

## Optimasi Besarnya Suhu pada *Ladle* untuk Baja *Low Carbon* dengan Metode Fuzzy– Mamdani (Studi Kasus PT. Ispatindo)

*Ikhtisholiyah*

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gresik  
E-mail: [iis.lia89@gmail.com](mailto:iis.lia89@gmail.com)

### ABSTRAK

*Tenaga listrik merupakan sumber energi yang sangat penting bagi kehidupan manusia baik untuk kegiatan industri, kegiatan komersial maupun dalam kehidupan sehari-hari rumah tangga. Energi listrik dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan penerangan dan juga proses produksi yang melibatkan barang-barang elektronik dan alat-alat/mesin industri. Mengingat begitu besar dan pentingnya manfaat energi listrik sedangkan sumber energi pembangkit listrik terutama yang berasal dari sumber daya tak terbarui keberadaannya terbatas, maka untuk menjaga kelestarian sumber energi ini perlu diupayakan langkah-langkah strategis yang dapat menunjang penyediaan energy listrik secara optimal dan terjangkau. Oleh karena itu, kerjasama dan partisipasi berbagai pihak sangat diperlukan untuk mengatasi krisis energi listrik ini. Misalnya saja pada perusahaan baja, dimana pada proses produksinya yakni pemanasan atau perubahan dari scrap ke cairan baja sangat bergantung pada energi listrik. Adapun langkah yang dapat dilakukan oleh sebuah perusahaan untuk menghemat energi tersebut 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 liquid metal tidak dapat dikembalikan lagi. Metode fuzzy – mamdani dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi suhu ladle pada baja low carbon. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan suhu yang optimal untuk baja low carbon antara 1585°C-1595°C tergantung pada kandungan carbon dan liquid temperature setiap grade nya.*

**Kata Kunci:** optimasi, baja *low carbon*, metode fuzzy mamdani.

### 1. PENDAHULUAN

Listrik merupakan kebutuhan dasar manusia. Listrik merupakan jendela peradaban menuju kemajuan suatu bangsa. Dalam penggunaan energi listrik, seharusnya masyarakat mulai berhemat. Sebab, pasokan energi listrik yang berasal dari sumber mineral sudah mulai semakin sedikit dan langka. Penghematan energi juga sangat penting kita lakukan, apalagi mengingat akhir akhir ini telah terjadi krisis energi di dunia.

Seperi yang kita ketahui, perusahaan banyak sekali membutuhkan energi listrik, misalnya perusahaan peleburan baja PT. ISPAT INDO, dimana semua prosesnya membutuhkan tenaga listrik. Dalam hal ini, pada proses produksinya yakni pemanasan atau perubahan dari scrap ke cairan baja sangat bergantung pada energi listrik. Adapun langkah yang dapat dilakukan oleh sebuah perusahaan untuk menghemat energi tersebut 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 dimana 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 lebih lama sehingga mengurangi penggunaan listrik yang nantinya akan menguntungkan pihak perusahaan.

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 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. Sehingga tidak memerlukan data yang sangat detail.

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

## 2. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian optimasi suhu *ladle* pada baja *low carbon* dengan metode fuzzy– mamdani ini berada di Industri peleburan baja PT. ISPATINDO yang terletak di Desa Kedungturi, Kec.Taman, Kab.Sidoarjo, Propinsi Jawa Timur.

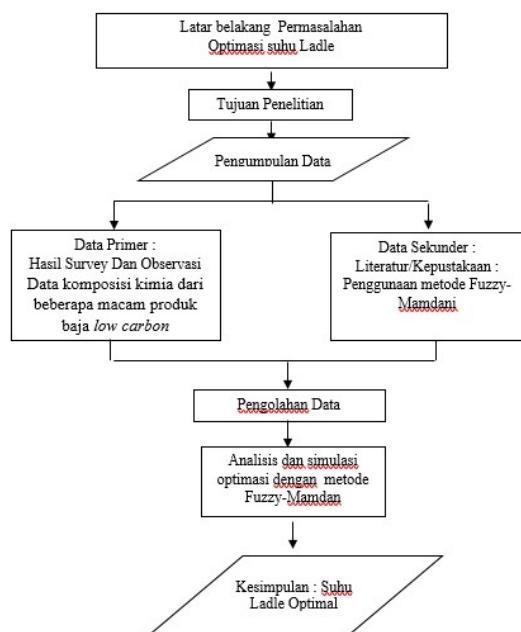
Metodologi yang digunakan adalah sebagai berikut:

### 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. ISPATINDO, khususnya departement SMS (*Steel Melting Shop*).



Gambar 1 Diagram Alur Penelitian

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

PT. ISPAT INDO Merupakan perusahaan kedua di Indonesia setelah PT. Krakatau Steel

Untuk pemenuhan bahan baku coil baja, PT. ISPAT INDO memproses besi tua (Scrap), 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 memproduksi wire rod (*coil*) dengan kualitas tinggi,

maka dalam setiap prosesnya selalu disertai standard mutu.

Menurut komposisi kimianya, baja dapat di bagi 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 pengotoran seperti belerang, oksigen, nitrogen, dan lain-lain yang biasanya ditekan sampai kadar yang sangat kecil.(Amanto,1999)

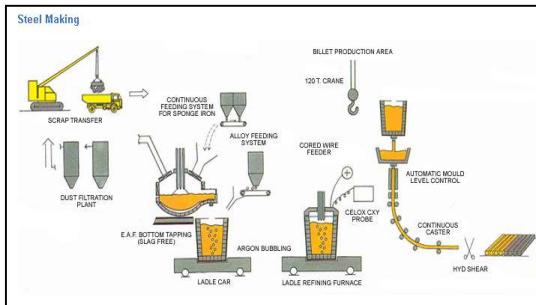
Scrap (besi tua) ditransfer menggunakan truk khusus pengangkat scrap menuju EAF untuk proses peleburan. Setelah scrap mengalami perubahan fase dari padat ke cair, dilakukan proses tapping. Sedangkan slag yang ada di permukaan logam cair dan masih berada di dalam EAF segera dibersihkan guna untuk proses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

Pada saat proses tapping, logam cair di tuang ke dalam ladle untuk dikirim ke LRF. Dan dilakukan argon bubbling untuk menghilangkan oksigen dan gas-gas lain yang ada di dalam logam cair. Kemudian ladle diangkat dengan kapasitas 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 scrap (besi tua) dan biji besi yang diubah menjadi liquid dengan bantuan busur listrik. Peleburan scrap dan biji besi terdiri dari beberapa prosedur diantaranya charging scrap, 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 (*Stell Melting Shop*). Ladle dari EAF (*Electric Arc Furnace*) yang berisi kurang lebih 83 ton cairan baja dibawa ke LRF dengan menggunakan ladle car, di angkat crane, kemdian 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 llain 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 *low carbon*, yaitu sebagai berikut:

**Tabel 1 Data komposisi kimia All Grades**

| No | Grade    | Composition (%) |      |      |      |      |      |      |      | Ceq  | AE   | Liquid Temp. | Ladle Temp. |      |
|----|----------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|-------------|------|
|    |          | C               | Mn   | P    | S    | Si   | Sn   | Cr   | Cu   |      |      |              |             |      |
| 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        | 1570 |
| 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        | 1570 |
| 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        | 1560 |
| 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        | 1555 |
| 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        | 1555 |
| 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        | 1555 |
| 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        | 1555 |
| 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        | 1550 |
| 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        | 1550 |
| 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        | 1550 |
| 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        | 1550 |
| 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        | 1545 |
| 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        | 1545 |
| 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        | 1540 |
| 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        | 1540 |
| 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        | 1535 |
| 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        | 1535 |
| 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        | 1530 |
| 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        | 1530 |
| 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        | 1530 |
| 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        | 1530 |
| 22 | 1006     | 0.06            | 0.45 | 0.03 | 0.03 | 0.15 | 0.03 | 0.15 | 0.18 | 0.18 | 0.03 | 8.38         | 1525        | 1590 |
| 23 | 1008     | 0.08            | 0.55 | 0.03 | 0.03 | 0.15 | 0.03 | 0.15 | 0.18 | 0.18 | 0.06 | 8.88         | 1523        | 1590 |
| 24 | 1010     | 0.10            | 0.45 | 0.03 | 0.03 | 0.15 | 0.03 | 0.15 | 0.18 | 0.18 | 0.07 | 8.43         | 1521        | 1595 |
| 25 | 1012     | 0.12            | 0.45 | 0.03 | 0.03 | 0.15 | 0.03 | 0.15 | 0.18 | 0.18 | 0.09 | 8.43         | 1520        | 1595 |
| 26 | 1015     | 0.15            | 0.45 | 0.03 | 0.03 | 0.20 | 0.04 | 0.15 | 0.18 | 0.18 | 0.12 | 9.23         | 1517        | 1590 |
| 27 | 1017     | 0.17            | 0.45 | 0.03 | 0.03 | 0.20 | 0.04 | 0.15 | 0.18 | 0.18 | 0.14 | 9.23         | 1515        | 1590 |
| 28 | 1020COMM | 0.30            | 1.50 | 0.05 | 0.05 | 1.00 |      |      |      |      | 0.20 | 26.25        | 1492        | 1590 |
| 29 | 1022     | 0.22            | 0.45 | 0.03 | 0.03 | 0.20 | 0.04 | 0.15 | 0.18 | 0.18 | 0.19 | 9.23         | 1511        | 1595 |
| 30 | SWRY11   | 0.08            | 0.50 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.13 | 0.20 | 0.18 | 0.07 | 6.21         | 1525        | 1595 |
| 31 | SD295B   | 0.27            | 1.50 | 0.04 | 0.04 | 0.55 | 0.04 | 0.20 | 0.35 | 0.20 | 0.22 | 21.08        | 1495        | 1590 |

