

Model dan Algoritma Temperatur Fluida pada Plat Rata Vertikal Reaktor Nuklir TRIGA 2000

Fluid Temperature Models and Algorithms on the Vertical Flattened Plate of The TRIGA 2000 Nuclear Reactor

¹Nindy Aprilliani Komara, ²Yani Ramdani, ³Respitawulan

^{1,2,3}Prodi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Bandung, Jl. Tamansari No.1 Bandung 40116

email: ¹nindyakomara@gmail.com, ²yaniramdani66@gmail.com, ³respitawulan@gmail.com

Abstract. In Indonesia, the TRIGA 2000 nuclear reactor is being developed as power plant. Temperature can affect the performance of the power plant system. Mathematical formulations for the temperature is needed to determine the fluid temperature which value will be varied between the wall temperature and water temperature. The size of the boundary layer is one of the factors that can determine the fluid temperature value in a natural convection process. In the natural convection process, the momentum equations, energy equations and continuity equations are used to generate boundary layer equations, which then be used to calculate the fluid temperature value. The formula of fluid temperature model then implemented into algorithms. The algorithm is using the Matlab programming language to calculate fluid temperature. The results using analytic and algorithm give the same fluid temperatures value which indicate that the temperature value of fluid would be between the temperature value of the walls and the temperature value of the boundary layer or the water temperature in the fluid.

Keywords: Temperature Fluid, Boundary Layer, Natural Convection, Nuclear Reactor TRIGA 2000.

Abstrak. Reaktor nuklir TRIGA 2000 di Indonesia sedang dikembangkan dalam bidang pembangkit daya oleh Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan (PSTNT) Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Temperatur dapat mempengaruhi kinerja dari sistem pembangkit daya. Formulasi matematika untuk temperatur dibutuhkan agar dapat mengetahui besarnya temperatur fluida yang berada di antara temperatur dinding dan temperatur air. Besar lapisan batas merupakan salah satu faktor yang dapat menentukan nilai temperatur fluida dalam proses konveksi alamiah. Pada proses konveksi alamiah berlaku persamaan momentum, persamaan energi dan persamaan kontinuitas yang dapat menghasilkan persamaan lapisan batas, kemudian model lapisan batas digunakan untuk menghitung nilai temperatur fluida. Model yang dihasilkan diimplementasikan ke dalam suatu algoritma. Algoritma tersebut digunakan dalam bahasa pemrograman Matlab untuk menghitung temperatur fluida. Dari hasil perhitungan secara analitik dan menggunakan program memberikan hasil yang sama untuk dan nilai temperatur fluida tersebut akan berada di antara nilai temperatur dinding dan nilai temperatur tebal lapisan batas atau temperatur air dalam fluida.

Kata Kunci: Temperatur Fluida, Lapisan Batas, Konveksi Alamiah, Reaktor Nuklir TRIGA 2000.

A. Pendahuluan

PSTNT BATAN sedang mengembangkan pemanfaatan reaktor nuklir TRIGA 2000 yang dimilikinya untuk pembangkit daya. Dalam operasi sistem pembangkit daya pendingin adalah syarat yang sangat mutlak. Hal ini disebabkan sistem pembangkit daya akan menghasilkan energi dalam bentuk panas. Agar tidak terjadi akumulasi panas dalam sistem tersebut perlu dilakukan pendinginan. Pendinginan suatu sistem tergantung pada proses perpindahan panas yang

terjadi dari sumber panas ke fluida pendingin. Aliran fluida pendingin jenisnya berbeda-beda. (Ridhwan dkk, 2016) menyebutkan bahwa aliran *unsteady-state* merupakan aliran tak tunak yang terjadi pada sebagian besar aliran fluida. Seperti halnya pada aliran fluida pada system pembangkit daya. Penelitian mengenai aliran fluida juga telah dilakukan oleh (Permanasari dkk, 2014).

Adanya pemanas dan pendingin mengakibatkan perpindahan panas. Perpindahan panas jenisnya berbeda

ada konduksi, konveksi dan radiasi. Sebe-lumnya telah dilakukan penelitian oleh (Miladi dkk, 2016) mengenai sterilisasi yang mana salah satu terapan dalam ilmu perpindahan panas secara konduksi. Perpindahan panas pada pembangkit daya dominan dengan perpindahan panas konveksi khususnya konveksi alamiah.

