

ANALISIS KINERJA KONVEKSI PAKSA PADA FLUIDA NANO TIO_2 -AIR YANG MELEWATI BOLA BERPORI BERMAGNET

ANALYSIS OF FORCED CONVECTION PERFORMANCE IN TIO_2 -WATER NANOFLOIDS PASSING THROUGH MAGNETIC POROUS SPHERE

Hanifah Migunani^{1*}, Yolanda Norasia^{2), Mohamad Tafrikan³⁾}

^{1,2,3}Matematika, Universitas Islam Negeri Walisongo

*Email: migunanihanifah@gmail.com

Abstrak: Ilmu dan aplikasi pemodelan matematika semakin berkembang seiring berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi. Salah satunya adalah dalam teknologi perpindahan panas. Perpindahan panas merupakan proses perpindahan energi dari suatu tempat ke tempat lain karena adanya perbedaan temperatur. Konveksi paksa merupakan salah satu cara perpindahan panas yang efisien yang digunakan dalam sistem bersuhu tinggi. Untuk mempercepat peningkatan konduktivitas panas dibutuhkan elemen yang memiliki konduktivitas panas tinggi, salah satunya fluida nano. Penelitian ini membahas mengenai kinerja fluida nano TiO_2 yang mengalir melewati bola berpori dengan pengaruh konveksi paksa terhadap profil kecepatan dan temperatur fluida dengan variasi parameter magnetik (M) dan porositas(ϕ). Persamaan pembangun berupa persamaan kontinuitas, momentum, dan energi. Persamaan pembangun dimensional ditransformasikan menjadi persamaan non dimensional kemudian dirubah menjadi persamaan similaritas. Kemudian penyelesaian numerik dilakukan dengan menggunakan metode Keller-Box. Hasil simulasi menunjukkan bahwa ketika parameter magnetik (M) dan parameter porositas (ϕ) ditingkatkan, maka kecepatan dan temperatur aliran fluida nano TiO_2 -Air(30°) dan TiO_2 -Air(90°) semakin mengecil atau mengalami penurunan. Ketika dibandingkan antara fluida TiO_2 -Air(30°) dan TiO_2 -Air(90°), diperoleh hasil bahwa kecepatan aliran fluida nano TiO_2 -Air(90°) lebih besar dibandingkan fluida nano TiO_2 -Air(30°), sedangkan untuk temperatur aliran fluida nano TiO_2 -Air(90°) lebih kecil dibandingkan fluida nano TiO_2 -Air(30°)

Kata Kunci: Fluidanano, Konveksi paksa, Bola berpori, Keller-box

Abstract: The science and application of mathematical modeling continues to develop along with the development of science and technology. One of them is in heat transfer technology. Heat transfer is the process of transferring energy from one place to another due to differences in temperature. Forced convection is an efficient heat transfer method used in high temperature systems. To accelerate the increase in thermal conductivity, elements that have high thermal conductivity are needed, one of which is nanofluid. This research discusses the performance of TiO_2 nanofluid flowing through a porous sphere with the influence of forced convection on the velocity and temperature profile of the fluid with variations in magnetic parameters (M) and porosity (ϕ). The building equations are continuity, momentum and energy equations. The dimensional building equations are transformed into non-dimensional equations and then converted into similarity equations. Then the numerical solution is carried out using the Keller-Box method. The simulation results show that when the magnetic parameter (M) and porosity parameter (ϕ) are increased, the speed and temperature of the TiO_2 -Water(30°) and TiO_2 -Water(90°) nanofluid flow decreases or decreases. When compared between TiO_2 -Water(30°) and TiO_2 -Water(90°) fluids, the results showed that the flow velocity of the TiO_2 -Water(90°) nanofluid was greater than that of the TiO_2 -Water(30°) nanofluid, while the TiO_2 nanofluid flow temperature -Water(90°) is smaller than TiO_2 nanofluid-Water(30°)

Keywords: Fluidanano, Forced convection, Porous sphere, Keller-box.

PENDAHULUAN

Ilmu dan aplikasi pemodelan matematika semakin berkembang seiring berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi. Salah satunya adalah dalam teknologi perpindahan panas. Perpindahan panas merupakan proses perpindahan energi dari suatu tempat ke tempat lain karena adanya perbedaan temperatur (Dewantoro, 2018, pp.2). Konveksi paksa merupakan salah satu cara perpindahan panas yang efisien yang digunakan dalam sistem bersuhu tinggi. Untuk mempercepat peningkatan konduktivitas panas dibutuhkan elemen yang memiliki konduktivitas panas tinggi, salah satunya fluida nano (Neves, 2022, pp.2).

