

OPTIMASI SUHU LADLE PADA BAJA *HIGH CARBON* DENGAN METODE FUZZY–MAMDANI

Ikhtisholiyah, S.Si., M.Si.

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gresik

ABSTRAK

Sebagian besar perusahaan membutuhkan energi listrik dalam proses produksinya, perusahaan peleburan baja PT. ISPAT INDO salah satunya. PT. ISPAT INDO membutuhkan listrik pada proses pemanasan atau perubahan dari *scrap* ke cairan baja. Langkah yang dapat dilakukan oleh PT. ISPAT INDO untuk menghemat energi listrik adalah dengan cara mengoptimalkan suhu pemanasan sehingga didapatkan cairan baja dengan suhu yang tepat dan tidak memerlukan panas yang berlebihan. Pengaturan suhu juga sangatlah vital karena setelah berada di CCM/*Continous Casting Machine* (merupakan tempat dilakukan pencetakan atau pembentukan baja/*billet* atau dengan kata lain sebagai tempat pengubah dari *liquid* menjadi *solid*), *liquid metal* tidak dapat dikembalikan lagi. Permasalahan yang dibahas pada penelitian ini adalah bagaimana mengoptimalkan suhu *ladle* sehingga dapat mencapai suhu dengan tepat dan tidak membutuhkan waktu pemanasan yang lama sehingga mengurangi penggunaan listrik sehingga nantinya akan menguntungkan pihak PT. ISPAT INDO.

Ada beberapa metode optimasi yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah tersebut, salah satunya metode Fuzzy-mamdani

Hasil penelitian ini adalah (1) Kadar karbon pada proses pengerasan baja akan naik seiring semakin tingginya temperatur pembakaran. Bila kadar karbon di permukaan terlalu tinggi maka kekerasan tidak begitu tinggi. (2) Suhu yang optimal untuk baja *high carbon* antara 1585⁰C-1595⁰C tergantung pada kandungan *carbon* dan *liquid temperature* pada tiap *grade* nya.

Kata Kunci: Optimasi, Baja *high carbon*, metode fuzzy-mamdani.

PENDAHULUAN

Listrik merupakan kebutuhan dasar manusia dan merupakan jendela peradaban menuju kemajuan suatu bangsa. Akibat pasokan energi listrik yang berasal dari sumber mineral makin sedikit dan langka maka seharusnya masyarakat mulai berhemat. Penghematan energi ini

sangat penting kita lakukan mengingat akhir-akhir ini telah terjadi krisis energi di dunia.

Sebagian besar perusahaan membutuhkan energi listrik dalam proses produksinya, perusahaan peleburan baja PT. ISPAT INDO salah satunya. PT. ISPAT INDO membutuhkan listrik pada proses

pemanasan atau perubahan dari *scrab* ke cairan baja. Langkah yang dapat dilakukan oleh PT. ISPAT INDO untuk menghemat energi listrik adalah dengan cara mengoptimalkan suhu pemanasan sehingga didapatkan cairan baja dengan suhu yang tepat dan tidak memerlukan panas yang berlebihan. Pengaturan suhu juga sangatlah vital karena setelah berada di CCM/*Continous Casting Machine* (merupakan tempat dilakukan pencetakan atau pembentukan baja/*billet* atau dengan kata lain sebagai tempat pengubah dari *liquid* menjadi *solid*), *liquid metal* tidak dapat dikembalikan lagi.

Permasalahan yang dibahas pada penelitian ini adalah bagaimana mengoptimalkan suhu *ladle* sehingga dapat mencapai suhu dengan tepat dan tidak membutuhkan waktu pemanasan yang lama sehingga mengurangi penggunaan listrik sehingga nantinya akan menguntungkan pihak PT. ISPAT INDO.

Ada beberapa metode optimasi yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah tersebut, salah satunya metode Fuzzy-mamdani.

