

## Optimasi Suhu Laddle Refining Furnace (LRF) pada Pengolahan Baja Karbon Tinggi dengan Menerapkan Metode Fuzzy Mamdani

Sari Cahyaningtias, Evita Purnaningrum

Universitas PGRI Adi Buana Surabaya – Jalan Ngagel Dadi IIIB/37, Surabaya, Indonesia

\*Penulis Korespondensi : email: [sari@unipasby.ac.id](mailto:sari@unipasby.ac.id)

Diterima :19 Juni 2019, Direvisi : 8 Juli 2019, Disetujui :7 September 2019

### Abstract

*Steel processing in large scale industries has several stage namely melting, moulding, fetling, and finishing. The melting process requires such a right temperature particularly in Refining Ladle Furnace (LRF) that is a main point of the process itself. The optimum time of LRF can minimize both production time and electricity in which avoid steel clumping in the next step. This research aims to find the optimum temperature of high carbon steel in the ladle and to gain the relation between rate of carbon composition in steel with heating time using Mamdani Method. The method is also known as min-max method and consists of four stages: form fuzzy set, apply implication function, composition, and defuzzification. The simulation results optimal temperature of high carbon steel stood at between 1530<sup>0</sup>C-1570<sup>0</sup>C and low carbon 1585<sup>0</sup>C-1595<sup>0</sup>C. It shows that the temperature depends on the carbon composition and each grade of liquid temperature.*

**Keywords:** high carbon steel, fuzzy mamdani, optimal temperature.

### Abstrak

*Proses pengolahan baja pada industri skala besar memiliki beberapa tahapan; melting, moulding, fetling, dan finishing. Pada penelitian ini dilakukan pengoptimalan suhu pada Laddle Refining Furnace (LRF), yang merupakan salah satu lokasi sentral pada tahapan melting. Suhu optimum pada ladle ini dapat meminimumkan waktu produksi serta energi listrik yang digunakan serta dapat mencegah terjadinya penggumpalan material campuran baja ketika diolah pada tundish. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui suhu optimal pada ladle untuk produk baja high carbon dan mendapatkan hubungan antara kandungan karbon pada baja dengan lama pemanasan. Metode mamdani sering juga dikenal dengan nama metode min-max. output diperlukan 4 tahapan, diantaranya: pembentukan himpunan fuzzy, aplikasi fungsi implikasi, komposisi aturan, dan penegasan (defuzzy). Hasil analisis metode Fuzzy Mamdani dengan simulasi Matlab menunjukkan bahwa suhu optimal di dalam LRF berbeda untuk tiap kandungan karbon pada baja: suhu optimal untuk baja highcarbon antara 1530<sup>0</sup>C-1570<sup>0</sup>C sedangkan low carbon antara 1585<sup>0</sup>C-1595<sup>0</sup>C. Perbedaan temperatur pada tahapan ini dipengaruhi oleh kandungan karbon dan tingkat temperatur cairannya.*

**Kata Kunci:** baja karbon tinggi, fuzzy mamdani, optimasi suhu.

## 1. PENDAHULUAN

Baja karbon telah banyak digunakan dalam dunia industri seperti balok, profil, lembaran, kawat untuk kemudian dibentuk lagi sesuai kebutuhan. Pemilihan baja karbon sebagai bahan utama produksi karena baja jenis ini relatif lebih kuat/keras. Baja karbon bukan berarti baja yang sama sekali tidak mengandung unsur lain, selain besi dan karbon. Baja karbon mengandung sejumlah unsur lain tetapi masih dalam batas-batas tertentu yang tidak berpengaruh terhadap sifatnya. Pada penelitian ini, baja paduan yang akan dikaji adalah baja campuran dengan kandungan karbon, mangan, fosfor, sulfur, silikon, timah putih, kromium, tembaga, dan nikel.

Baja dengan kadar mangan kurang dari 0,8% *silicon* kurang dari 0.5% dan unsur lain sangat sedikit, dapat dianggap sebagai baja karbon. Mangan dan *silicon* sengaja ditambahkan dalam proses pembuatan baja sebagai *deoxidizer* mengurangi pengaruh buruk dari beberapa unsur pengotoran.