Kata "nanofluid" diciptakan pada tahun 1995 oleh Stephen US Choi. Fluida nano adalah campuran koloid di mana nanopartikel dan fluida mempengaruhi sifat perpindahan panas dari fluida nano (Haque et.al., 2021, pp.3). Campuran koloid ini diproduksi dengan menggabungkan nanopartikel berdiameter 1-100nm ke dalam fluida dasar konvensional, seperti etilen glikol, parafin, air, air mineral, metanol, dan sebagainya. Nanopartikel bisa berupa logam dan oksidasi logam. Nanopartikel yang berjenis logam seperti Ag, Zn, Cu, Au dan yang berjenis oksida logam seperti ZnO Al₂O₃, TiO₂, SiC (Norasia, 2018). Pada penelitian ini, fluida dasar yang digunakan adalah Air dengan partikel nano TiO₂. Kelebihan dari Titaniumdioksida yaitu mempunyai konduktivitas termal lebih tinggi bila dibandingkan dengan logam jenis ferro lainnya, aman bagi manusia dan hewan serta memiliki kestabilan yang tinggi (Syukri dan Suyitno, 2022).

Beberapa penelitian telah dilakukan mengenai pemodelan fluida dengan pengaruh konveksi, diantaranya Rahma,dkk (2017) melakukan penelitian mengenai pengaruh konveksi paksa dan medan magnet terhadap magnetohidrodinamika fluida tunak yang melewati bola berpori. Selanjutnya Widodo et.al (2019) meneliti tentang Aliran fluida nano yang tidak stabil melalui bola berpori magnetik di bawah pengaruh konveksi campuran. Kemudian di tahun yang sama Norasia dan Zulaikha melakukan penelitian mengenai pengaruh partikel nano Zn dan ZnO terhadap aliran MHD fluida nano pada lapisan batas bola bermagnet.

Dalam penelitian ini, analisis kecepatan dan temperature dilakukan di sekitar titik stagnasi terendah pada aliran fluida nano yang melalui bola berpori dengan pengaruh

konveksi paksa. Persamaan dimensional diperoleh dengan merujuk pada penelitian sebelumnya kemudian akan ditransformasikan menjadi persamaan nondimensional. Selanjutnya mengubahnya menjadi persamaan similaritas dan penyelesaian numerik didapatkan dengan menggunakan metode Keller Box. Simulasi dilakukan untuk mengetahui pengaruh parameter magnetik, porositas, terhadap kecepatan dan temperatur.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan fluida dasar air dalam dua kondisi yaitu pada saat temperaturnya 30^0 dan 90^0 . Kemudian menggunakan partikel nano titanium dioksida (TiO_2). Persamaan dimensional yang digunakan merupakan persamaan kontinuitas, persamaan momentum, dan persamaan energi yang dirujuk pada penelitian milik Abu (2018, p.2) sebagai berikut:

$$\frac{\partial \bar{r}\bar{u}}{\partial \bar{x}} + \frac{\partial \bar{r}\bar{v}}{\partial \bar{y}} = 0 \quad (1)$$

$$\rho_{nf} \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{t}} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{x}} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{y}} \right) = - \frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{x}} + \mu_{nf} \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \bar{x}^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \bar{y}^2} \right) + \sigma(b + B_0^2)\bar{u} + \frac{\mu_{nf}}{K_*} \bar{u} - \rho\beta(\bar{T} - T_\infty)g_{\bar{x}} \quad (2)$$

$$\rho_{nf} \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{t}} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{x}} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{y}} \right) = - \frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{y}} + \mu_{nf} \left(\frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial \bar{x}^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial \bar{y}^2} \right) + \sigma(b + B_0^2)\bar{v} + \frac{\mu_{nf}}{K_*} \bar{v} - \rho_{nf}\beta(\bar{T} - T_\infty)g_{\bar{y}} \quad (3)$$

$$\left(\frac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{t}} + \bar{u} \frac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{x}} + \bar{v} \frac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{y}} \right) = \alpha_{nf} \left(\frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial \bar{x}^2} + \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial \bar{y}^2} \right) \quad (4)$$