Dalam kondisi yang nyata, beberapa aspek selalu atau biasanya berada diluar model matematis dan bersifat *inexact*. Konsep ketidakpastian inilah yang menjadi konsep dasar munculnya konsep logika fuzzy. Pencetus gagasan logika fuzzy adalah Prof. L.A. Zadeh (1965) dari California University.

Pada prinsipnya himpunan fuzzy adalah perluasan himpunan

crisp, yaitu himpunan yang membagi sekelompok individu ke dalam 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 terhadap data yang tidak lengkap, menggunakan istilah kualitatif, dan juga pengukuran yang tidak tepat. Hal ini menyebabkan metode ini tidak memerlukan data yang sangat detail.

Permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini dibatasi pada pengoptimalan suhu *ladle* pada produk baja *high carbon*

TINJAUAN PUSTAKA DAN KAJIAN TEORI

Baja

Menurut komposisi kimianya, baja dapat dibagi dua kelompok besar yaitu: baja karbon dan baja paduan. 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. Unsur-unsur ini biasanya merupakan ikatan yang berasal dari proses pembuatan besi atau baja seperti mangan, silicon, dan beberapa unsur pengotor seperti belerang, oksigen, nitrogen, dan lain-lain yang biasanya ditekan sampai kadar yang sangat kecil. (Amanto,1999).

Baja karbon

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 pengotor. Baja karbon diproduksi dalam bentuk balok, profil, lembaran, dan kawat. Baja karbon dapat digolongkan menjadi tiga bagian berdasarkan jumlah kandungan karbon yang terdapat di dalam baja tersebut, penggolongan yang dimaksud adalah sebagai berikut:

- Baja karbon rendah
Baja karbon rendah yang mengandung 0,022 % – 0,3 % karbon.
- Baja karbon menengah
Baja karbon ini memiliki sifat-sifat mekanik yang lebih baik dari pada baja karbon rendah. Baja karbon menengah mengandung 0,3 % – 0,6 % karbon dan memiliki ciri khas sebagai berikut:
 - 1) Lebih kuat dan keras dari pada baja karbon rendah.
 - 2) Tidak mudah di bentuk dengan mesin.
 - 3) Lebih sulit di lakukan untuk pengelasan.
 - 4) Dapat dikeraskan (*quenching*) dengan baik.
- Baja karbon tinggi
Baja karbon tinggi memiliki kandungan antara 0,6 % – 1,7 %

karbon dan memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- 1) Kuat sekali.
- 2) Sangat keras dan getas/rapuh.
- 3) Sulit dibentuk mesin.
- 4) Mengandung unsur sulfur (S) dan posfor (P).
- 5) Mengakibatkan kurangnya sifat liat.
- 6) Dapat dilakukan proses heat treatment dengan baik.

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. Pencetus gagasan logika fuzzy adalah Prof. L.A. Zadeh (1965) dari California University. Pada prinsipnya himpunan fuzzy adalah perluasan himpunan *crisp*, yaitu himpunan yang membagi sekelompok individu ke dalam 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.

Pada himpunan tegas (*crisp*), nilai keanggotaan suatu item x dalam suatu himpunan A , yang sering ditulis

dengan $\mu A [x]$, memiliki 2 kemungkinan, yaitu (Kusumadewi, 2003:156):

- Satu (1) yang berarti bahwa suatu item menjadi anggota dalam suatu himpunan.
- Nol (0) yang berarti bahwa suatu item tidak menjadi anggota dalam suatu himpunan.

Pada himpunan *crisp*, nilai keanggotaan ada 2 kemungkinan, yaitu 0 atau 1. Sedangkan pada himpunan *fuzzy* nilai keanggotaan terletak pada rentang 0 sampai 1.

Semesta pembicaraan adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel *fuzzy*. Semesta pembicaraan merupakan himpunan bilangan *real* yang senantiasa naik (bertambah) secara monoton dari kiri ke kanan. Nilai semesta pembicaraan dapat berupa bilangan positif maupun negatif (Kusumadewi, 2003: 159).