|    |            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      |
|----|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|
| 32 | SD345      | 0.27 | 1.60 | 0.04 | 0.04 | 0.55 | 0.04 | 0.20 | 0.35 | 0.20 | 0.22 | 21.58 | 1495 | 1585 |
| 33 | SD390      | 0.29 | 1.80 | 0.04 | 0.04 | 0.55 | 0.04 | 0.20 | 0.35 | 0.20 | 0.24 | 22.58 | 1492 | 1585 |
| 34 | 1005       | 0.05 | 0.35 | 0.03 | 0.03 | 0.10 | 0.03 | 0.10 | 0.12 | 0.10 | 0.03 | 6.65  | 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 | 11.52 | 1520 | 1585 |

Pengolahan data dilakukan dengan menentukan variabel dan semesta pembicaraan, dilanjutkan dengan membentuk himpunan *fuzzy*. Penentuan variabel dan semesta pembicaraan dari hasil pengambilan data. Langkah selanjutnya adalah membuat fungsi keanggotaan untuk tiap variabel yakni *Carbon Equivalent*, *Liquid Temperature* serta *Ladle Temperature* pada baja *low carbon*.

Pertama-tama ditentukan variabel dan semesta pembicaraan yang akan dipergunakan dalam perhitungan berdasarkan data – data yang telah diketahui sebelumnya. Variabel dan semesta pembicaraan ditunjukkan pada tabel 2. 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**

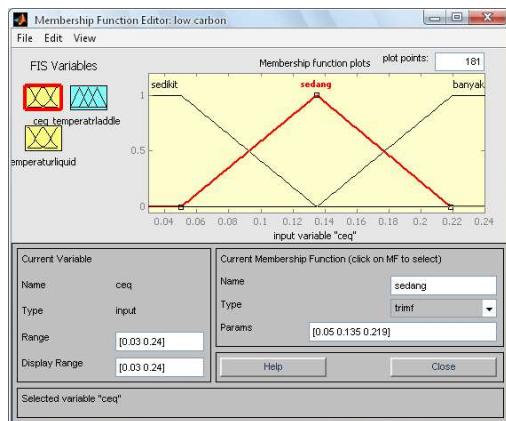
| Fungsi | Nama Variabel            | Semesta Pembicaraan | Keterangan   |
|--------|--------------------------|---------------------|--|
| Input  | <i>Carbon Equivalent</i> | [0.03 - 0.24]       | Jumlah <i>Carbon Equivalent</i> Suhu pada saat baja berupa cairan. |
| Output | <i>Ladle Temperature</i>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