Dengan kondisi batas

$$\bar{t} = 0 : \bar{u} = \bar{v} = 0, \bar{T} = T_\infty, \text{ untuk setiap } \bar{x}, \bar{y}$$

$$\bar{t} > 0 : \bar{u} = \bar{u}_e, \bar{u} = \bar{v} = 0, \bar{T} = T_\infty, \text{ saat } \bar{y} \rightarrow \infty$$

Pembentukan Persamaan Tak-dimensional

Persamaan tak dimensional dibentuk dari transformasi persamaan dimensional (1)-(4) dengan substitusi parameter dan variabel tak dimensional sebagai berikut (Norasia dan zulaika, 2019, p.5)

$$\left. \begin{array}{l} \bar{x} = ax \\ \bar{y} = ayRe^{-\frac{1}{2}} \\ \bar{u} = uU_{\infty} \\ \bar{v} = vU_{\infty}Re^{-\frac{1}{2}}\bar{r}(x) = r(x)l \\ \bar{t} = \frac{at}{U_{\infty}} \\ \bar{p} = p\rho_{fn}U_{\infty}^2 \\ \bar{T} - T_{\infty} = T(T_m - T_{\infty}) \end{array} \right\} \quad (5)$$

$$\left. \begin{array}{l} M = \frac{a\sigma B_0^2}{\rho U_{\infty}} \\ v = \frac{\mu}{\rho} \\ Gr = \frac{g\beta(T_m - T_{\infty})a^3}{v_{fn}^2} \\ \lambda = \frac{Gr}{Re^2} \\ \phi = \frac{a\mu_{fn}}{\rho_{fn}U_{\infty}K^*} \\ Pr = \frac{v_{fn}}{\alpha_{fn}} \\ Re = \frac{U_{\infty}a}{v} \end{array} \right\} \quad (6)$$

Sehingga diperoleh persamaan tak-dimensional berikut:

$$\frac{\partial ru}{\partial x} + \frac{\partial rv}{\partial y} = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{v_{fn}}{v_f} \frac{1}{Re} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{v_{fn}}{v_f} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{25}{16} Mu + \phi u + \lambda T \sin x \quad (8)$$

$$Re^{-1} \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{v_{fn}}{v_f} Re^{-2} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{v_{fn}}{v_f} Re^{-1} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{25}{16} Re^{-1} M v + Re^{-1} \phi v$$

$$-Re^{-\frac{1}{2}} \lambda T \cos x$$

(9)

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = Re^{-1} Pr^{-1} \frac{\alpha_{fn}}{\alpha_f} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + Pr^{-1} \frac{\alpha_{fn}}{\alpha_f} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}$$

(10)

dengan kondisi batas tak dimensioanal

$t = 0 : u = v = 0, T = 0$ untuk setiap x, y , $yt > 0 : u = u_e, T = 0$ saat $y \rightarrow \infty$

Teori Pendekatan Lapisan Batas

Dengan teori pendekatan lapisan batas maka bilangan Reynolds pada persamaan pembangun tak-dimensional mendekati takhingga ($Re \rightarrow \infty$) sehingga $1/Re \rightarrow 0$. Sehingga persamaan (7)-(10) dapat disederhanakan menjadi :

$$\frac{\partial ru}{\partial x} + \frac{\partial rv}{\partial y} = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\nu_{fn}}{\nu_f} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{25}{16} Mu + \phi u + \lambda T \sin x \quad (12)$$

$$-\frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad (13)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = Pr^{-1} \frac{\alpha_{fn}}{\alpha_f} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (14)$$

(14)

Pembentukan Persamaan Similaritas

Persamaan pembangun tak-dimensional yang telah disederhanakan kemudian ditransformasikan kedalam bentuk persamaan similaritas. Hal ini bertujuan untuk mempermudah perubahan persamaan differensial parsial nonlinier ini menjadi sistem persamaan differensial biasa yang nonlinier yang diselesaikan secara numerik. Fungsi alir dan temperatur dinyatakan dengan

$$\psi = t^{\frac{1}{2}} u_e(x) f(x, \eta, t); \eta = \frac{y}{t^{\frac{1}{2}}}; T = s(x, \eta, t)$$

Dimana ψ merupakan fungsi alir yang didefinisikan dengan

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y}, v = -\frac{\partial \psi}{\partial x}$$

