

Pengaruh Konveksi dan Radiasi Termal Terhadap Penurunan Temperatur Billet Baja Dalam Sistem Transportasi Billet Baja

Prayudi¹⁾ Efy Yosrita²⁾

1) Teknik Mesin STT-PLN Jakarta, 2) Teknik Informatika STT-PLN Jakarta,
Menara PLN Jl. Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi Cengkareng Jakarta Barat, 11750
email: prayudi.sttpln@yahoo.com email: yosrita_ryanto@yahoo.co.id

Abstrak

Salah satu permasalahan utama dalam proses produksi pembuatan batang kawat (*wire rods*) pada *Wire Roads Mill* (WRM) di PT. Krakatau Stell Tbk, adalah penurunan temperatur yang cukup signifikan pada transportasi billet baja dari *Billet Steel Plant* (BSP) ke WRM. Pendinginan terjadi melalui konveksi panas dari udara, yang dikondusikan pada billet baja, dan tidak adanya produksi panas pada billet. Salah satu opsi untuk meminimalkan kehilangan panas billet adalah membuat *HotBoxBillet*. Dari hasil ekperimental, dengan *HotBoxBillet* temperatur billet baja dapat dikondisikan memenuhi persyaratan pada proses WRM. Paper ini bertujuan untuk mempelajari efek batas kombinasi konveksi dan radiasi termal dengan membuat simulasi secara numerik penurunan temperatur billet pada proses transportasi yang divalidasi hasil penelitian eksperimental. Simulasi menggunakan persamaan perpindahan panas konduksi pada kondisi transien, dengan batas konveksi dan radiasi termal, dan koefisien perpindahan panas konduksi konstan. Metode komputasi menggunakan metode beda hingga. Dari hasil simulasi numerik ini diperoleh parameter yang dapat digunakan untuk verifikasi dan validasi dari hasil ekperimental rancangan desain Hot Box Billet. Simulasi numerik digunakan program MATLAB.

Keywords : Billet baja, perpindahan panas konveksi, konduksi dan radiasi termal

Pendahuluan

Penelitian tentang laju penurunan temperatur secara transient pada billet baja telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Salah satunya dilakukan oleh, L. Buchori, Y Bindar dan Istadi. Pada penelitian tersebut bertujuan mempelajari efek kondisi batas kombinasi konveksi dan radiasi termal pada komputasi proses pendinginan slab baja dengan metode komputasi Volume Hingga. Metode komputasi ini diaplikasikan untuk menyelesaikan model perpindahan panas transien dua dimensi karena sulitnya penyelesaian secara analitis. Dari penelitian disimpulkan bahwa metode komputasi volume hingga (*FiniteVolume*) merupakan metode komputasi yang tangguh untuk menyelesaikan persoalan-persoalan perpindahan panas transien baik satu dimensi, dua dimensi, bahkan tiga dimensi. Pada kasus-kasus tertentu dengan bentuk geometri yang bagaimanapun, metode ini tetap lebih tangguh. Pada kasus-kasus yang melibatkan kondisi-kondisi batas radiasi termal atau kombinasi konveksi dan radiasi termal, maka pemilihan metode linierisasi suku sumber pada persamaan aljabar kondisi batas sangat menentukan realitas dari hasil simulasi. (Buchori, 2000). Sedangkan dan perpindahan panas konduksi transien

dengan batas konveksi pada billet baja, khususnya untuk kasus dua dimensi, juga telah digunakan untuk menggambarkan laju perubahan panas pada Billet baja. Dari simulasi dengan program Matlab diperoleh hasil bahwa perpindahan konveksi dari udara sekitar cukup berpengaruh pada laju penurunan temperatur Billet baja dalam jangka waktu yang cukup lama. (Prayudi, 2013). Penurunan temperatur juga terjadi pada pembuatan kawat pada industri baja PT. Krakatau Stell. Temperatur billet rata-rata yang keluar dari sistem *roller caster* pada BSP adalah 900°C, dan turun menjadi 130°C sebelum dibawa ke WRM. Kehilangan panas dan dua cara yakni pendinginan melalui konveksi panas dari udara, dan konduksi panas ke bed pendinginan. Bed pendinginan ikut berkontribusi kehilangan panas Billet baja yang cukup berarti, dan panas ini tidak dimanfaatkan (Tusy, 2006).

