

Model dan Algoritma Perhitungan Kecepatan Aliran Fluida Konveksi Alamiah pada Plat Rata Vertikal Reaktor Triga 2000

Model and Algorithm for Calculation of Natural Convection Fluid Flow Velocity on Vertical Flat Plate Triga 2000 Reactor

¹Annisa Nurholipah, ²Yani Ramdani, ³Respitawulan

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

email: ¹annisanhp14@gmail.com, ²yaniramdani66@gmail.com, ³respitawulan@gmail.com

Abstract. The heat transfer problem occurs in the nuclear reactor between the cooling fluid and heating surface is important to maintain the safety of the reactor. The cooling process happened from natural convection and can be studied by the size of the fluid's boundary layer, where the temperature changes occur and changing the fluid properties, so that the fluid flow and velocity also changed. To determine the fluid flow velocity, a mathematical model is developed using momentum equation, energy equation and continuity equation. The model then implemented into algorithm using MATLAB programming language. From the results, it can be seen that the velocity gets higher in proportion with the height of the observation position, up to a point where the flow changed into turbulence pattern.

Keywords: natural convection, flow velocity, algorithm, MATLAB.

Abstrak. Masalah perpindahan panas antara fluida pendingin dengan bidang permukaan pemanas merupakan hal yang penting untuk menjaga keselamatan reaktor nuklir. Pendinginan merupakan salah satu syarat mutlak di dalam operasi suatu sistem pembangkit daya. Hal ini disebabkan karena sistem pembangkit daya akan menghasilkan energi dalam bentuk panas. Pendingin dalam reaktor nuklir terjadi secara konveksi alamiah. Untuk mengetahui kerja pendinginannya dapat dilakukan dengan melihat lapisan batasnya, tempat perubahan temperatur terjadi dan mengakibatkan sifat fluida berubah, sehingga gerakan aliran fluida atau kecepatan aliran juga berubah. Untuk mengetahui kecepatan aliran fluida konveksi alamiah pada plat rata vertikal diperlukan sebuah model yang melibatkan persamaan momentum, persamaan energi dan persamaan kontinuitas. Kemudian model tersebut dapat diimplementasikan dalam bentuk algoritma dan diterapkan menggunakan bahasa pemrograman MATLAB. Dari hasil yang diperoleh bisa dilihat nilai kecepatan aliran semakin tinggi saat posisi penelitian semakin tinggi yang sesuai dengan sifat aliran fluida itu sendiri yaitu aliran fluida dalam plat tersebut mulai membesar sampai suatu titik tempat mulai terjadi aliran turbulen.

Kata Kunci: konveksi alamiah, kecepatan aliran, algoritma, MATLAB.

A. Pendahuluan

Reaktor nuklir pertama di Indonesia yaitu reaktor TRIGA 2000 yang sudah dioperasikan sejak tahun 1965. Sejak awal dioperasikan, Reaktor TRIGA sudah digunakan untuk melakukan penelitian dan pengembangan dalam upaya penguasaan teknologi reaktor dan produksi radioisotop. Selain untuk pengembangan radioisotop reaktor nuklir digunakan untuk banyak tujuan salah satunya untuk membangkitkan tenaga listrik. Pembangkit listrik tidak hanya dapat dibangkitkan dari energi air saja, seperti penelitian yang telah

dilakukan oleh Handayani dkk. (2017) mengenai prediksi produksi energi listrik PLTA. Reaktor TRIGA 2000 mengalami modifikasi dengan tujuan agar mempunyai umur operasi yang lama yaitu dengan mengganti bahan bakar dari tipe silinder menjadi tipe plat. Pengetahuan tentang koefisien perpindahan panas antara fluida pendingin dengan bidang permukaan pemanas merupakan hal yang penting dalam keselamatan reaktor nuklir (Nazar,2016).