Sehingga diperoleh persamaan akhir similaritas sebagai berikut:

$$Vf''' + \frac{\eta}{2}f'' + \frac{3}{2}t(1 - (f')^2 + ff'') + t(\frac{25}{16}M + \phi)(f' - 1) = t \frac{\partial f'}{\partial t} \quad (15)$$

$$Ds'' + Pr \frac{\eta}{2}s' + \frac{3}{2}Prts' = Prt \frac{\partial s}{\partial t} \quad (16)$$

Metode Keller-Box

Persamaan (15) dan (16) diselesaikan dengan metode beda hingga implisit skema Keller Box. Tahapan-tahapan dalam metode ini adalah sebagai berikut: tahapan pertama yaitu menyederhanakan persamaan (15) dan (16) yang merupakan persamaan orde tinggi menjadi persamaan orde pertama. Selanjutnya, persamaan orde pertama yang telah terbentuk didiskritisasikan menggunakan metode beda hingga pusat. Kemudian melakukan pelinieran persamaan dengan menggunakan metode Newton menjadi bentuk matriks vektor. Tahap terakhir adalah mencari solusi dari hasil pelinieran menggunakan teknik eliminasi matriks blok tridiagonal. Selanjutnya dilakukan simulasi menggunakan software MATLAB.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan variasi parameter magnetic dan porositas dalam simulasinya. Fluida dasar yang digunakan adalah air yang berada pada dua kondisi yaitu pada saat suhu 30°C dan suhu 90°C dengan partikel nano TiO_2 . Sifat Termofisika dari fluida dasar dan partikel nano yang digunakan ditunjukkan oleh Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Sifat Termofisika Fluida Nano

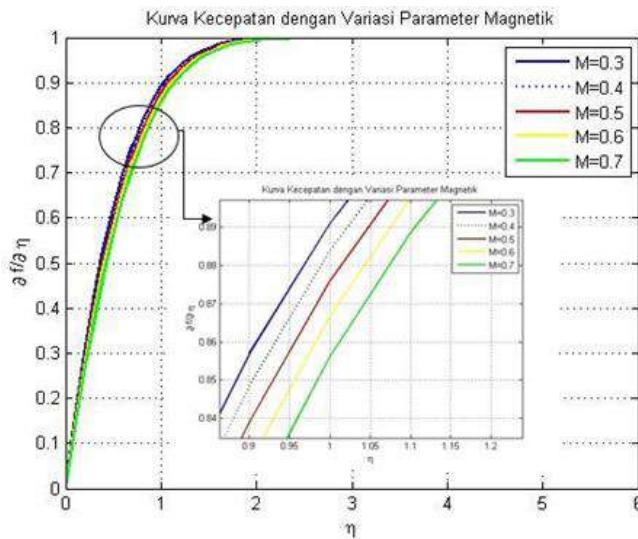
Sifat Termofisika	Air(30°C)	Air(90°C)	TiO_2
Densitas	995.349	964.947	4175
Kapasitas panas	4176.642	4204.934	692
Konduktifitas Termal	0.615	0.669	8.4

Sumber :

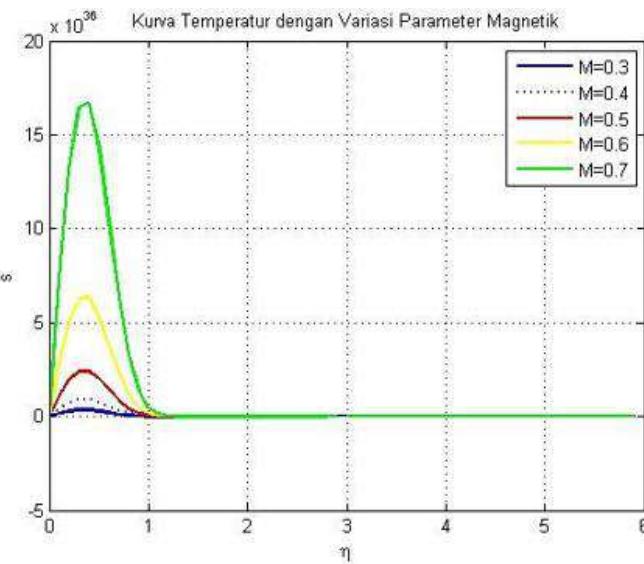
Pengaruh parameter magnetik terhadap profil kecepatan dan temperatur pada fluida nano TiO_2 dengan fluida dasar air suhu 30°C

Simulasi dilakukan dengan menvariasikan parameter tak dimensional Magnetik (M) = 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7. Parameter tak dimensional lain antara lain parameter bilangan Prandl (Pr)= 4.34, porositas (φ) = 1, konveksi paksa (λ)=0, dan fraksi volume (ϕ)=0.1.