Penelitian eksperimen untuk mempelajari perilaku penurunan temperatur Billet baja juga telah dilakukan oleh BTMP BPPT dalam program otomasi industri baja. Tim Peneliti Program Otomasi mengkondisikan sistem transportasi billet baja dalam skala laboratorium dengan tiga perlakuan, yakni pertama sistem transportasi tanpa isolasi pendinginan, kedua

isolasi pendinginan dengan mengkondisikan billet dilewatkan pada hot tunnel tertentu, dengan tujuan mengisolasi panas, yang ketiga adalah membuat *Hot box* didesain dalam keadaan *close system* yang digunakan sebagai isolator untuk menahan panas dari *billet* yang telah keluar dari BSP agar temperaturnya tetap dalam keadaan kondisi yang tinggi sebelum *unloading*. (BTMP BPPT, 2010).

Hasil penelitian eksperimental tersebut belum dilakukan validasi secara numerik. Paper ini mencoba membuat analisis laju penurunan temperatur baja pada proses transportasi billet baja dengan menggunakan hukum *Fouriers* tentang perpindahan panas konduksi pada kondisi transient, dengan batas konveksi dan radiasi termal. Pada paper ini syarat batas yang digunakan dalam simulasi numerik ini adalah kondisi yang dilakukan oleh Tim Otomisasi Industri Baja BTMP BPPT.

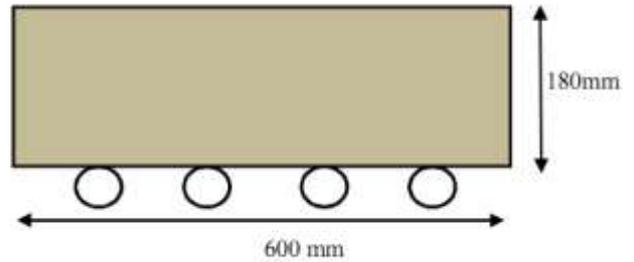
Kondisi Batas Konveksi dan Radiasi Termal

Salah satu billet baja produksi PT Krakatau Steel (Tbk), berdimensi 130mm x 130 mm sampai 180 mm x 180 mm dan panjangnya 9m, yang dapat dianggap panjang sekali, sehingga perpindahan panasnya dua dimensi terjadi pada sisi penampang billet. Dimensi billet baja digunakan berukuran, (180x180x600) mm diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Billet Baja dan Tray

Pemodelan yang digunakan untuk kasus dua dimensi dari Gambar 1, dapat digambarkan pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Penampang Dua Dimensi Billet Baja
Penelitian eksperimental dilakukan Tim Otomisasi BTMP BPPT pada kondisi pendinginan natural pada temperatur ambien 32°C , dengan kecepatan angin 3,5-5,0m/s, temperatur billet turun dari 700°C menjadi 200°C dalam jangka waktu 60 menit. Pada kondisi billet diisolasi dalam suatu terowongan, temperatur lingkungan 34°C , temperatur turun menjadi 300°C . Dan dalam hot box, temperatur sekitar naik 40°C dan dalam jangka waktu 1 jam temperatur turun menjadi 500°C (BTMP-BPPT, 2010). Karakteristik billet baja yang digunakan berjenis baja karbon rendah dengan kerapatan $\rho = 7.795 \text{ kg/m}^3$, $C_p = 0,475 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$, dan konduktivitas termalnya antara $k_1 = 33 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, $k_2 = 32 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, dan $k_3 = 31 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$.

Simulasi Numerik Metode Beda Hingga

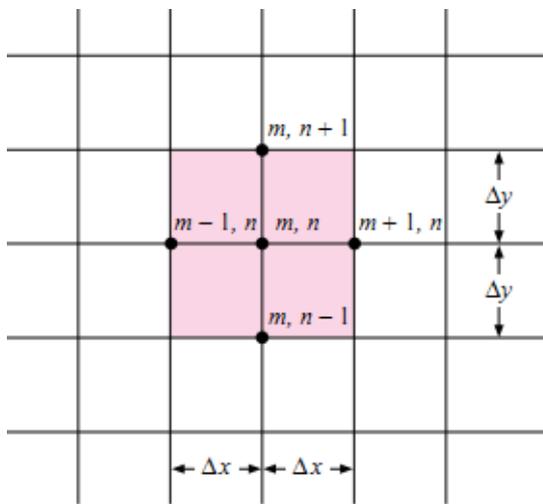
Penggunaan metode beda hingga (*Finite difference methode*) dilakukan dengan cara mengganti koefisien persamaan differensial dengan koefisien beda (*difference*), skema beda (*diffrencescheme*) merupakan suatu pendekatan dari suatu derivatif pada suatu titik menggunakan nilai kolektif dari titik sekitarnya yang dibagi atas tiga skema yaitu : skema sentral (*centerscheme*), skema beda maju (*forwarddiffrencescheme*) dan skema beda mundur. Metode beda hingga dengan skem Crank-Nicolson juga digunakan oleh Purwadi PK, pada penelitian Efisiensi dan Efektivitas Sirip Longitudinal dengan Profil Siku Empat Keadaan Tak Tunak Kasus 2D (Purwadi, 2008). Rita P Khotimah dan Masduki menggunakan metode beda hingga untuk menyelesaikan persamaan Poisson dan Laplace. Hasilnya dapat disimpulkan bahwa penyelesaian persamaan Poisson dan Laplace dengan metode beda hingga order empat dan full multigrad lebih akurat dan efisien dibandingkan penyelesaian dengan metode Jacobi (Khotimah, 2009).