Pengendalian temperatur baja karbon ketika proses produksi khususnya pada LRF diperlukan untuk memaksimalkan hasil produksi. Hal ini dikarenakan proses pelelehan bahan baku baja karbon pada LRF akan mempengaruhi proses moulding selanjutnya. Dengan mendapatkan rentang suhu yang tepat akan mempercepat proses moulding. Selain itu, suhu LRF yang tepat akan mencegah terjadinya pengerasan sebelum memasuki tahapan selanjutnya. Suhu *tapping standart* 1630 °C sedangkan sampai di LRF suhu *liquid metal* menjadi rata-rata 1520°C. Terjadi penurunan suhu selama proses *tapping* dan proses *delay*, juga pemindahan panas dari *ladle* kosong (1200°C) ke *liquid metal* (1630°C). Untuk proses kompensasi suhu *liquid metal* harus dinaikkan dulu menjadi 1550°C, oleh karena itu di LRF digunakan proses *arching*. Proses di LRF biasanya memerlukan waktu 25-45 menit. Suhu *liquid metal* yang harus dipersiapkan untuk casting sangat bervariasi tergantung kondisi CCM dan grade baja yang dibuat.

Baja pada umumnya memiliki presentasi kandungan seperti Nikel, karbon, *silicon*, tembaga, sulphur, fosfor dan mangan yang berbeda. Tiap-tiap kandungan ini akan berpengaruh pada peningkatan suhunya. Analisis besi paduan: titanium didekati dengan struktur elektronik pada diagram fase untuk mengetahui dampak dari kestabilan [1] dan nikel dilakukan *compression test* melalui *spark plasma sintering* proses untuk mendapatkan kerapatan masa dan suhu ruang dari proses mekanikal [2]. Pengendalian suhu pada besi akan berpengaruh pada proses pengerasan cairan pada pengolahan lebih lanjut. Pengendalian temperature ini dapat dilakukan melalui metode: penyinaran (*irradiation*) pada struktur nano besi  $Fe - 9\%Cr - C$  [3] dan struktur micro pada baja vanadium [4]. Kedua penelitian tersebut juga mempertimbangkan tingkat penyinarannya untuk dapat mengendalikan suhu pengerasan besi.

Pendekatan lain dalam pengendalian temperature adalah dengan menerapkan logika fuzzy untuk mendapatkan suhu yang terkendali dari fungsi luaran [5], [6]. Sistem ini dapat mengendalikan temperature lebih cepat dibandingkan desain control konvensional lainnya. Landasan teori dari perkembangan *temperature control systems* ini adalah elaborasi logika *fuzzy* yang dicetuskan oleh Prof. L.A. Zadeh dari California University [7], [8]. Penemuan logika ini tidak dikenali dengan baik sampai pada tahun 1974 Dr. E H Mamdani, dari London University, menerapkan logika fuzzy dalam penerapan aplikatif untuk mengendalikan sebuah mesin uap otomatis [9].

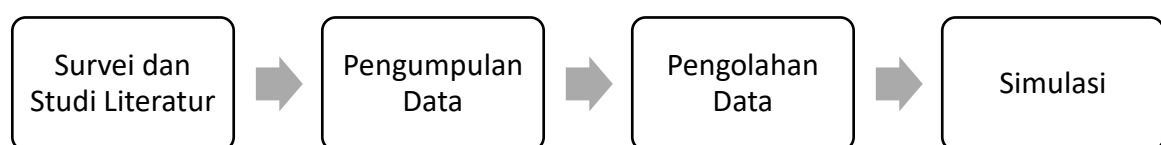
Cao, Ress, dan Feng mengemukakan bahwa system kendali pada metode fuzzy mamdani adalah kontrol yang universal dan dapat menyesuaikan berdasarkan model yang diberikan[10], [11]. Lebih lanjut, Metode Fuzzy Mamdani selain diterapkan untuk mendapatkan jumlah produksi barang yang optimal [12] juga dapat memprediksi kekuatan batuan[13]. Pada penelitian lain, logika fuzzy tipe Mamdani dan Takaghi Sugeno Kang (TSK) fuzzy membentuk *fuzzy interfere system* untuk algoritma peramalan parameter ekonomi minyak bumi[14], sedangkan pada penentuan hasil belajar siswa didekati dengan fuzzy mamdani dan jaringan syaraf tiruan [15].