Gambar 1 menunjukkan semakin tinggi nilai parameter magnetik, kecepatan aliran fluida semakin melambat. Dan Gambar 2 menunjukkan temperatur aliran fluida semakin menurun seiring dengan berkurangnya parameter magnetik.



Gambar 1. Grafik Kecepatan Akibat Perbedaan Parameter Magnetik

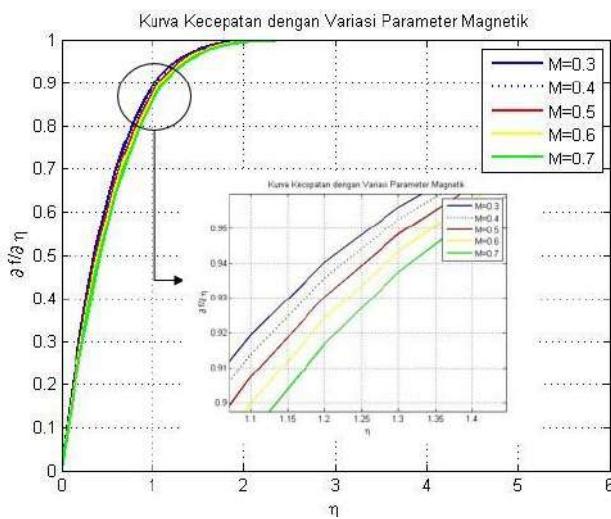


Gambar 2. Grafik Temperatur Akibat Perbedaan Parameter Magnetik

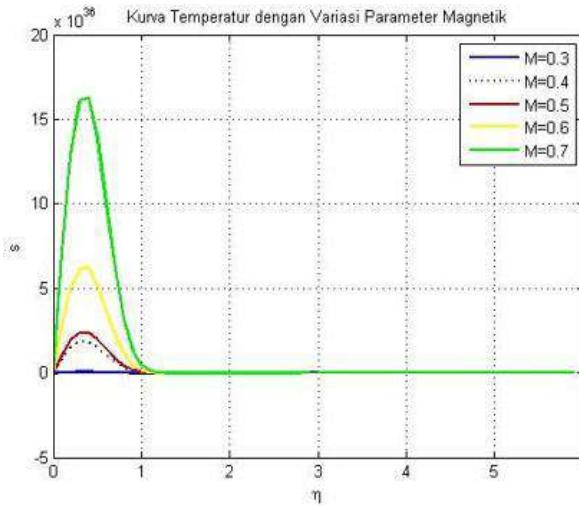
Pengaruh parameter magnetik terhadap profil kecepatan dan temperatur pada fluida nano TiO₂ dengan fluida dasar air suhu 90°C

Simulasi dilakukan dengan menvariasikan parameter tak dimensional Magnetik (M) = 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7. Parameter tak dimensional lain antara lain parameter bilangan Prandl (Pr)= 4.34, porositas (ϕ) = 1, konveksi paksa (λ)=0, dan fraksi volume (ϕ)=0.1.

Gambar 3 menunjukkan semakin tinggi nilai parameter magnetik, kecepatan aliran fluida semakin melambat. Dan Gambar 4 menunjukkan temperatur aliran fluida semakin menurun seiring dengan berkurangnya parameter magnetik.