Temperatur fluida penting untuk diketahui karena jika temperatur terlalu tinggi maka akan terjadi kerusakan pada alat-alat yang digunakan. Namun tempe-ratur terlalu rendah juga tidak baik karena mengakibatkan kurangnya reaksi sehingga daya yang dihasilkan kecil. Temperatur pada fluida salah satunya dipengaruhi oleh tebal lapisan batas. Menurut Ramdani (2006) menyebutkan bahwa dalam sains, seperti Fisika, Kimia, Ekonomi, dan sebagainya mate-matika digunakan sebagai bahasa dan alat bantu. Model matematika digunakan dalam berbagai bidang rekayasa missal-nya dalam (Harahap dkk, 2016), (Fadillah dkk, 2017), dan (Gunawan dkk, 2019). Model matematika dibutuhkan untuk menghitung tempe-ratur fluida agar dapat dihitung besarnya nilai temperatur fluida tersebut.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka akan dicari bagaimana formulasi temperatur fluida pada plat rata vertikal Reaktor Nuklir TRIGA 2000 dan implementasi formula terhadap algoritma dalam MATLAB.

B. Landasan Teori

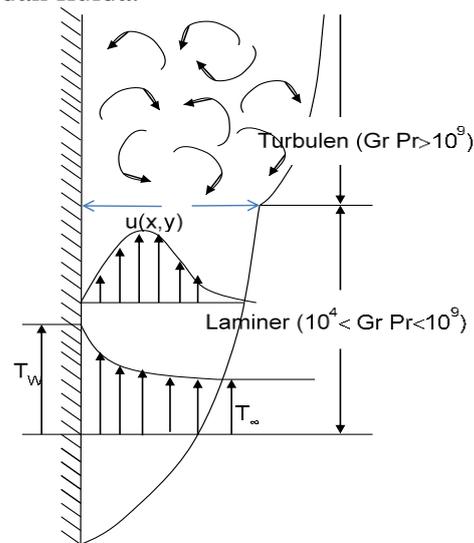
Reaktor Nuklir TRIGA 2000

Reaktor nuklir TRIGA 2000 adalah reaktor nuklir pertama yang beroperasi di Indonesia. Reaktor nuklir ini berada di PSTNT (Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan) BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional) yang bertempat di Jalan Tamansari No.71 Bandung. Reaktor nuklir pertama kali

dioperasikan pada tahun 1965. TRIGA merupakan singkatan dari Training Research Isotope Production by General Atomic. Sedangkan 2000 menunjukkan kapasitas daya reaktor maksimum bisa mencapai 2000 kilo Watt thermal. Dari pertama kali beroperasi reaktor nuklir ini digunakan untuk penelitian dan pengembangan dalam upaya penguasaan tekno-logi reaktor dan produksi radio isotop. Radioisotop adalah unsur yang bersifat radioaktif yang dapat digunakan di bidang medis untuk melakukan pemerik-saan secara anatomi dan morfologi organ tubuh. Selain itu radioisotop juga dapat digunakan untuk pengobatan penyakit tumor dan kanker.

Konveksi Alamiah

Konveksi alamiah merupakan salah satu jenis dari perpindahan panas konveksi yang mana aliran fluida di-sebabkan oleh adanya variasi massa jenis yang selalu diikuti dengan perbe-daan temperatur dalam fluida. Rahardjo (2017) menyebutkan dalam konveksi alamiah aliran yang dapat terjadi laminar atau turbulen, tergantung jarak tepi depan, sifat-sifat fluida, gaya badan dan beda temperatur antara permukaan dan fluida.