Simulasi numerik dengan metode beda hingga dengan skem Crank-Nicolson yang akan disajikan pada paper ini adalah simulasi penurunan temperatur billet baja berbentuk empat persegi panjang pada kondisi pendingin natural, kondisi billet baja dimasukkan dalam tunel, dan billet dimasukkan dalam

hotbox. Ketiga perlakuan ini akan berdampak padaperbedaan koefisien konveksi, radiasi termal dan udara sekitar yang merupakan syarat batas. Persamaan diferensial parsial yang menyatakan perpindahan panas pada kondisi transient diberikan oleh,

$$k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) = \rho C_p \frac{dT}{dt} \quad (1)$$

Dengan pendekatan metode beda hingga, volume atur yang digunakan pada bagian dalam yang diberikan oleh Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Notasi Skim Numerik Noda Dalam

Gradient temperatur pada (1) dengan metode beda hingga ini didekati dengan ekspansi deret Taylor,

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \approx \frac{T_{m-1,n} - 2T_{m,n} + T_{m+1,n}}{(\Delta x)^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \approx \frac{T_{m,n-1} - 2T_{m,n} + T_{m,n+1}}{(\Delta y)^2} \quad (3)$$

Sedangkan gradient temperatur terhadap waktu pada (1) dapat didekati dengan,

$$\frac{\partial T}{\partial t} \approx \frac{T_{m,n}^{p+1} - T_{m,n}^p}{\Delta t} \quad (4)$$

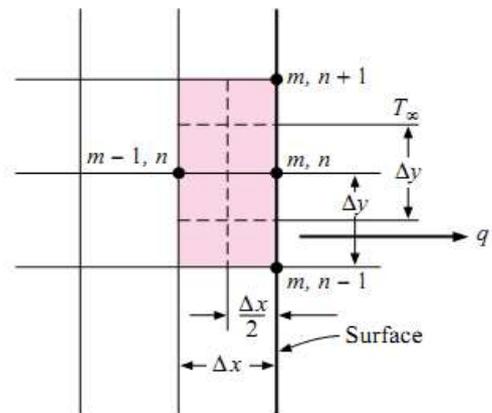
Dengan asumsi $\Delta x = \Delta y$, dan $\alpha = k/\rho \cdot C_p$, jika disubstitusikan (2), (3) dan (4) pada (1) diperoleh,

$$T_{m,n}^{p+1} = \frac{\alpha \Delta t}{(\Delta x)^2} \left(T_{m+1,n}^p + T_{m-1,n}^p + T_{m,n+1}^p + T_{m,n-1}^p \right) + \left[1 - \frac{4\alpha \Delta t}{(\Delta x)^2} \right] T_{m,n}^p \quad (5)$$

Kesetimbangan fluks panas pada bagian sisi-sisi maupun sudut, yang batasnya konveksi dipaksakan dan radiasi termal, diperoleh dengan membuat kesetimbangan panas pada noda (m,n) seperti pada Gambar 4, bahwa jumlah energi konduksi, konveksi, dan radiasi sama dengan gradient temperatur energi dalam pada node tersebut. Secara umum kesetimbangan energinya diberikan oleh persamaan,

$$\rho C_p \frac{dT}{dt} = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + hA(T_w - T_f) + F\sigma(T_w^4 - T_f^4) \quad (6)$$

Dengan pendekatan metode beda hingga, volume aturnya pada sisi batas konveksi dan radiasi termal skim numeriknya disajikan pada Gambar 4 berikut ini.

