarkan melalui fungsi blok yang ada sehingga dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem

Aktuator akan aktif saat tombol ON yang berfungsi sebagai pendingin ruangan didalam box. Nilai dari perubahan suhu akan di *feedback* kembali untuk disamakan dengan nilai *set point* yang telah ditetapkan. Setelah suhu didapatkan, maka kontroler akan memberikan arus yang sesuai untuk mendinginkan suhu ruangan pada box. Dengan demikian suhu akan stabil dengan dengan masukan yang disetel diawal.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perancangan Kontroler Logika Fuzzy(KLF)

Untuk mendapatkan hasil atau keluaran yang diinginkan dari perhitungan fuzzy makan terlebih dahulu perlu di buat fungsi keanggotaan masukan dari nilai error dan Derror serta membuat fuzzy rule untuk menentukan keluaran dari proses

fuzzy yang akan mengendalikan plant. Metode yang digunakan dalam proses defuzzifikasi menggunakan metode mamdani. Berikut dijelaskan tentang integrasi *fuzzy* dengan simulasi sehingga menghasilkan klasifikasi sesuai dengan tujuan penelitian.

Dalam penelitian ini memiliki 3 variabel yaitu fungsi keanggotaan yang berbeda. Yang pertama fungsi keanggotaan berjumlah tiga, kedua fungsi keanggotaan berjumlah lima. Dan terakhir fungsi keanggotaan yang berjumlah tujuh. Dengan perbedaan fungsi keanggotaan ini terhadap plant yang sama akan dilihat bagaimana respon dari masing-masing respon sistem tersebut.

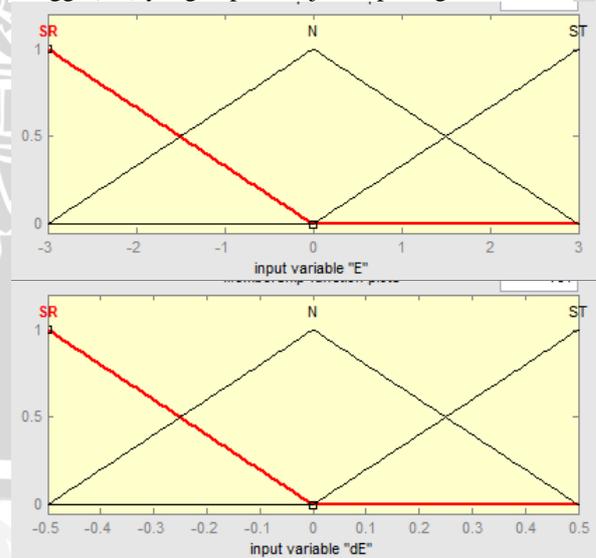
4.1.1. Variabel Masukan dan Keluaran

Penentuan besarnya fungsi keanggotaan *error* dilakukan dengan perhitungan toleransi *error* 25% dari *set point* yang ditentukan, sedangkan untuk fungsi keanggotaan *delta error* ditentukan dari 10% fungsi keanggotaan *error*.

Fungsi keanggotaan keluaran pematang keju merupakan representasi besarnya nilai Tegangan yang disimulasikan. Tegangan yang dirancang memiliki rentangan antara 0-100 Volt dengan rentangan Daya yang dikeluarkan antara 0-300 Watt. Besarnya fungsi keanggotaan keluaran adalah dari 0-100.

4.2. Fungsi keanggotan berjumlah tiga

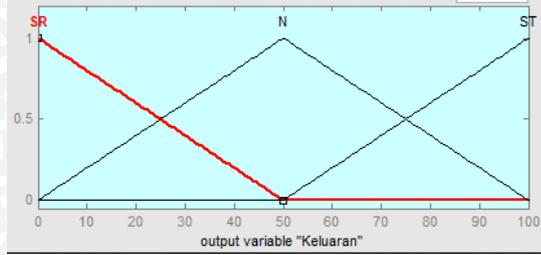
Untuk fungsi keanggotaan sebagai masukan dari *error* dan *delta error* terdiri atas 3 label, yaitu Sangat Rendah (SR), Netral (N), dan Sangat Tinggi (ST) yang dapat ditunjukkan pada gambar 4.3.