Pada prinsipnya himpunan *fuzzy* adalah perluasan himpunan *crisp*, yaitu himpunan yang membagi sekelompok individu kedalam dua kategori, yaitu anggota dan bukan anggota atau disebut juga sebagai himpunan yang jelas atau pasti. Biasanya *fuzzy* lebih dikenal dengan istilah samar, karena batasnya yang tidak jelas atau samar. Sistem *fuzzy* juga toleran dengan data yang tidak lengkap, menggunakan istilah kualitatif, dan juga pengukuran yang tidak tepat. Pengaplikasian logika fuzzy pada persoalan nyata dilakukan melalui tiga tahapan, yaitu:Fuzzifikasi, Fuzzy interence process, dan Defuzzifikasi [8], [9], [16].

Pada penelitian ini, pengendalian temperatur pada LRF dilakukan dengan menerapkan logika fuzzy. Dalam kondisi yang nyata, beberapa aspek dalam dunia nyata selalu atau biasanya berada diluar model matematis dan bersifat *inexact*. Konsep ketidakpastian inilah yang menjadi konsep dasar munculnya konsep logika fuzzy.

## 2. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini secara garis besar dapat digambarkan pada bagan dibawah ini :



**Gambar 1** Diagram Alir Penelitian

Analisis suhu optimal LRF pada penelitian ini berbasis pada data-data riil yang didapatkan dari pengambilan data secara langsung dan dilakukan pemilahan jenis-jenis baja: terkait kandungan baja: karbon, silicon, mangan, sulphur, kromium, tembaga, dan nikel. Pada tahapan ini juga dilakukan analisis faktor yang paling berpengaruh untuk pada proses pelelehan baja paduan.

Pengolahan data dilakukan dengan menentukan variable dan semesta pembicaraan dan membentuk himpunan fuzzy. Pembentukan fungsi keanggotaan untuk tiap variabel, yakni

*Carbon Equivalent, Liquid Temperature* serta *Laddle Temperature* pada baja *high carbon*. Tahapan selanjutnya adalah pendefinisian tiap-tiap keanggotaan pada software matlab untuk kemudian tahap defuzifikasi. Hasil simulasi menunjukkan rentang suhu optimal pada tiap-tiap keadaan yang diberikan.

**Tabel 1.** Data Komposisi Kimia Besi *All Grade* (sumber: PT. Ispat Indo, pengolahan besi baja)

No	Grade	Composition (%)									Ceq	AE	Liquidus Temp.	
		C	Mn	P	S	Si	Sn	Cr	Cu	Ni			Ceq<0,53	Ceq>0,53
1	SWRH27	0,27	0,51	0,03	0,03	0,23	0,03	0,13	0,15	0,13	0,24	9,52	1507	
2	SWRH32	0,33	0,49	0,03	0,03	0,23	0,03	0,13	0,15	0,13	0,29	9,42	1502	
3	SWRH37	0,38	0,49	0,03	0,03	0,23	0,03	0,13	0,15	0,13	0,34	9,42	1498	
4	SWRH42A	0,43	0,49	0,03	0,03	0,23	0,03	0,13	0,15	0,13	0,39	9,42	1494	
5	SWRH42B	0,43	0,71	0,03	0,03	0,23	0,03	0,13	0,15	0,13	0,40	10,52	1493	
6	SWRH47A	0,48	0,49	0,03	0,03	0,23	0,03	0,13	0,15	0,13	0,44	9,42	1490	
7	SWRH47B	0,48	0,71	0,03	0,03	0,23	0,03	0,13	0,15	0,13	0,45	10,52	1489	
8	SWRH52A	0,53	0,49	0,03	0,03	0,23	0,03	0,13	0,15	0,13	0,49	9,42	1486	
9	SWRH52B	0,53	0,71	0,03	0,03	0,23	0,03	0,13	0,15	0,13	0,50	10,52	1485	
10	SWRH57A	0,58	0,49	0,03	0,03	0,23	0,03	0,13	0,15	0,13	0,54	9,42		1479
11	SWRH57B	0,58	0,71	0,03	0,03	0,23	0,03	0,13	0,15	0,13	0,55	10,52		1478
12	SWRH62A	0,63	0,49	0,03	0,03	0,23	0,03	0,13	0,15	0,13	0,59	9,42		1476
13	SWRH62B	0,63	0,71	0,03	0,03	0,23	0,03	0,13	0,15	0,13	0,60	10,52		1475
14	SWRH67A	0,68	0,49	0,03	0,03	0,23	0,03	0,13	0,15	0,13	0,64	9,42		1473
15	SWRH67B	0,68	0,71	0,03	0,03	0,23	0,03	0,13	0,15	0,13	0,65	10,52		1472
16	SWRH72A	0,73	0,49	0,03	0,03	0,23	0,03	0,13	0,15	0,13	0,69	9,42		1469
17	SWRH72B	0,73	0,71	0,03	0,03	0,23	0,03	0,13	0,15	0,13	0,70	10,52		1468
18	SWRH77A	0,78	0,49	0,03	0,03	0,23	0,03	0,13	0,15	0,13	0,74	9,42		1466
19	SWRH77B	0,78	0,71	0,03	0,03	0,23	0,03	0,13	0,15	0,13	0,75	10,52		1465
20	SWRH82A	0,83	0,49	0,03	0,03	0,23	0,03	0,13	0,15	0,13	0,79	9,42		1463
21	SWRH82B	0,83	0,71	0,03	0,03	0,23	0,03	0,13	0,15	0,13	0,80	10,52		1462