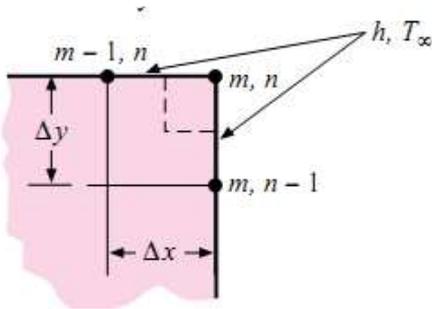


Gambar 4. Notasi Skim Numerik Batas Konveksi dan Radiasi

Dengan menggunakan persamaan (2)-(4) dan persamaan (5), perubahan temperatur di sisi batas diberikan oleh,

$$T_{m,n}^{p+1} = \frac{\alpha \Delta t}{(\Delta x)^2} \left(2 \frac{h \Delta x}{k} T_f + 2T_{m-1,n}^p + T_{m,n+1}^p + T_{m,n-1}^p \right) + \frac{\alpha \Delta t}{(\Delta x)^2} \left[\frac{(\Delta x)^2}{\alpha \Delta t} - 2 \frac{h \Delta x}{k} - 4 \right] T_{m,n}^p + \frac{F\sigma}{\rho C_p} \left(T_{m,n}^p{}^4 - T_f^4 \right) \quad (7)$$

Selanjutnya skim numerik untuk bagian sudut yang batasnya konveksi dan radiasi termal disajikan pada Gambar 5. Berikut ini.



Gambar 5. Notasi Skim Numerik Bagian Sudut

Dengan menggunakan persamaan (2), (3), (4) dan persamaan (6), berdasarkan skim numerik sisi-sisi sudut yang diberikan oleh Gambar 5, perubahan temperaturnya dihitung dengan rumus,

$$T_{m,n}^{p+1} = \frac{2\alpha\Delta t}{(\Delta x)^2} \left\{ \left(2\frac{h\Delta x}{k}T_f + 2T_{m-1,n}^p + T_{m,n-1}^p \right) + \left[\frac{(\Delta x)^2}{\alpha\Delta t} - 4\frac{h\Delta x}{k} - 4 \right] T_{m,n}^p \right\} + \frac{F\sigma}{\rho Cp} \left(T_{m,n}^p - T_f^4 \right) \quad (8)$$

Berdasarkan persamaan (5), (7) dan (8), selanjutnya disusunlah sistem persamaan linier untuk menghitung laju penurunan temperatur sebagai fungsi dari waktu. Dalam bentuk vektor matrik sistem persamaan linier yang akan digunakan untuk mencari temperatur billet bajabentuk,

$$\mathbf{T}(k+1) = \mathbf{A} + \mathbf{B}\mathbf{T}(k) \quad (9)$$

dimana $\mathbf{T}(k+1)$ adalah matrik kolom berukuran $(mn \times 1)$, \mathbf{A} matrik kolom berukuran $(mn \times 1)$, \mathbf{B} matrik bujur sangkar berukuran $(mn \times mn)$ dan $\mathbf{T}(k)$ adalah matrik kolom berukuran $(mn \times 1)$.

Asumsi-asumsi yang digunakan sebagai syarat batas berdasarkan kondisi penelitian eksperimental yang dilakukan oleh BTMP BPPT yaitu :

- 1) Perpindahan panas konduksi hanya dua dimensi pada arah sumbu x dan sumbu y, dimana $x=600\text{mm}$ dan $y=180\text{mm}$, $dx=dy=0,02\text{m}$, sehingga jumlah titik pengamatan temperatur adalah berbentuk matrik berukuran (10×30) ;
- 2) Sifat-sifat fisis dan termal billet baja homogen, pada kasus ini diasumsikan konduktivitas termalnya $k_1=31 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, $k_2=32 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ $k_3=33 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ kerapatannya $\rho=7795 \text{ kg/m}^3$, dan $C_p=0.475 \text{ kJ/kg}$;

- 3) Temperatur lingkungan atau temperatur fluida konstan, bukan sebagai fungsi waktu, temperatur fluida diasumsikan 32°C pada kondisi tanpa isolasi, dan 34°C dengan isolasi termal, dan 40°C dalam hot box;
- 4) Temperatur awal dimulainya simulasi adalah 700°C , dan lama waktu simulasi adalah 3600 detik, dengan $dt=10$ detik.
- 5) Koefisien perpindahan panas konveksi h tergantung pada temperatur fluida sekitar, yakni antara $10-70 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Algoritma komputasi numerik metode beda hingga yang digunakan adalah sebagai berikut.