Gambar 4.3. Fungsi keanggotaan masukan variabel *error* dan *derror* berjumlah tiga Fungsi keanggotaan keluaran dari sistem ini dibuat parameter berupa sinyal dengan parameter dari 0 sampai dengan 100 yang dapat dilihat pada



gambar 4.4.



Gambar 4.4. Fungsi keanggotaan keluaran berjumlah tiga

4.2.1. Menentukan aturan fuzzy

Aturan fuzzy (fuzzy rule) digunakan sebagai penentu keluaran dari fuzzifikasi yang akan diolah dalam proses defuzzifikasi. Jumlah aturan fuzzy yang digunakan sebanyak 9. Aturan fuzzy diperoleh dari lima fungsi keanggotaan masukan error dan delta error. Aturan fuzzy yang digunakan ditunjukkan dalam Tabel 4.1.

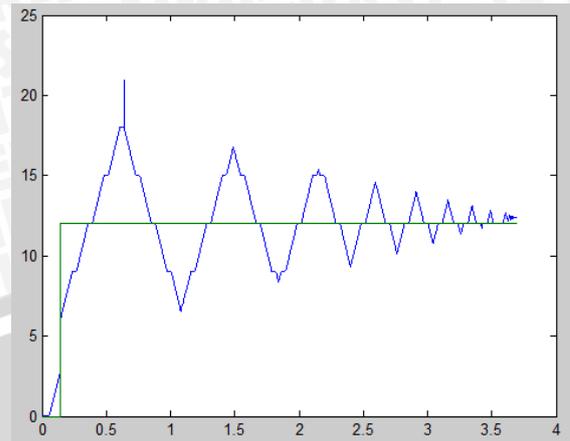
Tabel 4.1. Aturan Fuzzy pada fungsi keanggotaan berjumlah tiga

| | | | | |
|--------|----|-------|----|----|
| | | error | | |
| | | SR | N | ST |
| derror | SR | SR | SR | N |
| | N | SR | N | ST |
| | ST | N | ST | ST |

Dimana: SR = Sangat Rendah
 N = Netral
 ST = Sangat Tinggi

4.2.2. Analisis respon sistem dengan tiga fungsi keanggotaan

Hasil yang didapat dari scope kemudian disimpan dan ditampilkan kembali data-data nya dalam bentuk nilai. Dari Matlab data tersebut di plot kemdali dalam bentuk grafik seperti Gambar 4.5

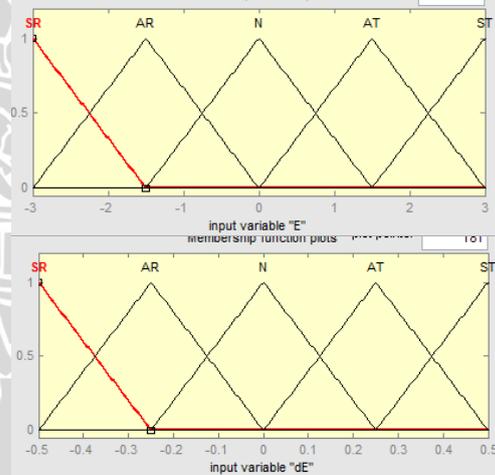


Gambar 4.5. Grafik dari hasil plot dengan tiga fungsi keanggotaan

Dari grafik dapat dianalisa parameter dari sistem orde dua untuk nilai settling time (ts), peak time (tp) dan time delay (td). Pada data hasil dari percobaan untuk nilai settling time didapat data no 39157 yaitu 42.6958 detik.

4.3. Fungsi keanggotaan berjumlah lima

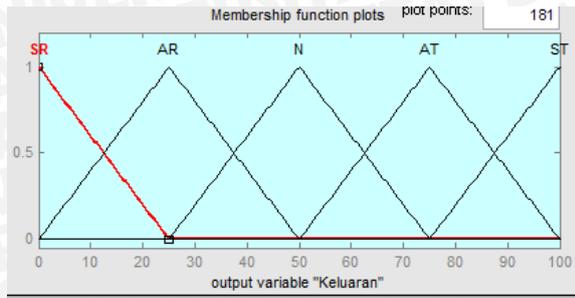
Untuk fungsi keanggotaan sebagai masukan dari error dan delta error terdiri atas 5 label, yaitu Sangat Rendah (SR), Agak Rendah (AR), Netral (N), Agak tinggi (AT) dan Sangat Tinggi (ST) yang dapat ditunjukkan pada gambar 4.10.