Dari Tabel 1, C menunjukkan karbon, Mn menunjukkan mangan, P menunjukkan fosfor, S menunjukkan sulfur, Si menunjukkan silikon, Sn menunjukkan timah, Cr menunjukkan kromium, Cu menunjukkan Cuprum, Ni menunjukkan nikel, dan Ceq adalah Carbon Equivalent yang merupakan presentase kadar karbon dalam baja.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan data dilakukan dengan menentukan variabel dan semesta pembicaraan yang akan dipergunakan dalam perhitungan berdasarkan data-data yang telah diketahui pada Tabel 1.

Berdasarkan data yang tersaji dilakukan klasifikasi variable dari fungsi masukan dan luaran serta semesta pembicaraannya. Variabel dan semesta pembicaraan ditunjukkan pada Tabel 2 untuk baja *high carbon*. Setelah itu membuat himpunan fuzzy yang sesuai dengan variabel dan semesta pembicaraan yang telah ditentukan sebelumnya, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3.

**Tabel 2.** Penentuan Variabel dan Semesta Pembicaraan Pada Baja High Carbon

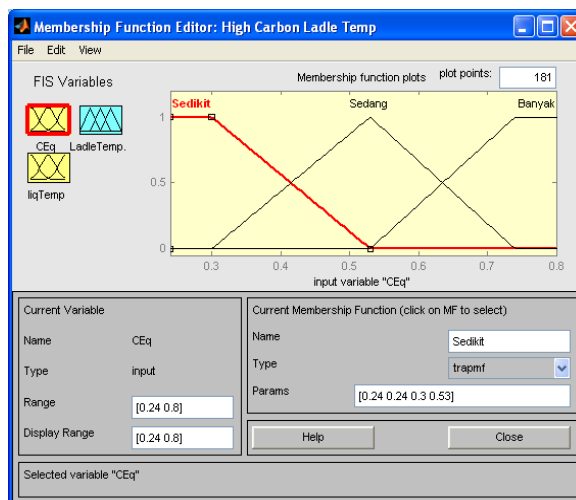
Fungsi	Nama Variabel	Semesta Pembicaraan	Keterangan
Input	Carbon Equivalent	[0.24 - 0.8]	Jumlah Carbon Equivalent
	Liquid Temperature	[1462 - 1507]	Suhu pada saat baja berupa cairan
Output	Ladle Temperature	[1530 - 1570]	Suhu yang berada dalam <i>ladle</i>