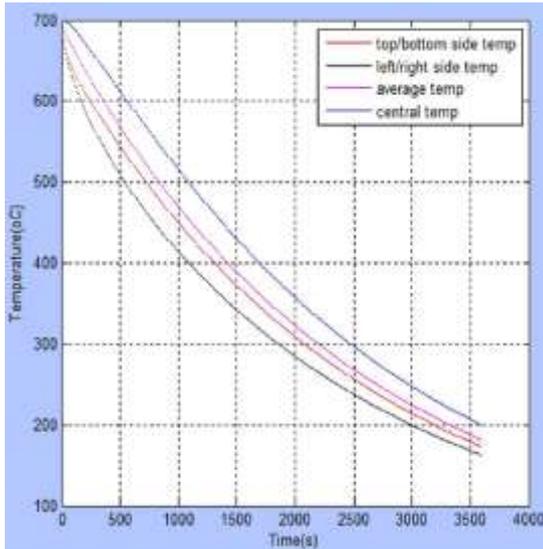
1. Mulai;
2. Baca data-data dx, ρ, C_p, k, h ;
3. Cek nilai $Fo, Fo(2+Bi), Fo(1+Bi)$;
4. Baca data T_f, T_o dan time
5. Set time=3600; $dt=10$
6. Set dimensi matrik
7. Hitung temperatur $T(x,y)$ dan rata-rata $T(x,y)$
8. Cetak temperatur rata-rata sebagai fungsi waktu
9. Set time=time+dt
10. Cetak peta kontur temperatur pada akhir iterasi
11. Selesai

Laju penurunan temperatur yang akan disimulasi adalah laju perubahan temperatur pada kondisi penurunan dipaksakan, lingkungan dikondisikan terisolasi, dan transportasi dalam hot box.

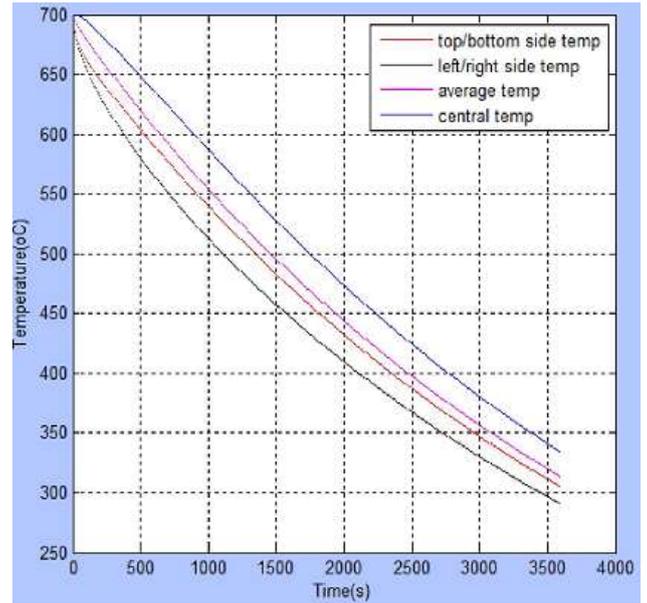
Hasil dan Pembahasan

Simulasi Penurunan Temperatur Tanpa Isolasi

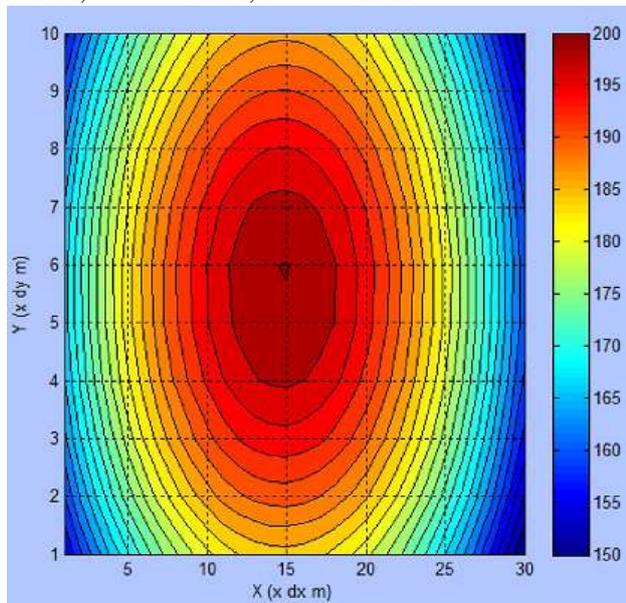
Pada kondisi lingkungan tanpa isolasi, syarat batas yang digunakan untuk simulasi adalah $T_f=32^\circ\text{C}$, $T_w=700^\circ\text{C}$, $k=33 \text{ W/m.K}$, $h=60 \text{ W/m}^2\text{K}$, dan waktu simulasi 3600 detik, hasil simulasinya diperlihatkan pada Gambar 6 dan 7 berikut ini.