Gambar 4.10. Fungsi keanggotaan masukan variable error dan derror berjumlah lima

Fungsi keanggotaan keluaran dari sistem ini dibuat parameter berupa sinyal dengan parameter dari 0 sampai dengan 100 yang dapat dilihat pada gambar 4.11.





Gambar 4.11. Fungsi keanggotaan keluaran berjumlah lima

4.3.1. Menentukan aturan fuzzy

Aturan fuzzy (fuzzy rule) digunakan sebagai penentu keluaran dari fuzzifikasi yang akan diolah dalam proses defuzzifikasi. Jumlah aturan fuzzy yang digunakan sebanyak 25. Aturan fuzzy diperoleh dari lima fungsi keanggotaan masukan error dan delta error. Aturan fuzzy yang digunakan ditunjukkan dalam Tabel 4.2.

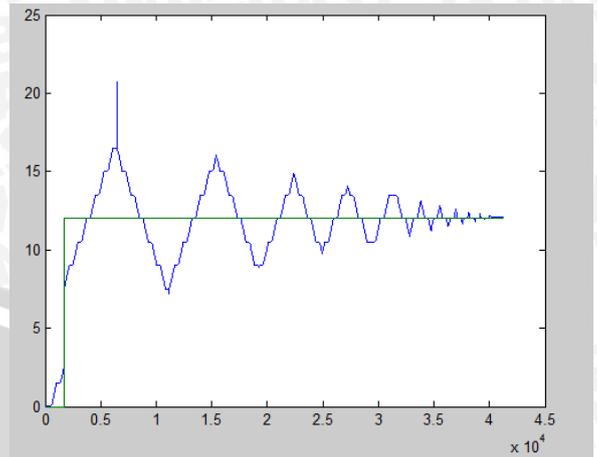
Tabel 4.2. Aturan Fuzzy pada fungsi keanggotaan berjumlah lima

| | | Error | | | | |
|---------|----|-------|----|----|----|----|
| | | SR | AR | N | AT | ST |
| D error | SR | SR | SR | SR | AR | N |
| | AR | SR | AR | AR | N | AT |
| | N | SR | AR | N | AT | ST |
| | AT | AR | N | AT | AT | ST |
| | ST | N | AT | ST | ST | ST |

Dimana: SR = Sangat Rendah
 AR = Agak Rendah
 N = Netral
 AT = Agak Tinggi
 ST = Sangat Tinggi

4.3.2. Analisis respon sistem dengan lima fungsi keanggotaan

Hasil yang didapat dari scope kemudian disimpan dan ditampilkan kembali data-data nya dalam bentuk nilai. Dari Matlab data tersebut di plot kendali dalam bentuk grafik seperti Gambar 4.12

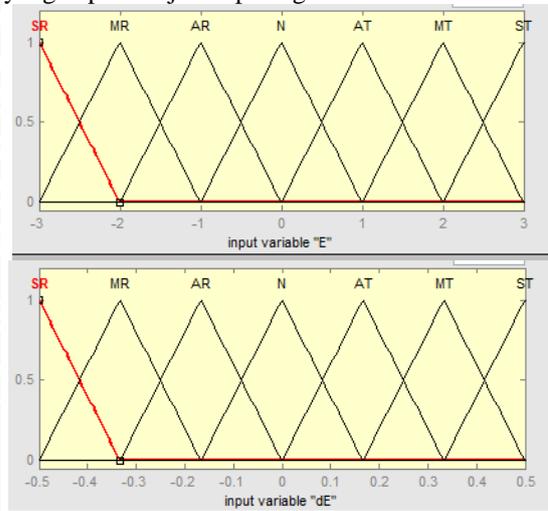


Gambar 4.12. Grafik dari hasil plot dengan lima fungsi keanggotaan

Dari grafik dapat dianalisa parameter dari sistem orde dua untuk nilai settling time (ts), peak time (tp) dan time delay (td). Pada data hasil dari percobaan untuk nilai settling time didapat pada 37058 dengan waktu 36.0852 detik