**Tabel3.** Himpunan Fuzzy Pada Baja High Carbon

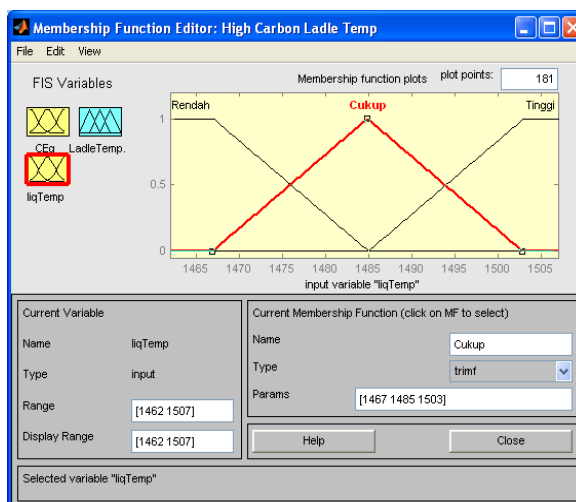
Fungsi	Variabel	Nama Himp. Fuzzy	Semesta Pembicaraan	Domain
Input	<i>Carbon Equivalent</i>	Sedikit	0.24-0.8	0.24-0.53
		Sedang		0.30-0.70
		Banyak		0.53-0.80
	<i>Liquid Temperature</i>	Rendah	1462-1507	1462-1485
		Cukup		1467-1503
		Tinggi		1485-1507
Output	<i>Ladle Temperature</i>	Rendah	1530-1570	1530-1550
		Cukup		1534-1567
		Tinggi		1550-1570

Langkah selanjutnya adalah membuat fungsi keanggotaan untuk tiap variabel yakni *Carbon Equivalent*, *Liquid Temperature* serta *Ladle Temperature* pada baja *high* dan *low carbon*. Fungsi keanggotaan variabel menggunakan kurva bertipe *trapf* (*Trapezium Member Function*) pada himpunan sedikit dan banyak dan tipe *trimf* (*Triangular Memberfunction*) pada himpunan sedang. Yang berbeda hanya range-nya saja.

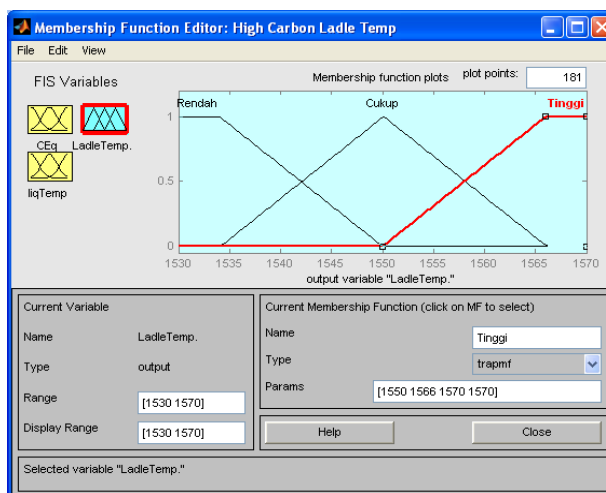
Gambar 2 adalah proses pendefinisian fungsi input untuk *Ceq* pada Program Matlab sesuai dengan klasifikasi yang telah dilakukan pada Tabel 2 dan Tabel 3. Gambar 3 dan 4 adalah proses pendefinisian fungsi input untuk *liquid temperature* dan fungsi output untuk *ladle temperatur*. Tiap-tiap proses yang terlihat pada Gambar 2, 3, dan 4 adalah proses pendefinisian anggota dari masing-masing variable.