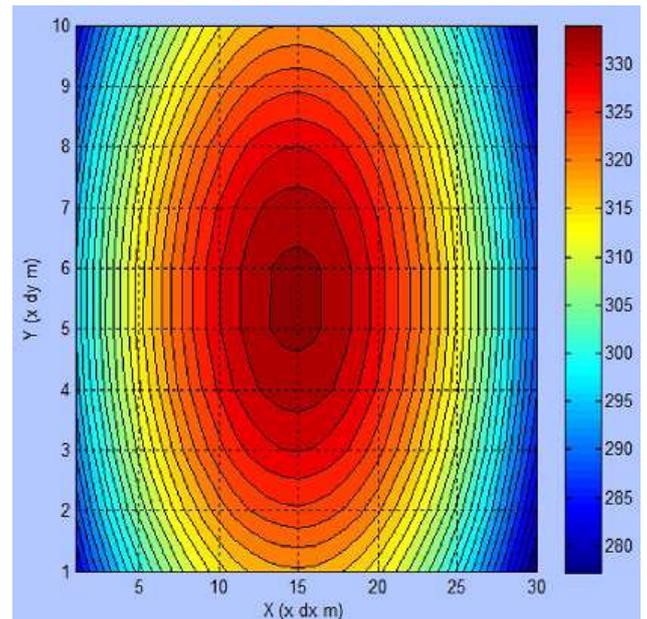
Gambar 6. Laju Penurunan Temperatur Tanpa Isolasi, $k=33 \text{ W/m.K}$, $h=60 \text{ W/m}^2\text{K}$



Gambar 8. Laju Penurunan Temperatur Dengan Isolasi, $k=32 \text{ W/m.K}$, $h=30 \text{ W/m}^2\text{K}$



Gambar 7. Peta kontur dua dimensi setelah 3600 s, $k=33 \text{ W/m.K}$, $h=60 \text{ W/m}^2\text{K}$



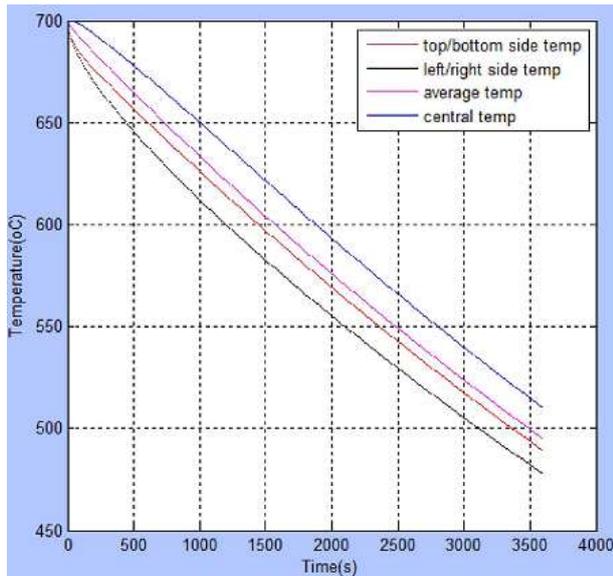
Gambar 9. Peta kontur dua dimensi setelah 3600 s, $k=32 \text{ W/m.K}$, $h=30 \text{ W/m}^2\text{K}$