Pendinginan merupakan salah satu syarat mutlak di dalam operasi suatu sistem pembangkit daya. Hal ini disebabkan karena sistem pembangkit

daya akan menghasilkan energi dalam bentuk panas. Salah satu cara untuk mengetahui kerja pendinginannya adalah dengan melihat tebal lapisan batasnya. Pada tebal lapisan batas akan terjadi pendinginan secara konveksi alamiah sehingga terjadi perubahan temperatur yang kemudian dapat ditentukan kecepatan aliran lokalnya (Wardhani dan Hengky, 2015). Menurut Ramdani (2006) dalam sains, seperti fisika, kimia, dan ekonomi untuk memformulasikan persoalan diperlukan sebuah model matematika. Model matematika dapat digunakan dalam berbagai bidang rekayasa, misalnya dalam penelitian yang dilakukan oleh Harahap dkk (2016), (Yulianti dan Sukarsih, 2008). Termasuk untuk menentukan kecepatan aliran lokal fluida, diperlukan sebuah model yang berhubungan dengan proses perpindahan panas di permukaan pemanas. Sebelumnya telah dilakukan penelitian oleh Permanasari dkk. (2014) mengenai pengembangan model matematika untuk aliran fluida. Ridhwan dkk. (2016) melakukan penelitian yang sama yaitu untuk mengembangkan pemodelan matematika distribusi tekanan dengan solusi numerik. Kemudian model tersebut dapat diimplementasikan dalam bentuk algoritma dan penerapannya akan dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman MATLAB. Implementasi algoritma dengan menggunakan MATLAB sebelumnya telah dilakukan oleh Priatmoko dan Harahap (2017).

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, tujuan dari penelitian ini yaitu untuk memformulasikan model matematika kecepatan aliran fluida dan menguraikan algoritma dan penerapannya dengan menggunakan bahasa pemrograman MATLAB.

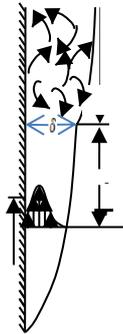
B. Landasan Teori

Reaktor Triga 2000

Reaktor TRIGA 2000 adalah reaktor nuklir pertama di Indonesia yang sudah dioperasikan sejak tahun 1965. Reaktor ini terdapat di Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan (PSTNT) BATAN. TRIGA sendiri merupakan singkatan dari *Training Research Isotope Production by General Atomic*. Sedangkan 2000 menunjukkan kapasitas daya reaktor maksimum bisa mencapai 2000 kilo Watt thermal. Sejak awal dioperasikan, Reaktor TRIGA ini digunakan untuk melakukan penelitian dan pengembangan dalam upaya penguasaan teknologi reaktor dan produksi radioisotop. Pengetahuan tentang koefisien perpindahan panas antara fluida pendingin dengan bidang permukaan pemanas merupakan hal yang penting dalam keselamatan reaktor nuklir. Sehingga untuk mengetahui kerja pendinginannya diperlukan sebuah model yang berhubungan dengan proses perpindahan panas konveksi alamiah di permukaan pemanas.

Konveksi Alamiah

Konveksi alamiah adalah perpindahan panas yang terjadi antara permukaan dengan fluida yang bergerak di atasnya, gerakan fluida tersebut disebabkan langsung oleh gaya apung (*bouyancy forced*) yang timbul akibat perubahan rapat massa. Hasil penelitian Rahardjo (2017) menyatakan bahwa dalam konveksi alamiah, aliran yang terjadi dapat laminar atau turbulen, tergantung pada jarak tepi depan, dan sifat-sifat fluida.

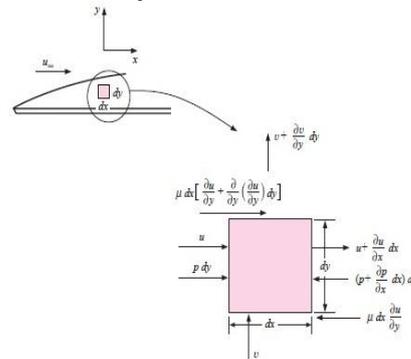


Gambar 1. Konveksi alamiah pada plat rata vertikal

Seperti terlihat pada gambar, dinding kecepatannya adalah nol, karena terdapat kondisi slip atau kondisi tanpa gelincir. Kecepatan itu akan bertambah terus sampai mencapai suatu nilai maksimum, dan kemudian menurun lagi hingga nol pada tepi lapisan batas. Sifat aliran fluida pada konveksi alamiah bisa laminar atau turbulen sesuai dengan pergerakan aliran. Dalam aliran laminar, fluida bergerak secara teratur dan memiliki arus yang berkecepatan rendah atau bergerak dengan kondisi lapisan-lapisan yang membentuk garis-garis alir dan tidak berpotongan satu sama lain. Sedangkan jika aliran fluida bergerak secara acak, tidak teratur dan berkecepatan tinggi maka aliran fluida termasuk aliran yang turbulen.