**Gambar 2** Input Variabel Carbon Equivalent

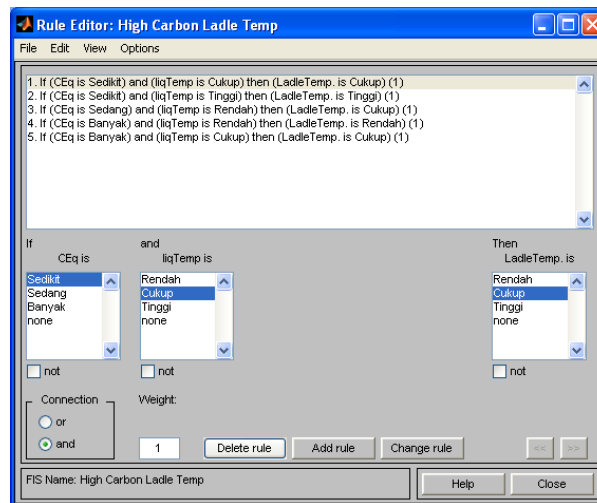


**Gambar 3** Input Variabel Liquid Temperature



**Gambar 4** Output Variabel Ladle Temperatur

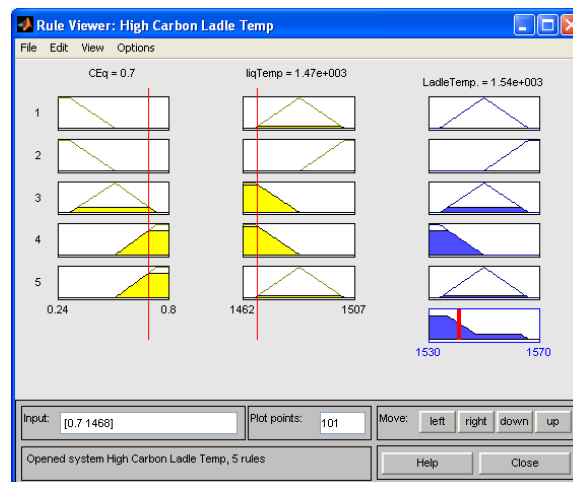
Setelah penentuan fungsi keanggotaan variabel, maka dilakukan pembentukan aturan logika fuzzy (*Rule*). Berdasarkan data yang ada, dapat dibentuk aturan sebagai berikut:



**Gambar 5** Rule Pada Fuzzyfikasi Baja High Carbon

Langkah terakhir adalah penegasan (defuzzyfikasi). Penegasan dilakukan dengan bantuan *software matlab 7.0 toolbox fuzzy*. Tahapan ini adalah penentuan suhu ladle berdasarkan analisis keanggotaan dari fungsi input yang telah didefinisikan sebelumnya.

Hasil simulasi dengan bantuan *software matlab 7.0* digambarkan seperti pada Gambar 6



**Gambar 6** Penalaran fuzzy

Gambar 6 menunjukkan analisis suhu *ladle* yang optimal, dengan kata lain memenuhi syarat bahwa suhu pemanasan yang diberikan sesuai dengan praktek dengan lapangan yaitu berkisar antara 1500<sup>0</sup>C – 1600<sup>0</sup>C. Suhu optimum pada laddle dipengaruhi oleh dua kondisi lain yaitu *Ceq* dan liquid temperature. Sehingga untuk mendapatkan suatu suhu optimal pada tiap-tiap kondisi baja karbon pada Tabel 1 dapat diperoleh secara dinamis melalui penentuan kedua variabel input tersebut: *Ceq* dan liquid temperatur.

Temperatur optimal pada LRF bersifat dinamis berdasarkan variabel yang dimasukkan. Contohnya untuk masukkan yang diinginkan yaitu  $Ceq = 0.34\%$  dan *liquid temperature*=



-----Vol 7 (02),Oktober 2019, Halaman 135 - 144-----

1498<sup>0</sup>C, maka suhu yang diberikan pada ladle adalah 1560<sup>0</sup>C. Berdasarkan Gambar 6 dapat diperoleh tiap-tiap suhu optimal untuk kondisi yang berbeda tergantung pada tiap-tiap variable yang dimasukkan. Secara umum pada baja dengan kategori kandungan karbon yang tinggi maka suhu optimal yang tepat diberikan pada laddle adalah 1530<sup>0</sup>C-1570<sup>0</sup>C. Sedangkan pada baja low carbon suhu optimal laddle relatif jauh lebih tinggi yaitu antara 1585<sup>0</sup>C-1595<sup>0</sup>C.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis hasil pembahasan dan simulasi dari metode Fuzzy Mamdani pada penentuan suhu optimum *Laddle Refining Furnace* pada proses pengolahan baja karbon didapatkan bahwa kadar karbon pada proses pengerasan baja, akan naik dengan semakin tingginya temperatur. Bila kadar karbon dipermukaan terlalu tinggi maka kekerasan tidak begitu tinggi. Hasil lain yang ditemukan yaitu suhu yang optimal pada ladle tergantung pada Carbon Equivalen dan liquid temperatur pada ladle tersebut. Setiap tipe karbon yang dianalisis pada penelitian ini menunjukkan bahwa untuk baja high carbon suhu optimal ladle berada antara 1530<sup>0</sup>C-1570<sup>0</sup>C sedangkan pada baja low carbon suhu optimal bergerak antara rentang 1585<sup>0</sup>C-1595<sup>0</sup>C.