Gambar 1. Konveksi alamiah pada plat rata vertikal

Pada gambar diatas dapat dinyatakan sumbu x adalah jarak arah vertikal dan sumbu y merupakan jarak arah horizontal. Pada saat posisi di dinding plat ($y = 0$), maka temperatur fluida sama dengan temperatur dinding plat atau disebut dengan temperatur wall (T_W). Selanjutnya, semakin jauh dari posisi dinding plat hingga ke tebal lapisan batas fluida ($y = \delta$), maka temperatur fluida dinyatakan dengan temperatur pada lapisan batas atau disebut dengan temperatur tak hingga (T_∞). Berlaku juga saat $y = \delta$, maka temperatur menjadi konstan sehingga turunan dari temperatur fluida terhadap y akan bernilai 0. Keadaan tersebut merupakan syarat batas dari distribusi temperatur dapat disimbolkan sebagai berikut:

$T = T_W$ pada $y = 0$, $T = T_\infty$ pada $y = \delta$, dan $\frac{\partial T}{\partial y} = 0$ pada $y = \delta$

Pada saat posisi di dinding plat ($y = 0$), maka kecepatan rata-rata dalam arah x dan kecepatan rata-rata dalam arah y bernilai nol ($u = 0, v = 0$). Selanjutnya, semakin jauh dari posisi dinding plat hingga ke tebal lapisan batas fluida ($y = \delta$), maka nilai kecepatan rata-rata dalam arah x bernilai nol ($u = 0$). Berlaku juga saat $y = \delta$, maka kecepatan rata-rata menjadi konstan sehingga turunan dari kecepatan rata-rata terhadap y akan bernilai 0. Keadaan tersebut merupakan syarat batas dari distribusi kecepatan dapat disimbolkan sebagai berikut:

$u = 0, v = 0$ pada $y = 0$, $u = 0$ pada $y = \delta$, dan $\frac{\partial u}{\partial y} = 0$ pada $y = \delta$

(Kreith, 1986) menyebutkan bahwa persamaan-persamaan gerakan untuk aliran lapisan batas dapat di peroleh dengan keseimbangan massa dan keseimbangan gaya serta momentum. Aliran laminar pada konveksi alamiah memiliki gerakan kecepatan partikel tenang dan teratur sedangkan pada aliran turbulen gerakan kecepatan partikelnya terjadi secara acak

dan tidak teratur. Walaupun pada keadaan laminar mempunyai gerakan kecepatan partikel teratur bukan berarti pada lapisan ini tidak mempunyai momentum, energi dan kontinuitas. Pada proses konveksi alamiah, dapat dikatakan bahwa di dalamnya mengandung momentum, energi, dan kontinuitas. Tiga reaksi tersebut di konversi ke dalam suatu persamaan yaitu:

Persamaan momentum

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = - \frac{\partial P}{\partial x} - \rho g + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

Persamaan energi

$$\rho C_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = k \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}$$

Persamaan kontinuitas

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \text{ atau } \frac{\partial u}{\partial x} = - \frac{\partial v}{\partial y}$$

Perbedaan temperatur mengakibatkan adanya aliran temperatur dari satu bahan ke bahan lain. Jika terdapat dua bahan yang mempunyai perbedaan temperatur maka akan terjadi aliran dari temperatur yang tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Sistem pembangkit daya mempunyai keadaan seperti itu, maka dapat dikatakan bahwa dalam sistem tersebut mengandung distribusi temperatur. Distribusi temperatur pada sistem tersebut mempunyai grafik menurun. Dalam sistem tersebut temperatur merupakan salah satu hal yang harus diperhatikan. Hal tersebut dikarenakan temperatur dapat mempengaruhi kerja sistem. Apabila temperatur terlalu tinggi akan mengakibatkan akumulasi panas yang berlebih sehingga dapat merusak lingkungan sekitar. Sebaliknya, apabila temperatur terlalu rendah maka aktivitas sistem tidak akan stabil sehingga sistem tidak dapat menghasilkan daya yang diinginkan. Temperatur fluida dalam sistem pembangkit daya salah satunya dipengaruhi oleh tebal lapisan batas. Dengan kondisi seperti itu maka diperlukan persamaan mengenai tebal lapisan batas yang ada pada sistem tersebut. Hubungan tempe-

ratur fluida dan tebal lapisan batas pada sistem berbanding terbalik.