Gambar 3. Grafik Kecepatan Akibat Perbedaan Parameter Magnetik

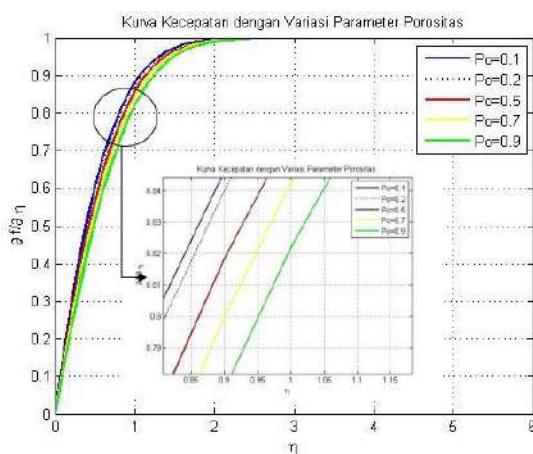


Gambar 4. Grafik Temperatur Akibat Perbedaan Parameter Magnetik

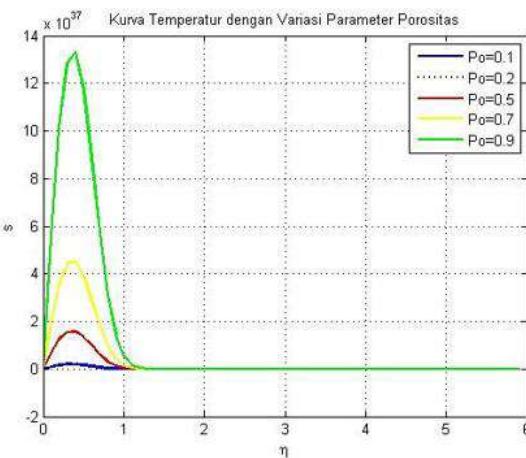
Pengaruh parameter porositas terhadap profil kecepatan dan temperatur pada fluida nano TiO₂ dengan fluida dasar air suhu 30°C

Simulasi dilakukan dengan menvariasikan parameter tak dimensional Porositas (ϕ)=0.1, 0.2, 0.5, 0.7, 0.9. Simulasi ini juga menggunakan nilai parameter tak dimensional lain seperti bilangan Prandl (Pr)= 4.34, Magnetik (M) = 1, konveksi paksa (λ)=0, dan fraksi volume (ϕ)=0.1. Gambar 5 menunjukkan semakin tinggi nilai parameter porositas,

kecepatan aliran fluda semakin melambat. Dan Gambar 6 menunjukan temeperatur aliran fluida semakin menurun seiring dengan berkurangnya parameter porositas.



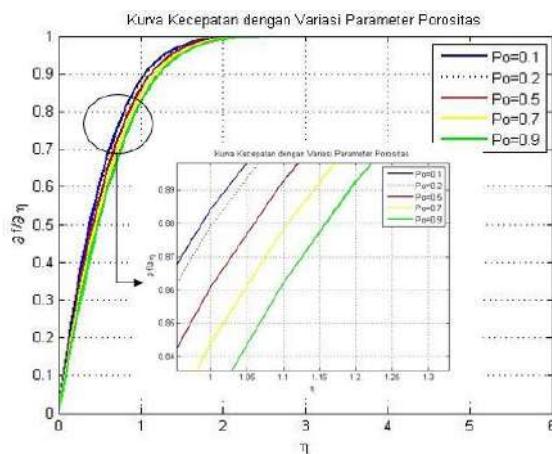
Gambar 5. Grafik Kecepatan Akibat Perbedaan Parameter porositas



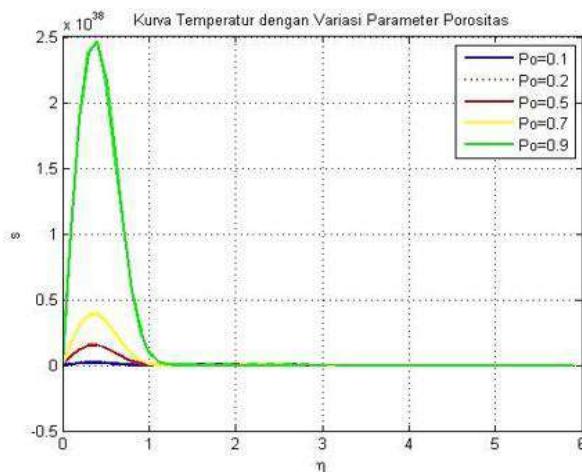
Gambar 6. Grafik Temperatur Akibat Perbedaan Parameter porositas

Pengaruh parameter porositas terhadap profil kecepatan dan temperatur pada fluida nano TiO₂ dengan fluida dasar air suhu 90°C

Simulasi dilakukan dengan menvariasikan parameter tak dimensional Porositas (ϕ)=0.1, 0.2, 0.5, 0.7, 0.9. Simulasi ini juga menggunakan nilai parameter tak dimensional lain seperti bilangan Prandl (Pr)= 4.34, Magnetik (M) = 1, konveksi paksa (λ)=0, dan fraksi volume (ϕ)=0.1. Gambar 7 menunjukkan semakin tinggi nialai parameter porositas, kecepatan aliran fluda semakin melambat. Dan Gambar 8 menunjukkan temeperatur aliran fluida semakin menurun seiring dengan berkurangnya parameter porositas.