Domain himpunan *fuzzy* adalah keseluruhan nilai yang diijinkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan *fuzzy* (Kusumadewi, 2001:12).

Sistem Inferensi Fuzzy Metode Mamdani

Metode mamdani sering juga dikenal dengan nama metode *min–max*. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Untuk mendapatkan *output* diperlukan 4 tahapan, diantaranya:

1. Pembentukan himpunan *fuzzy*

Pada metode mamdani baik variabel *input* maupun variabel *output* dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *fuzzy*.

2. Aplikasi fungsi implikasi

Pada Metode Mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah *min*.

3. Komposisi aturan

Metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem *fuzzy*, yaitu Metode *max (maximum)*. Secara umum dapat dituliskan:

$$\mu_{sf}[X_i] = \max (\mu_{sf} [X_i], \mu_{kf} [X_i])$$

dengan:

$\mu_{sf}[X_i]$ = nilai keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke-i

$\mu_{kf} [X_i]$ = nilai keanggotaan konsekuan *fuzzy* aturan ke-i

4. Penegasan (*defuzzy*)

Defuzzyfikasi pada komposisi aturan mamdani dengan menggunakan metode *centroid*, dimana pada metode ini solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil titik pusat daerah *fuzzy*. Secara umum dirumuskan (Bo Yuan, 1999):

$$\mu(x) = \frac{\int_a^b x\mu(x)dx}{\int_a^b \mu(x)dx}$$

Atau

$$\mu(x) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i\mu(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)}$$

Ada dua keuntungan menggunakan metode *centroid*, yaitu (Kusumadewi, 2002):

1. Nilai *defuzzyfikasi* akan bergerak secara halus sehingga perubahan dari suatu himpunan *fuzzy* juga akan berjalan dengan halus.

2. Lebih mudah dalam perhitungan.

Proses Produksi

Scrab (besi tua) ditransfer menggunakan truk khusus pengangkat *scrab* menuju EAF untuk proses peleburan. Setelah *scrab* mengalami perubahan fase dari padat ke cair, dilakukan proses *tapping*. Sedangkan *slag* yang terdapat pada permukaan logam cair dan masih berada di dalam EAF segera dibersihkan guna proses selanjutnya.

Pada saat proses *tapping*, logam cair dituang ke dalam *ladle* untuk dikirim ke LRF dan dilakukan *argon bubbling* untuk menghilangkan oksigen dan gas-gas lain yang terdapat dalam logam cair. *Ladle* kemudian diangkat dengan crane berkapasitas 120 ton dan dibawa menuju CCM untuk dilakukan proses pencetakan menjadi besi batangan (*billet*).

EAF (*Electric Arc Furnace*) merupakan tempat dimana dilakukan proses peleburan baja yang dimulai dari *scrab* (besi tua) dan biji besi yang diubah menjadi *liquid* dengan bantuan busur listrik. Peleburan *scrab* dan biji besi terdiri dari beberapa prosedur diantaranya *charging scrab*, *melting*, dan *tapping*.

LRF merupakan tempat untuk penyempurnaan komposisi dari EAF atau dengan kata lain merupakan pusat untuk penyempurnaan komposisi dalam proses produksi di SMS (*Steel Melting Shop*) *Ladle* dari EAF (*Electric Arc Furnace*) yang berisi

kurang lebih 83 Ton cairan baja dibawa ke LRF dengan menggunakan *ladle car*, diangkat *crane*, kemudian ditaruh lagi ke *ladle car* LRF untuk kemudian dimasukkan ke tempat LRF.