Rahardjo dan Wardhani (2015) menyebutkan bahwa lapisan batas merupakan daerah berlapis-lapis yang terbentuk dari tepi depan permukaan perpindahan panas, sifat fluida seperti viskositas, rapat massa dan lainnya akan berubah-ubah sesuai dengan perubahan temperaturnya dan di sebut sebagai lapisan batas termal.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Formulasi Temperatur Fluida

Sistem pembangkit daya pada reaktor nuklir didominasi oleh perpindahan panas. Hal tersebut terjadi karena adanya perbedaan suhu pada sistem tersebut. Perpindahan panas yang terjadi pada sistem pembangkit daya tersebut adalah perpindahan panas konveksi alamiah. Terjadinya konveksi alamiah dapat mengakibatkan terbentuknya tebal lapisan batas. Tebal lapisan batas sangat diperlukan dalam sistem pembangkit daya. Tebal lapisan batas digunakan untuk menghitung temperatur fluida pada pembangkit daya tersebut, temperatur ini sangat penting karena jika temperatur dalam sistem pembangkit terjadi akumulasi panas berlebih maka akan mengakibatkan terpancarnya ion-ion yang membahayakan lingkungan sekitar. Untuk itu perlu di ketahui formulasi model temperatur fluida. Sailah (2010) mengasumsikan distribusi temperatur sebagai fungsi parabola berikut :

$$\frac{T-T_{\infty}}{T_w-T_{\infty}} = a + by + cy^2 \quad \dots (1)$$

Pada gambar 1 dapat dinyatakan sumbu x adalah jarak arah vertikal dan sumbu y merupakan jarak arah horizontal. Pada saat posisi di dinding plat ($y = 0$), maka temperatur fluida sama dengan temperatur dinding plat atau disebut dengan

temperatur wall (T_w). Kondisi tersebut dapat disimbolkan dengan:

$$y = 0, \text{ maka } T = T_w$$

Jika di substitusi ke persamaan (1) maka akan diperoleh:

$$\begin{aligned} \frac{T_w-T_{\infty}}{T_w-T_{\infty}} &= a \\ a &= 1 \quad \dots (2) \end{aligned}$$

semakin jauh dari posisi dinding plat hingga ke tebal lapisan batas fluida ($y = \delta$), maka temperatur fluida dinyakan dengan temperatur pada lapisan batas atau disebut dengan temperatur tak hingga (T_{∞}). Kondisi tersebut dapat di simbolkan dengan:

$$y = \delta, \text{ maka } T = T_{\infty}$$

Jika disubstitusikan ke persamaan (1) maka akan diperoleh:

$$\begin{aligned} \frac{T_{\infty}-T_{\infty}}{T_w-T_{\infty}} &= a + b\delta + c\delta^2 \\ a + b\delta + c\delta^2 &= 0 \\ 1 + b\delta + c\delta^2 &= 0 \\ c\delta^2 + b\delta &= -1 \quad \dots (3) \end{aligned}$$

Berlaku juga saat $y = \delta$, maka temperatur menjadi konstan sehingga turunan dari temperatur fluida terhadap y akan bernilai 0. Kondisi tersebut dapat disimbolkan dengan:

$$y = \delta, \frac{\partial T}{\partial y} = 0$$

Jika disubstusi ke persamaan (1) maka akan diperoleh:

$$\begin{aligned} \frac{T-T_{\infty}}{T_w-T_{\infty}} &= a + by + cy^2 \\ T - T_{\infty} &= (T_w - T_{\infty})a + by + cy^2 \\ T &= (T_w - T_{\infty})a + by + cy^2 + T_{\infty} \\ \frac{\partial T}{\partial y} &= (T_w - T_{\infty})(b + 2cy) + 0 \\ (T_w - T_{\infty})(b + 2cy) &= 0 \text{ untuk } y = \delta \\ 2c\delta + b &= 0 \\ b &= -2c\delta \quad \dots (4) \end{aligned}$$

Lalu substitusikan persamaan (4) ke persamaan (3) akan diperoleh:

$$\begin{aligned} c\delta^2 + (-2c\delta)\delta &= -1 \\ c\delta^2 - 2c\delta^2 &= -1 \\ -c\delta^2 &= -1 \\ c &= \frac{1}{\delta^2} \quad \dots (5) \end{aligned}$$