Simulasi Penurunan Temperatur Dengan Isolasi

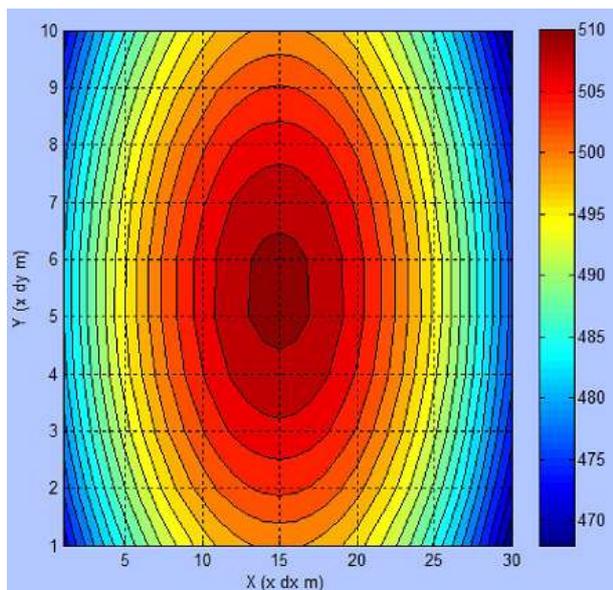
Pada kondisi lingkungan yang isolasi artinya transportasi billet baja melalui suatu terowongan, syarat batas yang digunakan untuk simulasi adalah $T_f=34^\circ\text{C}$, $T_w=700^\circ\text{C}$, $k=32 \text{ W/m.K}$, $h=30 \text{ W/m}^2\text{K}$, dan waktu simulasi 3600 detik, hasil simulasinya diperlihatkan pada Gambar 8 dan 9 berikut ini.

Simulasi Penurunan Temperatur Hot Box

Pada kondisi lingkungan yang isolasi sempurna artinya transportasi billet baja dimasukkan dalam suatu hot box, syarat batas simulasi adalah $T_f=40^\circ\text{C}$, $T_w=700^\circ\text{C}$, $k=31 \text{ W/m.K}$, $h=10 \text{ W/m}^2\text{K}$, dan waktu simulasi 3600 detik, hasil simulasinya diperlihatkan pada Gambar 10 dan 11 berikut ini.



Gambar 10. Laju Penurunan Temperatur Dalam Hot Box, $k=31 \text{ W/m.K}$, $h=10 \text{ W/m}^2\text{K}$



Gambar 11. Petakontur Dalam Hot Box, $k=31 \text{ W/m.K}$, $h=10 \text{ W/m}^2\text{K}$

Dari Gambar 6, 8 dan 10 untuk bagian sisi-sisi ujungnya yang berbatasan dengan udara luar, khususnya disisi kanan dan kiri temperturnya langsung turun sedangkan pada bagian dalam dan temperatur rata-ratanya turunnya relatif belum tajam. Penurunan temperturny atidak linier, tetapi mengikuti fungsi eksponensial atau mendekati polynomial ordetiga. Dari Gambar 6, setelah 3600 detik temperature turun menjadi 180°C , atau rata-rata temperatur billet baja turun $8,67^\circ\text{C}$ per menit. Dari Gambar 10, temperature turun menjadi 305°C , atau rata-rata temperatur billet turun $6,58^\circ\text{C}$ per menit, dan dari Gambar 10 temperatur turun menjadi 490°C

atau rata-rata turun $3,5^\circ\text{C}$ per menit. Dari peta kontur pada Gambar 7, 9 dan 11 terlihat setelah 3600 detik, terlihat bahwa rata-rata temperatur di bagian ujung-ujung billet lebih rendah daripada pada bagian atas dan bawah billet, sedangkan temperature pada bagian dalam lebih tinggi atau lebih panas. Hasil simulasi ini relevan dengan hasil penelitian eksperimental yang dilakukan oleh Tim Otomisasi BTMP BPPT, yakni bahwa dalam jangka waktu 3600 detik temperatur billet turun dari 700°C menjadi 200°C , pada kondisi tanpa isolasi dan turun menjadi sekitar 310°C pada kondisi ada isolasi termal. Dari Gambar 11, memperlihatkan peta kntour pada $t=3600$ detik, temperatur billet baja berkisar pada 470°C - 510°C , hal ini sudah memenuhi persyaratan hasil eksperimental, dimana temperatur Billet Baja setelah 3600 detik masih diatas 500°C

Dari Gambar 6, 8 dan 10, dan syarat batas untuk simulasi terlihat bahwa temperatur udara sekitar, koefisien konveksi, dan koefisien perpindahan panas konduksi berpengaruh pada penurunan temperatur billet baja. Setiap penurunan koefisien koveksi sebesar $10 \text{ W/m}^2\text{.K}$, temperatur billet baja pada $t=3600$ detik rata-rata naik sebesar 60°C . Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan kondisi lingkungan system transportasi billet yang berdampak pada temperature udara sekitar akan mempengaruhi besar kecilnya koefisien konveksi. Semakin kecil koefisien perpindahan konveksi dampak dari temperature udara sekitar, dan radiasi termal maka akan mengakibatkan kenaikan temperatur billet baja, artinya adalah untuk membuat agar supaya temperatur billet baja tetap tinggi yang perlu diperhatikan adalah koefisien perpindahan konveksi, infiltrasi udarasekitar agar koefisienkonveksitetaprendah.