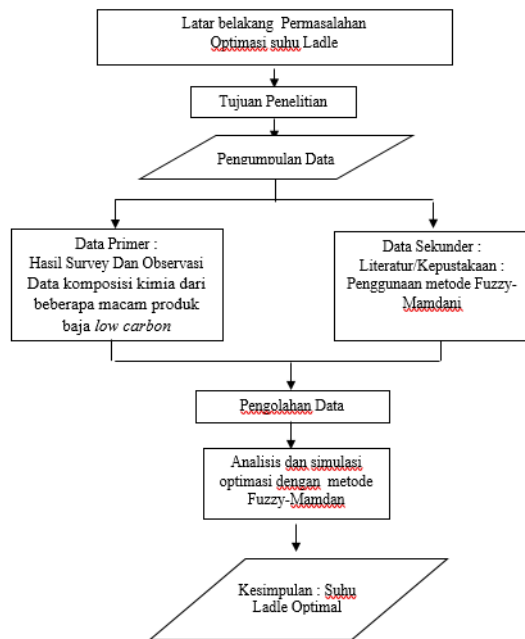
CCM (*Continuous Casting Machine*) merupakan tempat dimana dilakukan pencetakan atau pembentukan baja (*billet*) atau dengan kata lain sebagai tempat pengubah dari *liquid* menjadi *solid*. Baja atau *billet* yang dicetak disini mempunyai ukuran yang berbeda tergantung dari pesanan.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian optimasi suhu *ladle* pada baja *high carbon* dengan metode fuzzy-mamdani ini dilakukan di industri peleburan baja PT. ISPAT INDO yang terletak di Desa Kedungturi, Kecamatan Taman, Kabupaten Sidoarjo, Propinsi Jawa Timur.

Alir penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Survei dan Studi Literatur
Dengan cara mengumpulkan data dan mempelajari *file*, dokumen, atau arsip yang ada sebagai referensi atau pedoman dalam memperoleh data.
2. Wawancara
Dengan cara mendapatkan informasi dan berdiskusi dengan pihak PT. ISPAT INDO, khususnya departement SMS (*Steel Melting Shop*).



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

PT. ISPAT INDO merupakan perusahaan kedua di Indonesia setelah PT. Krakatau Steel yang melakukan unit bisnis peleburan baja.

Untuk pemenuhan bahan baku *coil* baja, PT. ISPAT INDO memproses besi tua (*scrab*), *sponge*, dan *pig iron* yang didatangkan dari luar negeri. Sedangkan dari dalam negeri hanya dapat mensupply besi tua (*scrab*).

Untuk memastikan bahwa PT. ISPAT INDO mampu memproduksi *wire rod* (*coil*) dengan kualitas tinggi, maka dalam setiap prosesnya selalu disertai standard mutu.

Menurut komposisi kimianya, baja dapat dibagi dua kelompok besar yaitu baja karbon dan baja paduan. 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. Unsur-unsur ini biasanya merupakan ikatan yang berasal dari proses pembuatan besi atau baja seperti mangan, silicon, dan beberapa unsur pengotor seperti belerang, oksigen, nitrogen, dan lain-lain yang biasanya ditekan sampai kadar yang sangat kecil. (Amanto,1999)

Scrab (besi tua) ditransfer menggunakan truk khusus pengangkut *scrab* menuju EAF untuk proses peleburan. Setelah *scrab* mengalami perubahan fase dari padat ke cair, dilakukan proses *tapping*. Sedangkan *slag* yang terdapat pada permukaan logam cair dan masih berada di dalam EAF segera dibersihkan guna proses selanjutnya.

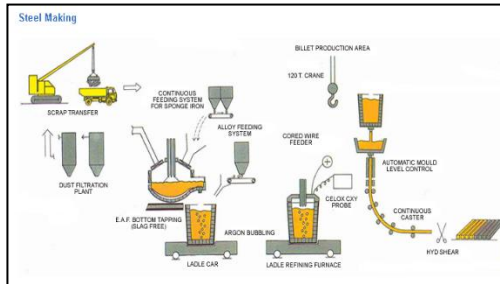
Pada saat proses *tapping*, logam cair dituang ke dalam *ladle* untuk dikirim ke LRF dan dilakukan *argon bubbling* untuk menghilangkan oksigen dan gas-gas lain yang terdapat dalam logam cair. Kemudian *ladle* diangkat dengan *crane* berkapasitas 120 Ton dan dibawa menuju CCM untuk dilakukan proses pencetakan menjadi besi batangan (*billet*).