Gambar 1. memperlihatkan syarat awal dan syarat batas untuk konveksi alamiah pada plat rata vertikal. Untuk distribusi temperatur saat posisi berada pada dinding plat atau $y = 0$, temperatur akan bernilai temperatur dinding itu sendiri atau $T = T_w$ sedangkan jika semakin jauh dari dinding atau menuju tebal lapisan batas yang mana $y = \delta$, maka temperatur bernilai temperatur lingkungan atau $T = T_\infty$ dan temperatur mejadi konstan pada saat $y = \delta$ sehingga $\frac{\partial T}{\partial y} = 0$. Selanjutnya, untuk distribusi kecepatan

pada saat $y = 0$, kecepatan dalam arah x dan kecepatan dalam arah y bernilai nol, atau $u = 0$ dan $v = 0$ sedangkan pada $y = \delta$ kecepatan dalam arah x atau $u = 0$ dan kecepatan arah x menjadi konstan pada saat $y = \delta$ sehingga $\frac{\partial u}{\partial y} = 0$.



Gambar 2. Gaya yang bekerja pada tebal lapisan batas laminar konveksi alamiah plat rata vertikal

Persamaan-persamaan gerakan untuk aliran lapisan batas dapat diperoleh dengan keseimbangan massa dan keseimbangan gaya serta momentum. Seperti yang terlihat pada Gambar 2. dalam gambar tersebut diasumsikan bahwa alirannya adalah aliran dua dimensi, gaya geser dalam arah y dapat diabaikan, perubahan tekanan dalam arah tegak lurus pada permukaan dapat diabaikan, dan fluidanya tak mampu mampat (Kreith, 1986).

Suatu fluida dapat mengalir dikarenakan adanya perbedaan tekanan antara tekanan lingkungan dengan tekanan parsialnya. Pada awal pembentukan lapisan batas, aliran yang terjadi adalah aliran laminar, dan mulai membesar sampai suatu titik dimana mulai terjadi aliran turbulen yang bergantung pada sifat-sifat fluida, sehingga fluida yang mengalir tersebut dapat diketahui kecepatan alirannya.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Formulasi Model Kecepatan Aliran Fluida

Penelitian Wardhani dan Hengky (2015) menyatakan untuk menganalisis kecepatan aliran fluida yang bekerja pada tebal lapisan batas laminer konveksi alamiah pada plat rata vertikal berlaku persamaan momentum, persamaan energi dan persamaan kontinuitas. Persamaan momentum dinyatakan sebagai berikut:

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

dengan:

x = jarak arah vertikal sumbu x [m]

y = jarak arah horizontal sumbu y [m]

u = komponen kecepatan arah sumbu x [m/dt]

v = komponen kecepatan arah sumbu y [m/dt]

g = percepatan gravitasi [m/s²]

ρ = kerapatan (densitas) fluida [kg/m³]

P = tekanan [N/m²]

μ = kekentalan dinamis [Ns/m²]

Distribusi temperatur diperoleh dari persamaan energi sebagai berikut:

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

dengan:

k = konduktivitas termal (W/mk)

C_p = kapasitas panas fluida (Kj/kg C)

T = Temperatur [°C]

Koefisien muai volume didefinisikan:

$$\beta = \frac{(\rho_\infty - \rho)}{\rho(T - T_\infty)} \text{ atau } \beta = \frac{1}{\frac{T_w + T_\infty}{2}}$$

Persamaan kontinuitas didefinisikan:

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

Viskositas dan bilangan prandtl didefinisikan:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \text{ dan } Pr = \frac{v}{\alpha}$$

dengan:

β = koefisien muai volume [1/K]

ν = kekentalan kinematik [m/s²]