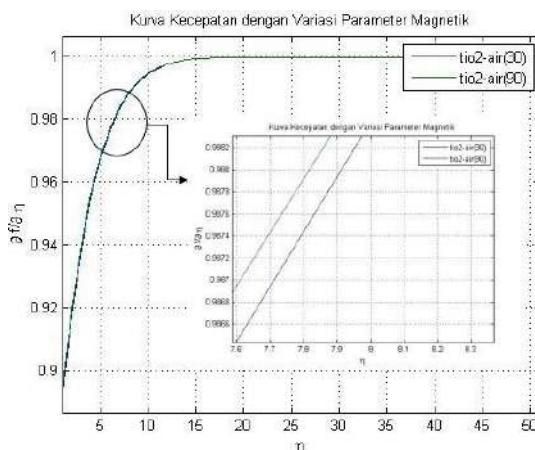
Gambar 7. Grafik Kecepatan Akibat Perbedaan Parameter porositas



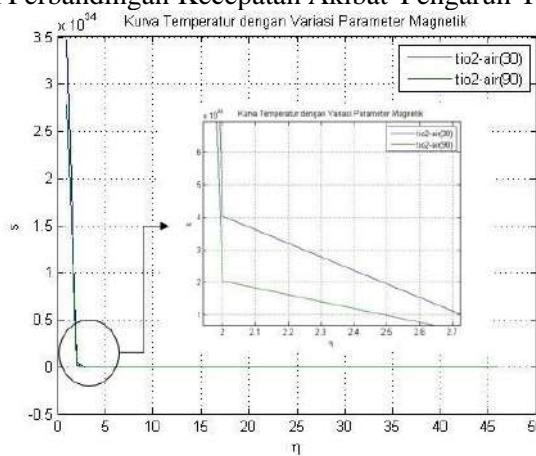
Gambar 8. Grafik Temperatur Akibat Perbedaan Parameter porositas

Perbandingan pengaruh parameter magnetik terhadap profil kecepatan dan temperatur pada fluida nano TiO₂ –Air (30°C) dan TiO₂ –Air (90°C)

Parameter tak-dimensional yang digunakan antara lain parameter magnetik (M)= 0.3, porositas (φ)=1, konveksi paksa (λ)=0, dan fraksi volume (ϕ)=0.1. Gambar 9 menunjukan bahwa fluida nano TiO₂-Air(90°) mengalami peningkatan kecepatan lebih tinggi dibandingkan dengan fluida nano TiO₂-Air(30°). Dan Gambar 10 menunjukan bahwa fluida nano TiO₂-Air(30°) lebih cepat mengalami penurunan temperatur dibandingkan dengan fluida nano TiO₂-Air(90°).



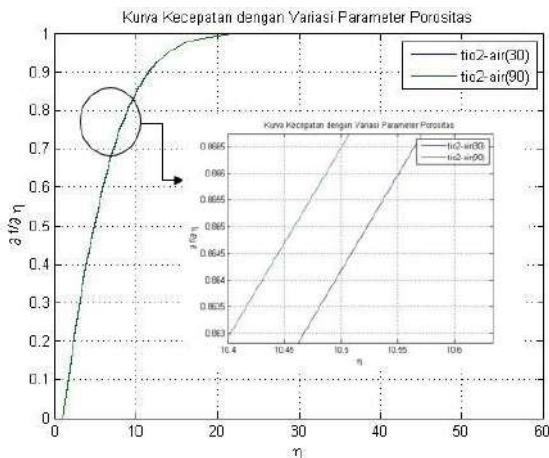
Gambar 9. Grafik Perbandingan Kecepatan Akibat Pengaruh Parameter Magnetik