EAF (*Electric Arc Furnace*) merupakan tempat dimana dilakukan proses peleburan baja yang dimulai dari *scrab* (besi tua) dan biji besi yang diubah menjadi *liquid* dengan bantuan busur listrik. Peleburan *scrab* dan biji besi terdiri dari beberapa prosedur

diantaranya *charging scrub, melting, dan tapping*.

LRF merupakan tempat untuk penyempurnaan komposisi dari EAF atau dengan kata lain merupakan pusat untuk untuk penyempurnaan komposisi dalam proses produksi di SMS (*Steel Melting Shop*). *Ladle* dari EAF (*Electric Arc Furnace*) yang berisi kurang lebih 83 Ton cairan baja dibawa ke LRF dengan menggunakan *ladle car*, diangkat *crane*, kemudian ditaruh lagi ke *ladle car* LRF untuk memasukkannya ke tempat LRF.

CCM (*Continous Casting Machine*) merupakan tempat dimana dilakukan pencetakan atau pembentukan baja (*billet*) atau dengan kata lain sebagai tempat pengubah dari *liquid* menjadi *solid*. Baja atau *billet* yang dicetak disini mempunyai ukuran yang berbeda tergantung dari pesanan.



Gambar 2. Proses Produksi

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi data komposisi kimia dari beberapa macam produk baja *high carbon*, yaitu sebagai berikut:

Tabel 1. Data komposisi kimia *All Grades*

No	Grade	Composition (%)									Ceq	Liquid Temp.	Ladle Temp.
		C	Mn	P	S	Si	Sn	Cr	Cu	Ni			
1	SWRH27	0.27	0.51	0.03	0.03	0.23	0.03	0.13	0.15	0.13	0.24	1507	1570
2	SWRH32	0.33	0.49	0.03	0.03	0.23	0.03	0.13	0.15	0.13	0.29	1502	1570
3	SWRH37	0.38	0.49	0.03	0.03	0.23	0.03	0.13	0.15	0.13	0.34	1498	1560
4	SWRH42A	0.43	0.49	0.03	0.03	0.23	0.03	0.13	0.15	0.13	0.39	1494	1555
5	SWRH42B	0.43	0.71	0.03	0.03	0.23	0.03	0.13	0.15	0.13	0.40	1493	1555
6	SWRH47A	0.48	0.49	0.03	0.03	0.23	0.03	0.13	0.15	0.13	0.44	1490	1555
7	SWRH47B	0.48	0.71	0.03	0.03	0.23	0.03	0.13	0.15	0.13	0.45	1489	1555
8	SWRH52A	0.53	0.49	0.03	0.03	0.23	0.03	0.13	0.15	0.13	0.49	1486	1550
9	SWRH52B	0.53	0.71	0.03	0.03	0.23	0.03	0.13	0.15	0.13	0.50	1485	1550
10	SWRH57A	0.58	0.49	0.03	0.03	0.23	0.03	0.13	0.15	0.13	0.54	1479	1550
11	SWRH57B	0.58	0.71	0.03	0.03	0.23	0.03	0.13	0.15	0.13	0.55	1478	1550
12	SWRH62A	0.63	0.49	0.03	0.03	0.23	0.03	0.13	0.15	0.13	0.59	1476	1545
13	SWRH62B	0.63	0.71	0.03	0.03	0.23	0.03	0.13	0.15	0.13	0.60	1475	1545
14	SWRH67A	0.68	0.49	0.03	0.03	0.23	0.03	0.13	0.15	0.13	0.64	1473	1540
15	SWRH67B	0.68	0.71	0.03	0.03	0.23	0.03	0.13	0.15	0.13	0.65	1472	1540
16	SWRH72A	0.73	0.49	0.03	0.03	0.23	0.03	0.13	0.15	0.13	0.69	1469	1535
17	SWRH72B	0.73	0.71	0.03	0.03	0.23	0.03	0.13	0.15	0.13	0.70	1468	1535
18	SWRH77A	0.78	0.49	0.03	0.03	0.23	0.03	0.13	0.15	0.13	0.74	1466	1530
19	SWRH77B	0.78	0.71	0.03	0.03	0.23	0.03	0.13	0.15	0.13	0.75	1465	1530
20	SWRH82A	0.83	0.49	0.03	0.03	0.23	0.03	0.13	0.15	0.13	0.79	1463	1530
21	SWRH82B	0.83	0.71	0.03	0.03	0.23	0.03	0.13	0.15	0.13	0.80	1462	1530
22	1006	0.06	0.45	0.03	0.03	0.15	0.03	0.15	0.18	0.18	0.03	1525	1590
23	1008	0.08	0.55	0.03	0.03	0.15	0.03	0.15	0.18	0.18	0.06	1523	1590
24	1010	0.10	0.45	0.03	0.03	0.15	0.03	0.15	0.18	0.18	0.07	1521	1595
25	1012	0.12	0.45	0.03	0.03	0.15	0.03	0.15	0.18	0.18	0.09	1520	1595
26	1015	0.15	0.45	0.03	0.03	0.20	0.04	0.15	0.18	0.18	0.12	1517	1590
27	1017	0.17	0.45	0.03	0.03	0.20	0.04	0.15	0.18	0.18	0.14	1515	1590
28	1020COMM	0.30	1.50	0.05	0.05	1.00					0.20	1492	1590
29	1022	0.22	0.45	0.03	0.03	0.20	0.04	0.15	0.18	0.18	0.19	1511	1595
30	SWRY11	0.08	0.50	0.02	0.02	0.03	0.03	0.13	0.20	0.18	0.07	1525	1595
31	SD295B	0.27	1.50	0.04	0.04	0.55	0.04	0.20	0.35	0.20	0.22	1495	1590
32	SD345	0.27	1.60	0.04	0.04	0.55	0.04	0.20	0.35	0.20	0.22	1495	1585
33	SD390	0.29	1.80	0.04	0.04	0.55	0.04	0.20	0.35	0.20	0.24	1492	1585
34	1005	0.05	0.35	0.03	0.03	0.10	0.03	0.10	0.12	0.10	0.03	1527	1585
35	CO2/ER70S6	0.08	1.50	0.03	0.02	0.09	0.03	0.08	0.10	0.08	0.09	1520	1585

Pengolahan data dilakukan dengan menentukan variabel dan semesta pembicaraan, dilanjutkan dengan membentuk himpunan *fuzzy*. Penentuan variabel dan semesta pembicaraan diambil dari hasil pengambilan data. Langkah pertama ditentukan variabel dan semesta pembicaraan yang akan dipergunakan dalam perhitungan berdasarkan data–data yang telah diketahui sebelumnya. Variabel dan semesta pembicaraan ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. Penentuan Variabel dan Semesta Pembicaraan

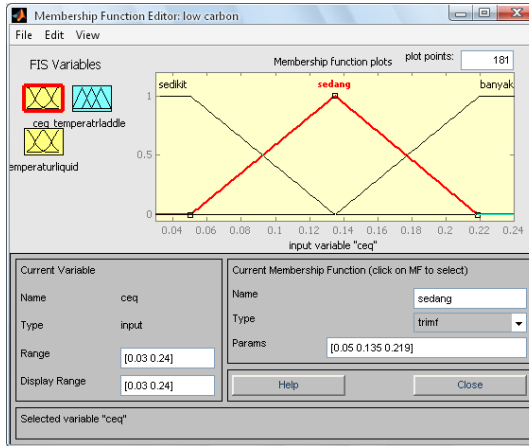
Fungsi	Nama Variabel	Semesta Pembicaraan	Keterangan
Input	<i>Carbon Equivalent</i>	[0.03 - 0.24]	Jumlah <i>Carbon Equivalent</i>
	<i>Liquid Temperature</i>	[1492 - 1527]	Suhu pada saat baja berupa cairan.
Output	<i>Ladle Temperature</i>	[1585 - 1590]	Suhu yang berada dalam ladle