Parameter-parameter dalam simulasi ini dapat digunakan sebagai salah satu acuan awal untuk menentukan desain Hot Box Billet Baja. Atas dasar hasil simulasi ini, dalam membuat desain Hot Box Billet Baja yang perlu diperhatikan adalah besarnya koefisien perpindahan konveksi, yang dipengaruhi oleh temperatur udara sekitar dan besarnya pengaruh radiasi termal. Desain Hot Box Billet baja sedapat mungkin dapat mencegah terjadinya inflitrasi masuknya udara sekitar, sehingga perpindahan panas konveksi dibuat serendah mungkin. Mengacu hasil penelitian dari TIM BTMP, bahwa desain Hot Box yang diisolasi dapat mencegah penurunan temperatur Billet Baja menjadi 500°C setelah 3600 detik, hal ini menunjukkan bahwa perpindahan panas konveksi yang rendah cukup signifikan dan radiasi termal mempengaruhi temperatur Billet Baja.

Kesimpulan dan Saran

Dari hasil simulasi terlihat bahwa penurunan temperatur billet baja secara signifikan dipengaruhi oleh koefisien perpindahan konveksi, dan radiasitermal, dan kondisi lingkungan system transportasi. Temperatur billet rata-rata turun $3,5^{\circ}\text{C}$ - $8,67^{\circ}\text{C}$ per menit dalam jangka waktu 1 jam.

Simulasi numerik ini didasarkan pada pendekatan model perpindahan panas dua dimensi, dengan asumsi batas konveksi, radiasitermal dan koefisien perpindahan panas konduksi konstan, oleh karena itu untuk mendapatkan hasil optimal disarankan model dikembangkan dengan asumsi batas konveksi dan radiasitermal, serta koefisien perpindahan panas konveksi dan konduksi merupakan fungsi dari waktu.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini mendapatkan dana hibah dari DIKTI melalui skim Desentralisasi Penelitian Dosen Muda Pemula untuk tahun anggaran 2013. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Ir. Supriadi Legino, selaku Ketua STT-PLN dan Dr. Ir. Mohammad Hafidz, M.Eng. Sc, selaku Ketua STT-PLN atas perhatian dan sumbangsuhnya sehingga penulis mendapatkan dana hibah penelitian dosen pemula.

DaftarPustaka

Buchori, L; Y Bindar, dan Isadi, 2000, *Komputasi Perpindahan Panas Konduksi Dua Dimensi Untuk Konveksi dan Radiasi Termal*, Proseding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses, Teknik Kimia Universitas Diponegoro, p.F5.1-F5.8,.

Hoffman, Joe D, 2001, *Numerical Methods for Engineers and and Scientists*, Second Edition Revised and Expanded, Marcel Dekker, New York, 2001

Holman, Jack Philip, 2010, *Heat Transfer*, Tenth Edition, MacGraw Hill, USA

Jaan Kiusalaas, Jaan; 2005, *Numerical Methods In Engineering With MATLAB*, Cambridge University Press, Singapore

Khotimah, Rita P dan Masduki, 2009 *Penerapan Metode Beda Hingga Order Empat dan Full*

Multigrid Untuk Menyelesaikan Persamaan Poisson dan Lapalace, Jurnal Penelitian Sains & Teknologi, Vol. 10, No. 1, 2009 pp 68 - 74

Prayudi dan Efy Yosrita, 2013, Simulation Model Transient Heat Transfers in Hot Box Billet Steel, Proseding, "The 13-th International Conference On QiR, ISSN 1411-1284. A.24 pp. 51-58.

Purwadi, PK, 2008, *Efisiensi dan Efektivitas Sirip Longitudinal Dengan Profil Siku Empat Keadaan Tak Tunak Kasus 2D*, Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi-IST AKPRIND Yogyakarta, pp.25-30

Patankar, Suhas V, *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, Tylor and Francis, 1980

Tusy A. Adibroto, and Widiatmini Sih Winanti, 2006 *Recovering waste heat through billet transportation system Modification*, GERIAP National Focal Point for Indonesia, 2006

Yang, Won Young; Cao, Wen Wu; Chung Tae-Sang; Morri, John, 2005 *Applied Numerical Methods Using MATLAB*, A John Wiley and Sons Inc. Publication, USA, 2005

-----, BTMP BPPT, 2010, *Kajian Simulasi Hot Charging Billet Baja*,