Substitusi persamaan (2), persamaan (4) dan persamaan (5) ke persamaan (1)

maka akan diperoleh persamaan distribusi temperatur yaitu:

$$\frac{T-T_{\infty}}{T_w-T_{\infty}} = a + by + cy^2$$

$$\frac{T-T_{\infty}}{T_w-T_{\infty}} = 1 - 2\left(\frac{y}{\delta}\right) + \left(\frac{y}{\delta}\right)^2$$

$$\frac{T-T_{\infty}}{T_w-T_{\infty}} = \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^2$$

Maka didapat persamaan distribusi temperatur sebagai berikut:

$$\frac{T-T_{\infty}}{T_w-T_{\infty}} = \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^2$$

Untuk mengetahui temperatur fluida (T) atau temperatur yang berada diantara temperatur dinding dan temperatur tak hingga maka persamaan (T) adalah sebagai berikut:

$$T - T_{\infty} = \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^2 (T_w - T_{\infty})$$

$$T = \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^2 (T_w - T_{\infty}) + T_{\infty} \quad \dots(6)$$

Temperatur dapat diketahui apabila nilai tebal lapisan batas (δ) diketahui, maka dari itu dibutuhkan pula formulasi tebal lapisan batas yang diperoleh dari proses konveksi alamiah. Holman (1998) menyebutkan bahwa persamaan tebal lapisan batas dapat diturunkan dari tiga persamaan yaitu persamaan momentum, persamaan energi, dan persamaan kontinuitas sehingga menghasilkan:

$$\delta = 3,93 Pr^{-1/2} \left(\frac{20}{21} + Pr\right)^{1/4} \left(\frac{g\beta(T_w-T_{\infty})}{\nu^2}\right)^{-1/4} x^{1/4} \quad \dots(7)$$

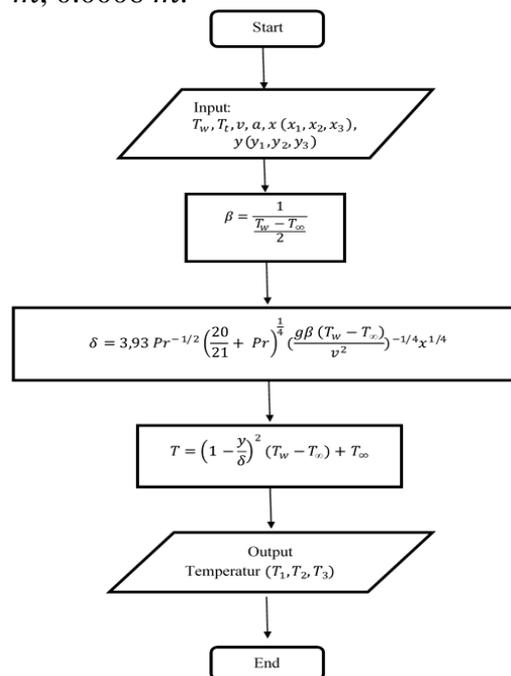
Algoritma Temperatur Fluida

Perhitungan tebal lapisan batas akan dihitung dengan program yang dibuat menggunakan *software* MATLAB. Adapun flowchart untuk algoritma temperatur fluida dapat dilihat pada gambar 2.

Contoh Kasus

Contoh kasus di butuhkan agar dapat mengetahui lebih lanjut program yang telah dibuat untuk menghitung besarnya temperatur fluida. Ittaqa (2017) menyebutkan bahwa dalam hasil penelitiannya di dapat data karakteristik

T_w berturut-turut pada titik 1, titik 2 dan titik 3 adalah 52.6°C, 46.3°C, dan 50.3°C. Temperatur tak hingga (T_{∞}) sebesar 24°C. Viskositas kinematik (ν) air sebesar $0.553 \times 10^{-6} m^2/s$. Difusitas termal (a) sebesar $0.143 \times 10^{-6} m^2/s$. Mempunyai jarak di sumbu x atau di sumbu vertikal pada 0.133 m, 0.266 m, dan 0.4 m. Jarak pada sumbu y atau sumbu horizontal pada 0.0004 m, 0.0005 m, 0.0006 m.