#### 5.DAFTAR PUSTAKA

- [1] L.-F. Huang *et al.*, “From Electronic Structure To Phase Diagrams: A bottom-up Approach to Understand The Stability of Titanium Transition Metal Alloys,” *Acta Mater.*, vol. 113, pp. 311–319, 2016.
- [2] T. Sadat, A. Hocini, L. Lilensten, D. Faurie, D. Tingaud, and G. Dirras, “Data on the impact of increasing the W amount on the mass density and compressive properties of Ni–W alloys processed by spark plasma sintering,” *Data Br.*, vol. 7, pp. 1405–1408, 2016.
- [3] M. Chiapetto, C. S. Becquart, and L. Malerba, “Simulation of nanostructural evolution under irradiation in Fe-9 % Cr – C alloys : An object kinetic Monte Carlo study of the effect of temperature and dose-rate,” *Nucl. Mater. Energy*, vol. 9, pp. 565–570, 2016.
- [4] K. Fukumoto, T. Onitsuka, and M. Narui, “Dose dependence of irradiation hardening of neutron irradiated vanadium alloys by using temperature control rig in JMTR,” *Nucl. Mater. Energy*, vol. 9, pp. 441–446, 2016.
- [5] P. Singhala, D. N. Shah, and B. Patel, “Temperature Control using Fuzzy Logic,” *Int. J. Instrum. Control Syst.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–10, 2014.
- [6] A. N. Isizoh, S. . Okide, A. . Anazia, and C. . Ogu, “Temperature Control System Using Fuzzy Logic Technique,” *Int. J. Adv. Res. Artif. Intell.*, vol. 1, no. 3, 2012.



-----Vol 7 (02),Oktober 2019, Halaman 135 - 144-----

- [7] L. . Zadeh, “Fuzzy Sets,” *Inf. Control*, vol. 8, pp. 338–353, 1965.
- [8] L. Zadeh and R. A. Aliev, “Introduction To Fuzzy Logic Control,” *J. Log. Theory Appl.*, 2018.
- [9] E. . Mamdani and S. Assilian, “An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller,” *Int. J. Man. Mach. Stud.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–13, 1975.
- [10] S. Cao, N. W. Rees, and G. Feng, “Mamdani-type fuzzy controllers are universal controllers,” *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 123, no. 3, pp. 359–367, 2001.
- [11] R. Kothamasu and S. H. Huang, “Adaptive mamdani fuzzy model for condition-based maintenance,” *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 158, no. 24, pp. 2715–2733, 2007.
- [12] W. T. Priyo, “Penerapan Logika Fuzzy Dalam Optimasi Produksi Barang Menggunakan Metode Mamdani,” *J. Ilm. Soulmath*, vol. 5, no. 1, 2017.
- [13] M. Asadi, “Optimized Mamdani fuzzy models for predicting the strength of intact rocks and anisotropic rock masses,” *J. Rock Mech. Geotech. Eng.*, vol. 8, no. 2, pp. 218–224, 2016.
- [14] M. Naderi and E. Khamsehchi, “Fuzzy logic coupled with exhaustive search algorithm for forecasting of petroleum economic parameters,” *J. Pet. Sci. Eng.*, vol. 176, pp. 291–298, 2019.
- [15] I. G. S. Astawa, “Penerapan Logika Fuzzy Dan Jaringan Syaraf Tiruan Pada Sistem Penilaian Berbasis Komputer,” *Janapati J. Nas. Pendidik. Tek. Inform.*, vol. 1, no. 1, 2012.
- [16] Y. Bai and D. Wang, “Fundamentals of Fuzzy Logic Control - Fuzzy Sets, Fuzzy Rules and Defuzzifications,” in *Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications*, London: Springer-Verlag, 2006.



*(halaman sengaja dikosongkan)*