T_w = Temperatur permukaan plat [°C]

T_∞ = Temperatur lingkungan [°C]

α = difusivitas termal [m²/s]

ρ_∞ = Densitas fluida dalam keadaan bebas [kg/m³]

Menurut Holman (1998), distribusi temperatur diasumsikan dalam bentuk fungsi parabola yang dinyatakan sebagai berikut:

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

Diasumsikan pula bahwa distribusi kecepatan memiliki bentuk fungsi polinomial y yang dikalikan dengan fungsi sebarang x , dan u_x sendiri adalah kecepatan fiktif yang merupakan fungsi dari x yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{u}{u_x} = a + by + cy^2 + dy^3$$

Dengan syarat batas untuk distribusi temperatur:

$$T = T_w \text{ pada } y = 0$$

$$T = T_\infty \text{ pada } y = \delta$$

$$\frac{\partial T}{\partial y} = 0 \text{ pada } y = \delta$$

Sedangkan syarat batas untuk distribusi kecepatan adalah:

$$u = 0, v = 0 \text{ pada } y = 0$$

$$u = 0 \text{ pada } y = \delta$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} = 0 \text{ pada } y = \delta$$

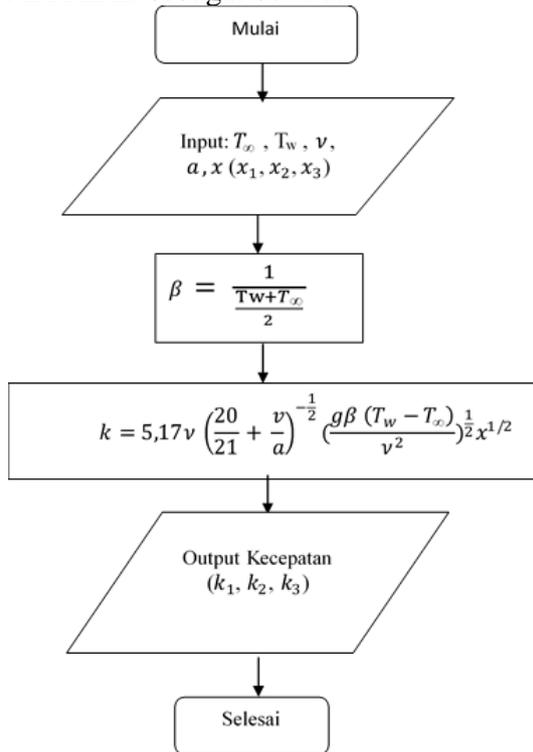
$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = -g\beta \frac{(T_w - T_\infty)}{\nu} \quad \text{pada } y = 0$$

Sehingga diperoleh model kecepatan aliran konveksi alamiah dengan u_x adalah kecepatan dengan fungsi dari x sebagai berikut:

$$u_x = 5,17 \nu \left(\frac{20}{21} + \frac{\nu}{a} \right)^{-\frac{1}{2}} \left(\frac{g\beta(T_w - T_\infty)}{\nu^2} \right)^{\frac{1}{2}} x^{\frac{1}{2}}$$

Algoritma Kecepatan Aliran Fluida

Proses perhitungan kecepatan aliran fluida akan dilakukan secara numerik dengan menggunakan MATLAB dan terlebih dahulu dipaparkan *flowchart* atau diagram alir yang mewakili proses untuk menentukan kecepatan aliran dengan menggunakan *software* MATLAB sebagai berikut:

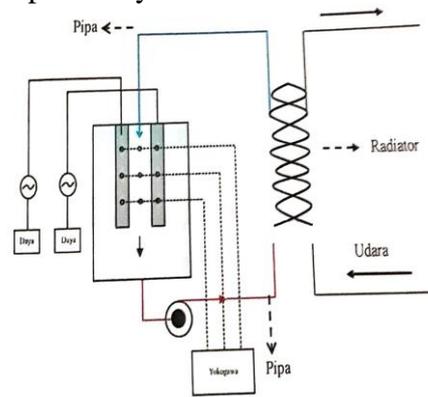


Gambar 3. *Flowchart* untuk menghitung kecepatan aliran dengan menggunakan MATLAB