**Tabel 3 Himpunan Fuzzy**

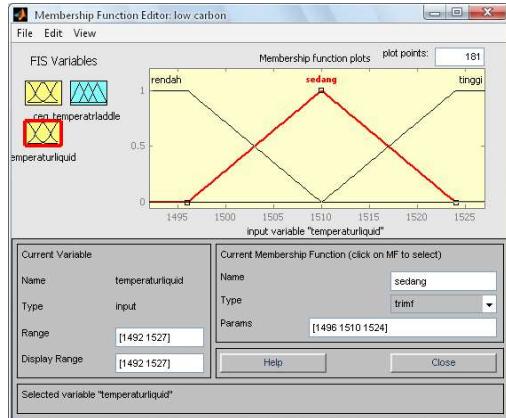
| Fungsi | Variabel                  | Nama Himpunan Fuzzy | Semesta Pembicaraan | Domain       |
|--------|---------------------------|---------------------|---------------------|--------------|
| Input  | <i>Carbon Equivalent</i>  | Sedikit             | [0.03 – 0.24]       | 0.03 – 0.135 |
|        |                           | 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 *low carbon*. Fungsi keanggotaan variabel menggunakan kurva bertipe trapez (Trapesium Member Function) pada himpunan sedikit-banyak, dan rendah-tinggi. Tipe trimf (Triangular Memberfunction) pada himpunan sedang

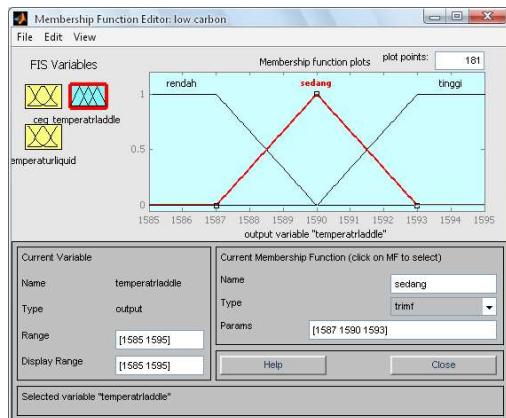
dan cukup. Yang berbeda hanya *range*-nya saja. Hal ini dapat dilihat pada gambar 3, gambar 4, dan gambar 5



Gambar 3 Input Variabel Carbon Equivalent

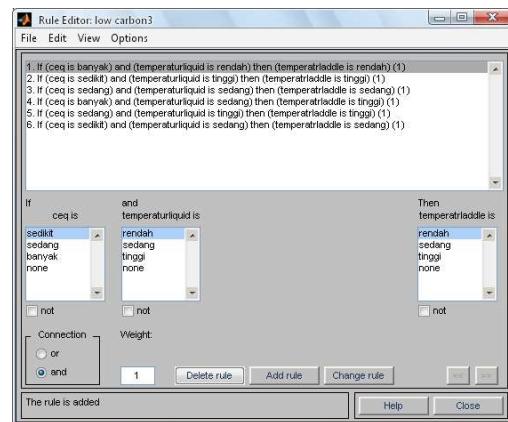


Gambar 4 Input Variabel Liquid Temperature



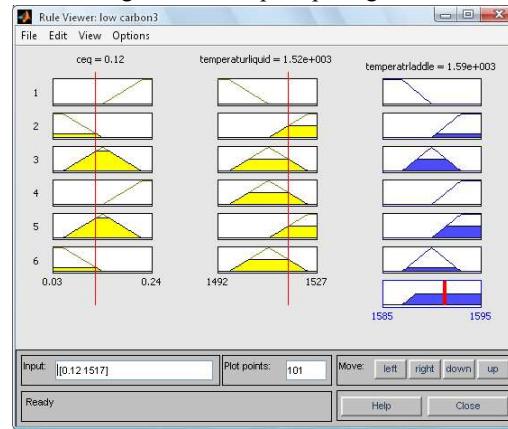
Gambar 5 Output Variabel Ladle Temperature

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 Fuzzyifikasi Baja Low Carbon

Langkah terakhir adalah penegasan (defuzzyifikasi). Penegasan dilakukan dengan bantuan *software matlab 7.5 toolbox fuzzy*. Hasil simulasi digambarkan seperti pada gambar 6



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.

#### 4. KESIMPULAN

Kadar karbon pada proses pengerasan baja, akan naik dengan semakin tingginya temperatur. Bila kadar karbon diperlakukan terlalu tinggi maka kekerasan tidak begitu tinggi. Suhu yang optimal untuk baja *low carbon* antara  $1585^{\circ}\text{C}$ - $1595^{\circ}\text{C}$  tergantung pada kandungan carbon dan liquid temperature setiap grade nya.

---

**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://arisabadi.blogspot.com/2008_09_01_archive.html)  
<http://fredi-36-a1.blogspot.com/2009/11/langkah-strategis-menghadapi-krisis.html>