4.4. Fungsi keanggotaan berjumlah tujuh

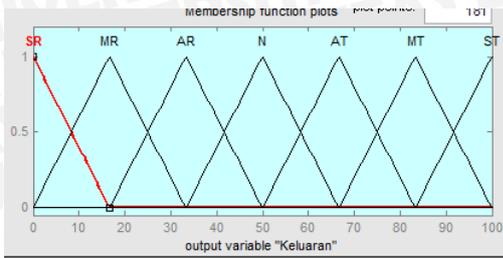
Untuk fungsi keanggotaan sebagai masukan dari error dan delta error terdiri atas 7 label, yaitu Sangat Rendah (SR), Menengah Rendah (MR), Agak Rendah (AR), Netral (N), Agak tinggi (AT), Medium Tinggi (MT), dan Sangat Tinggi (ST) yang dapat ditunjukkan pada gambar 4.17.



Gambar 4.17. Fungsi keanggotaan masukan variable error dan derror berjumlah tujuh

Fungsi keanggotaan keluaran dari sistem ini dibuat parameter berupa sinyal dengan parameter dari 0 sampai dengan 100 yang dapat dilihat pada Gambar 4.18.





Gambar 4.18 Fungsi keanggotaan keluaran berjumlah tujuh

4.4.1. Menentukan aturan fuzzy

Aturan fuzzy (fuzzy rule) digunakan sebagai penentu keluaran dari fuzzifikasi yang akan diolah dalam proses defuzzifikasi. Jumlah aturan fuzzy yang digunakan sebanyak 49. Aturan fuzzy diperoleh dari tujuh fungsi keanggotaan masukan error dan delta error. Aturan fuzzy yang digunakan ditunjukkan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Aturan Fuzzy pada fungsi keanggotaan berjumlah lima

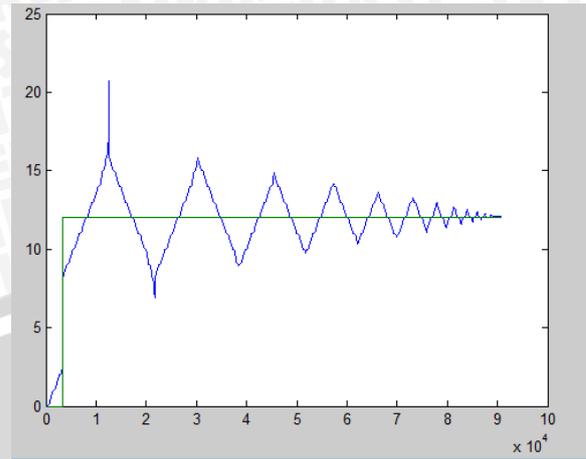
| | | error | | | | | | |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | SR | M _R | AR | N | AT | M _T | ST |
| delta error | SR | SR | SR | SR | SR | M _R | AR | N |
| | M _R | SR | SR | SR | M _R | AR | N | AT |
| | AR | SR | SR | M _R | AR | N | AT | M _T |
| | N | SR | M _R | AR | N | AT | M _T | ST |
| | AT | M _R | AR | N | AT | M _T | ST | ST |
| | M _T | AR | N | AR | M _T | ST | ST | ST |
| | ST | N | AR | M _T | ST | ST | ST | ST |

Dimana:

- SR: Sangat Rendah
- MR: Menengah rendah
- AR: Agak Rendah
- AT: Agak Tinggi
- MT: Menengah Tinggi
- ST: Sangat Tinggi
- N: Netral

4.4.2. Analisis respon sistem dengan tujuh fungsi keanggotaan

Hasil yang didapat dari scope kemudian disimpan dan ditampilkan kembali data-data nya dalam bentuk nilai. Dari Matlab data tersebut di plot kemdali dalam bentuk grafik seperti gambar 4.13.