Contoh kasus:

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu didapatkan dari hasil eksperimen karakteristik termohidrolik

dalam proses pendinginan pemodelan teras reaktor berbahan bakar plat (Ittaqa,2017). Eksprimen ini bertujuan untuk mengukur perubahan distribusi temperatur fluida pada dinding pemanas, kemudian dilakukan pengukuran temperatur dengan menggunakan termokopel yang dipasang sebanyak 9 buah di beberapa titik secara vertikal untuk melihat distribusi temperturnya. Data yang diambil dan akan dicari distribusi temperturnya pada range jarak 0 sampai 0.40 m. Hasil pengukuran distribusi temperatur tersebut dapat digunakan untuk menentukan kecepatan alirannya. Dalam penelitian ini hanya plat sebelah kiri yang diukur distribusi temperturnya.



Gambar 4. Diagram eksperimen secara sederhana

Diketahui data karakteristik yang diperoleh dari hasil eksperimen sebagai berikut:

Tabel 1. Inisiasi dan Data Karakteristik Fluida

Inisiasi dan Data Karakteristik Fluida	Jumlah
T_w , Temperatur permukaan plat [°C]	49.2 °C 43.3 °C 48 °C
T_∞ , Temperatur lingkungan [°C]	24 °C

ν , kekentalan kinematik [m/s ²]	0.553×10^{-6} m/s ²
a , difusivitas termal [m ² /s]	0.14×10^{-6} m/s ²
x , tinggi plat pemanas [m]	0.40 m

Berdasarkan data di atas, akan dicari besarnya nilai kecepatan aliran fluida yang dihitung secara manual atau secara analitik agar diketahui nilai galat atau error dari algoritma yang telah dibuat sebagai berikut:

1. Diketahui nilai $T_w = 49.2 \text{ }^\circ\text{C}$, $T = 24^\circ\text{C}$ dan nilai $\beta = 0.0273$ maka $u_x = 2, 2136 \text{ m/s}$
2. Diketahui nilai $T_w = 43.3 \text{ }^\circ\text{C}$, $T = 24^\circ\text{C}$ dan nilai $\beta = 0,0297$ maka $u_x = 2, 8580 \text{ m/s}$
3. Diketahui nilai $T_w = 48 \text{ }^\circ\text{C}$, $T = 24^\circ\text{C}$ dan nilai $\beta = 0,0278$ maka $u_x = 3, 7762 \text{ m/s}$

Selanjutnya akan dihitung dengan mengoperasikan bahasa pemrograman MATLAB pada contoh kasus diatas sehingga diperoleh hasil yang ditunjukkan oleh Gambar 4. sebagai berikut:

```

Menghitung kecepatan aliran fluida
-----
Temperatur dinding pada plat (Tw)      :[49.2 43.3 48];
Temperatur lingkungan sekitar plat (Tt) :24;
Viskositas kinematik (v)              :0.553.*10^-6;
Difusivitas termal (a)                 :0.14.*10^-6;
Tinggi permukaan plat (x)              :0.1333:0.1333:0.40;
kecepatan aliran pada plat adalah =
      2.2145   2.8584   3.7742
    
```

Gambar 4. Hasil algoritma kecepatan aliran fluida dengan menggunakan MATLAB

Berdasarkan Gambar 4. dapat dilihat bahwa jika termokopel dipasang sebanyak 3 buah pada plat rata vertikal, akan menghasilkan 3 pengukuran temperatur dalam $^\circ\text{C}$ maka kecepatan

aliran akan dihasilkan setiap masing-masing temperatur yang diukur. Dalam hal ini untuk temperatur $49.2 \text{ }^\circ\text{C}$ kecepatan alirannya yaitu 2.2145 m/s sedangkan untuk $43.3 \text{ }^\circ\text{C}$ kecepatan alirannya 2.8584 m/s dan untuk temperatur $48 \text{ }^\circ\text{C}$ kecepatan alirannya 3.7742 m/s .