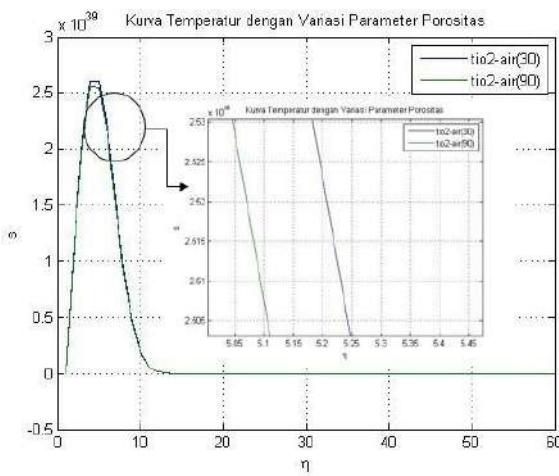
Gambar 10. Grafik Perbandingan Temperatur Akibat Pengaruh Parameter Magnetik

Perbandingan pengaruh parameter porositas terhadap profil kecepatan dan temperatur pada fluida nano TiO_2 –Air (30°C) dan TiO_2 –Air (90°C)

Parameter tak-dimensional yang digunakan antara lain parameter magnetik(M)= 1, porositas(ϕ)=0.1, konveksi paksa(λ)=0, dan fraksi volume(ϕ)=0.1. Gambar 11 menunjukkan bahwa fluida nano TiO_2 -Air(90°) mengalami peningkatan kecepatan lebih tinggi dibandingkan dengan fluida nano TiO_2 -Air(30°). Dan Gambar 12 menunjukkan bahwa fluida nano TiO_2 -Air(30°) lebih cepat mengalami penurunan temperatur dibandingkan dengan fluida nano TiO_2 -Air(90°).



Gambar 11. Grafik Perbandingan Kecepatan Akibat Pengaruh Parameter Porositas



Gambar 12. Grafik Perbandingan temperatur Akibat Pengaruh Parameter Porositas

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi numeric dari model matematika aliran fluida nano TiO₂ yang melewati bola berpori dengan pengaruh konveksi paksa menggunakan variasi parameter magnetic dan porositas dapat disimpulkan bahwa saat parameter magnetik dan porositas semakin besar maka kecepatan dan temperature aliran fluida nano semakin kecil atau menurun. Ketika dibandingkan antara fluida TiO₂-Air(30°) dan TiO₂-Air(90°), diperoleh hasil bahwa kecepatan aliran fluida nano TiO₂-Air(90°) lebih besar dibandingkan fluida nano TiO₂-Air(30°), sedangkan untuk temperatur aliran fluida nano TiO₂-Air(90°) lebih kecil dibandingkan fluida nano TiO₂-Air(30°).

DAFTAR PUSTAKA

Dewantoro et.al. 2018. Studi Eksperimen Perpindahan Paas Konveksi Paksa Eksternal pada Plat Datar. Yogyakarta: Prosiding (SNAST)

- Haque, E., Hossain, S., dan Muhammad, H. 2021. Laminar forced convection heat transfer of nanofluids inside non-circular ducts: A review. Powder Technology. ISSN:1873328X. Vol:378. Pages:808-830
- Neves, F., Soares, A., dan Rouboa, A. 2022. Forced convection heat transfer of nanofluids in turbulent flow in a flat tube of an automobile radiator. Energy Reports. ISSN:23524847. Vol:8. Pages:1185-1195
- Norasia, Y. 2018. Magnetohidrodinamik fluida nano tak tunak yang mengalir melewati bola bermagnet dipengaruhi oleh konveksi campuran. Tesis. Surabaya:Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data Institut Teknologi Sepuluh Noverember
- Norasia, Y., dan Zulaikha. 2019. Pengaruh Partikel Nano Zn dan ZnO terhadap Aliran MHD Fluida Nano Pada Lapisan Batas Bola Bermagnet. Square : Journal of Mathematics and Mathematics Education. ISSN:2714-609X
- Rahma, N.A., Widodo, B., Adzkiya, D. 2017. Forced convection of unsteady magnetohydrodynamics fluid past a porous sphere. AIP Conference Proceedings. Vol: 1913. Doi: 10.1063/1.5016641
- Syukri, F. A., dan Suyitno, B. M. 2022. Analisis Pengaruh Nanofluida Titanium Dioksida (TiO₂) Terhadap Kinerja Fluida Dasar Pada Perpindahan Panas Pada Alat Penukar Panas Pipa Ganda. KALPIKA, 19(1).
- Widodo, B., Abu, M., Imron, C. 2019, Unsteady nano fluid flow through magnetic porous sphere under the influence of mixed convection. Journal of Physics: Conference Series, Vol:1153. Doi: 10.1088/1742-6596/1153/1/012053