Gambar 4.19. Grafik dari hasil plot dengan tujuh fungsi keanggotaan

Dari grafik dapat dianalisa parameter dari sistem orde dua untuk nilai settling time (ts), peak time (tp) dan time delay (td). Pada data hasil dari percobaan untuk nilai settling time didapat pada 84226 dengan waktu 39.8988 detik

4.5. Membandingkan hasil respon sistem

Dari hasil percobaan yang telah dilakukan di dapat tiga hasil yang berbeda. Perbedaan karakteristik dari nilai yang telah dianalisis dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.4. Karakteristik sistem hasil pengujian

| | Fungsi keanggotaan n 3 | Fungsi keanggotaan n 5 | Fungsi keanggotaan n 7 |
|-----|------------------------|------------------------|------------------------|
| ts | 78.4804 | 42.6958 | 39.8988 |
| td | 1.5680 | 1.6964 | 1.7297 |
| tp | 4.5087 | 4.4723 | 4.3584 |
| m | 74% | 7.26% | 72.4% |
| p | | | |
| ess | 3% | 2.4% | 2.1% |

Dilihat dari data hasil simulasi table 4.4. bahwa fungsi keanggotaan yang berjumlah tujuh lebih teliti dalam menganalisa gangguan pada sistem dibandingkan dengan fungsi keanggotaan yang berjumlah tiga dan lima.

Pada bab ini akan dijelaskan tentang kesimpulan yang didapat berdasarkan hasil pengujian dan analisa data dari bab sebelumnya serta saran-saran untuk penelitian dan pengembangan lebih lanjut.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan pemodelan pematang keju didapat nilai fungsi alih yaitu $\frac{Hi(s)}{\theta(s)} = \frac{-0.25}{-2s^2 - 0.26s - 1}$. Parameter sistem pematang keju memiliki Box pada simulasi ini berukuran panjang

45 cm, lebar 33 cm , tinggi 30 cm. untuk nilai set point yang diinginkan sebesar 12°C .

Hasil dari data pengujian didapat nilai karakteristik dari sistem orde dua. Untuk nilai dari fungsi keanggotaan yang berjumlah tiga didapat nilai *settling time* (ts) sebesar 78.48 detik, peak time (tp) sebesar 4.50 detik, (Mp) sebesar 74%, ess sebesar 3% dan *delay time* sebesar 1.56 detik. . Untuk nilai dari fungsi keanggotaan yang berjumlah lima didapat nilai *settling time* (ts) sebesar 42.69 detik, peak time (tp) sebesar 4.47 detik, (Mp) sebesar 72.6%, ess sebesar 2.4% dan *delay time* sebesar 1.69 detik. . Untuk nilai dari fungsi keanggotaan yang berjumlah tujuh didapat nilai *settling time* (ts) sebesar 39.89 detik, peak time (tp) sebesar 4.53 detik, (Mp) sebesar 72.4%, ess sebesar 2.1% dan *delay time* sebesar 1.72 detik.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah diperoleh, maka saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah dengan menggunakan penelitian yang telah dilakukan untuk memperbanyak jumlah fungsi keanggotaan yang dibandingkan. Memperbanyak faktor gangguan yang mempengaruhi dari sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kusumadewi, S. dan H. Purnomo. 2010. *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- [2] Sutejo, T., Mulyanto, E dan Suhartono, V. 2011. *Kecerdasan Buatan*. Penerbit : Andi Offset. Yogyakarta
- [3] Kuswandi, Son. 2000. *Kendali Cerdas (Intelligent Control)*: EEPIS Press.
- [4] Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. Jakarta: Erlangga.
- [5] Desgra, Gosi. 2015. *Pengendalian Suhu Dan Kelembaban Proses Pematangan Keju Menggunakan Kontroler PID Berbasis PLC*. Malang: Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- [6] Imam, Gugus. 2007. Proses Produksi Keju. <http://Gugusimam.wordpress.com/2010/proses-produksi-keju.html>. (diakses 17 Oktober 2010)
- [7] Laboratorium Sistem Kontrol. 2013. Laporan Praktikum Teknik Otomasi. Malang: Universitas Brawijaya
- [8] Gopal, M., 1988. *Digital Control Engineering*. India.
- [9] Ogata, Katsuhiko. 1985. *Teknik Kontrol Automatik jilid I. University of Minnesota*.
Ogata, Katsuhiko. 1993. *Teknik Kontrol Automatik jilid II. University of Minnesota*.