Gambar 2. Flowchart untuk algoritma temperatur fluida

Untuk validasi program yang telah dibuat maka diperlukan perhitungan secara manual atau analitik agar dapat diketahui galat atau kesalahan yang ada pada program tersebut. Berikut merupakan hasil dari perhitungan temperatur fluida menggunakan cara perhitungan analitik.

Nilai β yang diperoleh pada tiga titik berturut-turut adalah:

$$\beta_1 = 0.0261$$

$$\beta_2 = 0.0284$$

$$\beta_3 = 0.0269$$

Kemudian nilai β digunakan untuk menghitung tebal lapisan batas,

diperoleh nilai tebal lapisan batas secara berturut-turut sebagai berikut:

$$\delta_1 = 0.00080264$$

$$\delta_2 = 0.00099454$$

$$\delta_3 = 0.0011$$

Nilai satuan untuk tebal lapisan batas adalah meter (*m*). Setelah nilai δ didapat maka dapat di hitung nilai temperatur fluidanya yaitu sebagai berikut :

$$T_1 = 31.1971^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 29.5140^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 29.4339^\circ\text{C}$$

Nilai temperatur fluida diatas adalah nilai temperatur fluida yang dihasilkan dengan cara perhitungan analitik. Nilai temperatur fluida berada di antara nilai temperatur dinding permukaan plat dan nilai temperatur tak hingga atau temperatur pada tebal lapisan batas. Setelah menghitung secara analitik dilakukan perhitungan secara numerik yaitu dengan bantuan program yang telah dibuat. Berikut merupakan gambar dari tampilan program untuk menentukan temperatur fluida:

```

Menghitung Temperatur Fluida
-----
Temperatur pada dinding plat (Tw) : [52.6 46.3 50.3]
Temperatur jauh dari plat (Tt) : 24
Viskositas Kinematik (v) : 0.533*10^(-6)
Difusitas termal (a) : 0.143*10^(-6)
Jarak sumbu vertikal (x) : 0.133:0.133:0.40
Tebal lapisan batas yang dihasilkan adalah =
    0.0008    0.0010    0.0011
Jarak sumbu horizontal (y) : 0.0004:0.0001:0.0006
Temperatur fluida yang dihasilkan adalah =
    31.1957    29.5091    29.0794
    
```

Gambar 3. Program perhitungan temperatur fluida

Hasil dari perhitungan temperatur dapat dilihat bahwa temperatur fluida akan lebih rendah dari temperatur dinding plat dan akan lebih besar dari temperatur tak hingga atau temperatur pada tebal lapisan batas. Hasil yang diperoleh pada perhitungan numerik tidak jauh berbeda dengan hasil perhitungan temperatur fluida secara analitik. Nilai dari perhitungan analitik dan numerik berbeda karena pada

perhitungan numerik dilakukan pembulatan terlebih dahulu. Perbedaan nilai tersebut menimbulkan galat dari perhitungan numerik. Galat yang dihasilkan dari kedua perhitungan tersebut adalah sebagai berikut:

Galat untuk tebal lapisan batas:

$$\text{Galat } \delta_1 = 0.3289\%$$

$$\text{Galat } \delta_2 = 0.5490\%$$

$$\text{Galat } \delta_3 = 0\%$$

Galat untuk temperatur fluida:

$$\text{Galat } T_1 = 0.0045\%$$

$$\text{Galat } T_2 = 0.0166\%$$

$$\text{Galat } T_3 = 1.2044\%$$

D. Kesimpulan

Terjadinya konveksi alamiah mengakibatkan adanya tebal lapisan batas dan temperatur fluida yang dapat dihitung dengan formulasi sebagai berikut :

$$T = \left(1 - \frac{y}{\delta}\right)^2 (T_w - T_\infty) + T_w$$

$$\delta = 3,93 Pr^{-\frac{1}{2}} \left(\frac{20}{21} + Pr\right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{g\beta(T_w - T_\infty)}{\nu^2}\right)^{-1/4} x^{1/2}$$