Hasil perhitungan kecepatan aliran yang dihitung secara manual dan secara numerik memberikan hasil yang tidak terlalu berbeda. Dikarenakan pada perhitungan numerik telah dilakukan pembulatan terlebih dahulu. Pada $T_w = 49.2 \text{ }^\circ\text{C}$ jika dihitung secara manual dan numerik memberikan galat sebesar 0.04% , pada $T_w = 43.3 \text{ }^\circ\text{C}$ memberikan galat sebesar 0.01% , dan pada $T_w = 48 \text{ }^\circ\text{C}$ memberikan galat sebesar 0.05% . Dari hasil yang diperoleh dapat dilihat nilai kecepatan aliran semakin tinggi yang sesuai dengan sifat aliran fluida itu sendiri, yaitu aliran fluida dalam plat tersebut mulai membesar sampai suatu titik dimana mulai terjadi aliran turbulen

D. Kesimpulan

Model matematika aliran fluida konveksi alamiah pada plat rata vertikal reaktor triga 2000 dapat dinyatakan:

$$u_x = 5,17 \nu \left(\frac{20}{21} + \frac{\nu}{a} \right)^{-\frac{1}{2}} \frac{(g\beta(T_w - T_\infty))^{\frac{1}{2}}}{\nu^2} x^{\frac{1}{2}}$$

Model yang diperoleh dikembangkan dengan melibatkan persamaan momentum, persamaan energi dan persamaan kontinuitas serta dengan mensubstitusikan distribusi temperatur dan distribusi kecepatan yang menjadi syarat batas. Kemudian model tersebut dapat diimplementasikan ke dalam algoritma dan penerapannya dengan menggunakan MATLAB. Kemudian dilakukan validasi algoritma dengan menghitung kecepatan aliran secara analitik dan dibandingkan hasilnya dengan perhitungan dengan menggunakan MATLAB. Hasil perhitungan kecepatan aliran yang

dihitung secara analitik dan menggunakan program memberikan hasil yang tidak terlalu berbeda dan memberikan galat presentase yang kecil.

E. Saran

Diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat menggambarkan model yang bisa menentukan kecepatan laminer dan turbulen.

Daftar Pustaka

- Handayani, Y. P dkk. 2018. 'Prediksi Produksi Energi Listrik PLTA Ir. H. Djuanda Menggunakan Algoritma Jaringan Syaraf Tiruan dengan Pendekatan Backpropagation', *Jurnal Matematika*. 4(2)
- 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, J. P. 1998. *Perpindahan Kalor*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Ittaqa, A. Nurainun. 2017. *Karakteristik Termohidrolik pada Proses Pendinginan Pemanas Pelat Datar secara Eksperimental dan Numerik*. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati: Bandung.
- Kreith, F. 1986. *Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Nazar, R. 2016. Nanofluida Al₂O₃-Air di dalam Pipa Anulus Vertikal. *Jurnal BATAN*. 18(1). 21-22
- Permanasari, Y., Respitawulan, R. and 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.
- Priatmoko, A., Erwin, Harahap. 2017. 'Implementasi Algoritma DES Menggunakan MATLAB'. *Jurnal Unisba*. 16(1)
- Rahardjo, H. 2017. 'Konveksi Alamiyah pada Plat Rata Vertikal', *Jurnal BATAN*, 18(3). 16-24
- Rahardjo, H., Whardhani, V.I.S. 2015. Karakteristik Tebal Lapisan Batas Fluida Nano ZrO₂ di Permukaan Pemanas pada Proses Perpindahan Panas Konveksi Alamiyah PSTNT BATAN Bandung. *Jurnal BATAN*. 17(3). 167-170
- Ramdani, Y. 2006. 'Kajian Pemahaman Matematika Melalui Etika Pemodelan Matematika', *Jurnal Matematika*, 22(1).1
- Ridhwan, M dkk. 2016. 'Solusi Numerik Distribusi Tekanan dengan Persamaan Difusi Dua Dimensi pada Reservoir Panas Bumi Fasa Air Menggunakan Skema Crank-Nicholson'. *Jurnal Matematika*. 2(2)
- Yulianti, A.B. and Sukarsih, I., 2008. Model Distribusi Kelimpahan Populasi Pada Komunitas Plankton di Kolam Percobaan. *Matematika*, 7(1).