Setelah itu membuat himpunan *fuzzy* yang sesuai dengan variabel dan semesta pembicaraan yang telah ditentukan sebelumnya, selanjutnya adalah membuat fungsi keanggotaan untuk tiap variabel yakni *Carbon Equivalent*, *Liquid Temperature* serta *Ladle Temperature* pada baja *high carbon*.

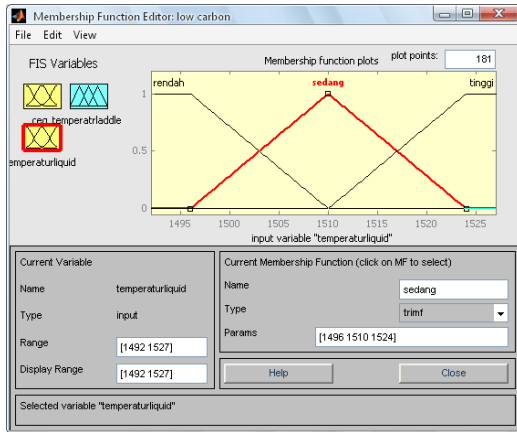
Tabel 3. Himpunan Fuzzy

Fungsi	Variabel	Nama Himpunan Fuzzy	Semesta Pembicaraan	Domain
Input	<i>Carbon Equivalent</i>	Sedikit	[0.03 - 0.24]	0.03 – 0.135
		Sedang		0.05 – 0.22
		Banyak		0.135 – 0.22
	<i>Liquid Temperature</i>	Rendah	[1492 - 1527]	1492 – 1510
		Cukup		1496 – 1524
		Tinggi		1510 – 1527
Output	<i>Ladle Temperature</i>	Rendah	[1585 - 1595]	1585 – 1590
		Cukup		1587 – 1593
		Tinggi		1590 – 1595

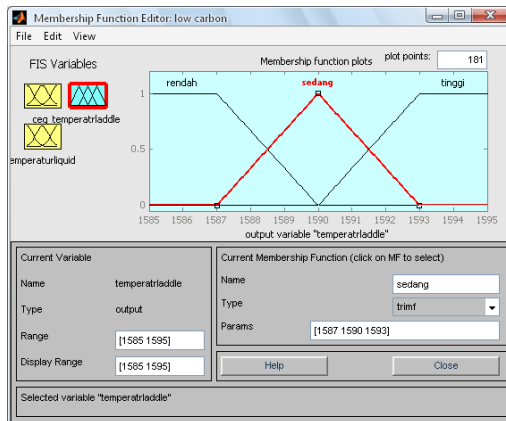
Langkah selanjutnya adalah membuat fungsi keanggotaan untuk tiap variabel yakni *Carbon Equivalent*, *Liquid Temperature* serta *Ladle Temperature* pada baja *high carbon*. Fungsi keanggotaan variabel menggunakan kurva bertipe *trapf* (*Trapezium Member Function*) pada himpunan sedikit-banyak, dan rendah-tinggi.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