Persamaan diatas dapat dimplementasikan ke dalam algoritma di dalam MATLAB membentuk satu program sehingga dapat diketahui berapa lapisan batas pada titik tertentu dan digunakan untuk menentukan temperatur fluida yang berada diantara temperatur plat dan temperatur pada tebal lapisan batas. Nilai temperatur fluida dapat dikatakan baik karena nilai temperatur fluida lebih kecil dari temperatur dinding dan lebih besar dari temperatur lapisan batas. Validasi program dilakukan dengan mem-bandingkan hasil perhitungan secara analitik dan hasil perhitungan program tersebut. Perhitungan analitik dan perhitungan dengan program menghasilkan nilai temperatur yang tidak jauh berbeda sehingga mengakibatkan galat yang dihasilkan kecil.

E. Saran

Untuk penelitian lebih lanjut, disarankan untuk mengembangkan model dan algoritma yang dapat menentukan tebal lapisan batas dan temperatur keadaan laminar dan keadaan turbulen.

Daftar Pustaka

- Fadhillah, I., Permanasari, Y. dan Harahap, E., 2017. Representasi Matriks untuk Proses Crossover Pada Algoritma Genetika untuk Optimasi Travelling Salesman Problem. *Prosiding Matematika*, 16(1).
- Gunawan, G. and EtiKurniati, I.S., 2019, May. Estimate Model of Totalfertility Rate Base on Effectiveness of Contraceptives. In *PROCEEDINGS The 4th International Conference on Basic Sciences 2018: The Development of Sciences and Technology in Improving Natural and Cultural Resources*. Faculty of Mathematics and Natural Sciences Universitas Pattimura Ambon.
- Harahap, E., Sukarsih, I., Gunawan, G., Fajar, M.Y., Darmawan, D. and Nishi, H., 2016. A Model-Based Simulator for Content Delivery Network using SimEvents MATLAB-Simulink. *INSIST*, 1(1), pp.30-33.
- Holman, Jack, P. 1998. *Perpindahan Kalor (Edisi Indonesia)*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Ittaqa, A. Nurainun. 2017. *Karakteristik Termohidrolis pada Proses Pendinginan Pemanas Pelat Datar secara Eksperimental dan Numerik*. Tidak diterbitkan. Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung.
- Kreith, Frank. 1973. *Prinsip-prinsip Perpindahan panas (Edisi Indonesia)*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Miladi, M.Y. Gunawan, G., dan Respitawulan, R. 2016. Simulasi Konduktivitas Panas pada Balok dengan Metode Beda Hingga. *Prosiding Matematika*. Volume 2. Nomer 2.
- Rahardjo, Henky. 2017. Konveksi Alamiah pada Plat Rata Vertikal. *Jurnal Batan*.
- Rahardjo, Hengky dan Wardhani, V.I.S., 2015. Karakteristik Tebal Lapisan Batas Fluida Nano ZrO_2 di Permukaan Pemanas pada Proses Perpindahan Panas Konveksi Alamiah. *Jurnal Batan*.
- Ramdani, Yani. 2006. Kajian Pemahaman Matematika Melalui Etika Pemodelan Matematika. *MIMBAR: Jurnal Sosial dan Pembangunan*. Volume XXII, No.1.
- Ridhwan, M., Sukarsih, I. dan Respitawulan, R., 2017. Solusi Numerik Distribusi Tekanan dengan Persamaan Difusi Dua Dimensi pada Reservoir Panas Bumi Fasa Air Menggunakan Skema Crank-Nicholson. *Prosiding Matematika*. Volume 2. No.2.
- Permanasari, Y., Respitawulan, R. dan Budiman, I.M., 2014. Pengembangan Model Matematika untuk Aliran Tiga Fasa (gas-minyak-pasir) untuk Optimasi Jaringan Pipa Minyak Kompleks. *Prosiding SNaPP: Sains, Teknologi*, 4(1), pp.147-154.
- Sailah, Siti. 2010. Menentukan Distribusi Temperatur dengan Menggunakan Metode Crank Nicholson. *Jurnal Penelitian Sains*. Jurusan Fisika FMIPA; Universitas Sriwijaya. Volume 13, No.2(B).