Gambar 3. Input Variabel Carbon Equivalent

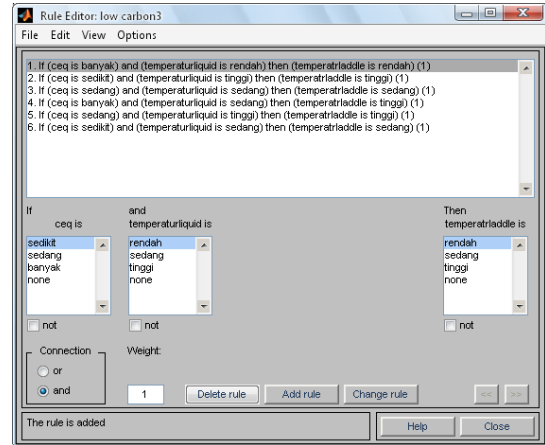


Gambar 4. Input Variabel Liquid Temperature



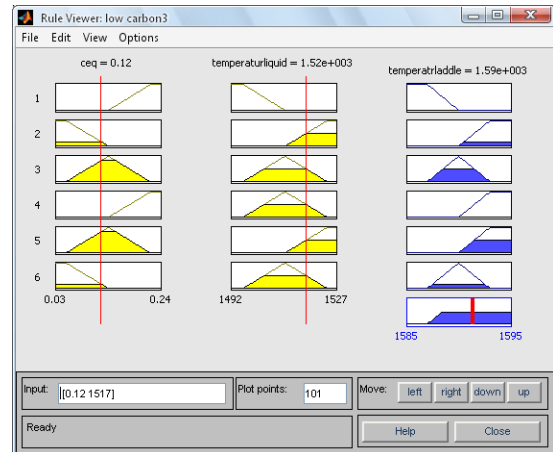
Gambar 5. Output Variabel LadleTemperature

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



Gambar 6. Rule Pada Fuzzyfikasi Baja High Carbon

Langkah terakhir adalah penegasan (defuzzyfikasi). Penegasan dilakukan dengan bantuan *software* matlab 7.5 toolbox fuzzy. Hasil simulasi digambarkan seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Penalaran fuzzy

Gambar tersebut menunjukkan analisis suhu *ladle* yang optimal, dengan kata lain memenuhi syarat bahwa suhu pemanasan yang diberikan relatif sesuai antara praktek dengan lapangan yaitu berkisar antara $1580^{\circ}\text{C} - 1600^{\circ}\text{C}$. Jika menginginkan untuk mengetahui nilai-nilai perbandingan yang lain antara *Ceq* dan *liquid temperature*, dapat dilakukan dengan cara menggeser garis merah sesuai nilai yang diinginkan, atau mengisi kolom input pada bagian bawah dengan nilai *Ceq* dan *liquid temperature* tertentu.

PENUTUP

Kesimpulan

Hasil penelitian ini adalah:

1. Kadar karbon pada proses pengerasan baja akan naik seiring semakin tingginya temperature pembakaran. Bila kadar karbon di permukaan terlalu tinggi maka kekerasan tidak begitu tinggi.
2. Suhu yang optimal untuk baja *high carbon* antara $1585^{\circ}\text{C} - 1595^{\circ}\text{C}$ tergantung pada kandungan *carbon* dan *liquid temperature* pada tiap *grade* nya.

Saran

Efisiensi suhu pada *ladle* sangat bermanfaat bagi suatu perusahaan, karena jika suhu pada *ladle* terlalu tinggi maka akan membuang-buang energi listrik sehingga biaya produksinya juga tinggi, dan jika suhunya terlalu rendah, maka produknya gagal dan akan terbuang dengan sia-sia, dan juga menghambat proses produksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdia Away, Gunaidi. 2006. *Matlab Programing. Bandung: Informatika bandung.*
- Arhami, Muhammad dan Desiani, Anita. 2005. *Pemrograman Matlab. Yogyakarta: ANDI.*
- Bellomo, N. dan Preziosi, L. 1995. *Modelling Mathematical Methods and Scientific Computation. London: CRC Press.*
- http://arisabadi.blogspot.com/2008_09_01_archive.html
- <http://fredi-36-a1.blogspot.com/2009/11/langka-strategis-menghadapi-krisis.html>