

## Perpindahan Kalor Memanfaatkan Fluida Nano Dalam Kurungan Jajaran Genjang

Halim Mudia<sup>1</sup>, Marhama Jelita<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sultan Syarif Kasim Riau  
Jl. HR. Soebrantas No. 155 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru, 28293  
Email: halim.mudia@uin-suska.ac.id, marhama.jelita@uin-suska.ac.id

### ABSTRAK

Peningkatan performan perpindahan kalor diperlukan khususnya untuk sistem pendinginan yang optimal. Simulasi numerik disajikan dalam makalah ini untuk permasalahan peningkatan performan perpindahan kalor memanfaatkan fluida nano dalam kurungan jajaran genjang. Kedua sisi miring jajaran genjang tersebut dipertahankan isothermal pada suhu yang berbeda. Sisi atas dan bawahnya dalam keadaan adiabatik. Persamaan-persamaan momentum dan energi disimulasikan menggunakan piranti Comsol. Berdasarkan prediksi numerik, pengaruh dari sudut dasar jajaran genjang, level pemanasan dan konsentrasi partikel Ag pada pola aliran dan suhu dan juga tingkat perpindahan kalor dalam kurungan jajaran genjang disajikan. Geometri jajaran genjang digabungkan dengan fluida nano dapat meningkatkan tingkat perpindahan kalor secara signifikan.

**Kata Kunci:** Perpindahan kalor, Konveksi Alami, Fluida Nano, Comsol

### ABSTRACT

*Heat transfer performance enhancement is required especially for optimal cooling system. Numerical simulation is presented in this article for heat transfer performance enhancement problem utilizing nanofluid in a parallelogrammic enclosure. The two sloping walls are maintained isothermal at different temperature. The bottom and top wall are adiabatic. The momentum and energy equations are simulated using Comsol software. Based upon the numerical predictions, the effect of the base angle, heating level and Ag particle concentrations on flow pattern and temperature and the heat transfer rate within the parallelogrammic enclosure is presented. The parallelogrammic shape is combined with nanofluid can enhance the heat transfer rate significantly.*

**Keywords:** Heat Transfer, Natural Convection, Nanofluid, Comsol

---

Corresponding Author:

**Halim Mudia<sup>1</sup>, Marhama Jelita<sup>2</sup>,**

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sultan Syarif Kasim Riau,  
Email: halim.mudia@uin-suska.ac.id, marhama.jelita@uin-suska.ac.id

---

### Pendahuluan

Perpindahan kalor konveksi alami adalah fenomena penting dalam dunia industri disebabkan oleh banyak aplikasinya dalam sistem pendinginan alat elektronika, alat penukar kalor, jendela kaca ganda dan lain sebagainya. Peningkatan performan perpindahan kalor dalam sistem yang disebutkan tadi adalah topik esensial dari perspektif penghematan energi. Rendahnya konduktivitas termal fluida konvensional seperti air dan oli merupakan penghalang utama dalam meningkatkan performan pemindahan kalor sebuah sistem. Zat padat tipikalnya mempunyai konduktivitas termal lebih tinggi dibandingkan zat cair. Sebagai contoh, tembaga mempunyai konduktivitas termal 700 kali lipat air dan 300 kali lipat lebih besar dari oli mesin. Teknik baru dan inovatif untuk menaikkan perpindahan kalor adalah dengan menggunakan partikel padat dimasukkan kedalam fluida murni atau disebut juga fluida nano dalam ukuran 10-50 nm, Choi [2]. Fluida nano menawarkan keuntungan potensial dan dapat diterapkan dalam bidang mikroelektronika dan biomedikal.

Kebanyakan artikel yang telah dipublikasikan berkenaan dengan analisis perpindahan kalor konveksi alami fluida nano dalam bujur-sangkar atau persegi panjang, sebagai contoh artikel [3], [4], [5], [6], [8] dan [9]. Kenyataannya, bentuk geometrinya bisa selain persegi panjang seperti segitiga, trapesium dan jajaran genjang. Pembahasan aliran konveksi dalam jenis ini lebih sulit dibandingkan bujur sangkar atau persegi panjang disebabkan oleh adanya dinding miring. Secara umum, jaring-jaring node tidak membentang sepanjang dinding dan sebagai konsekuensinya lebih susah diprogramkan menggunakan metode beda hingga.

Masalah bangun jajaran genjang diisi dengan fluida murni telah dipelajari oleh Seki et al. [10], Naylor et al. [7] dan Aldridge et al. [1]. Mereka menemukan besarnya potensi bangun jajaran genjang untuk digunakan dalam perpindahan kalor yang efektif. Penulis beranggapan, keefektifan perpindahan kalor menggunakan bangun jajaran genjang dapat lebih dimaksimalkan lagi dengan mengisi bangun tersebut dengan fluida jenis baru, yaitu fluida nano. Dengan demikian, tujuan penelitian ini adalah menganalisa

masalah konveksi alami dalam bangun jajaran genjang diisi fluida nano khususnya untuk melihat keefektifan partikel nano dalam meningkatkan perpindahan kalor melalui dinding miring jajaran genjang.

### Metode Penelitian

Gambar 1 menunjukkan diagram skema model jajaran genjang dipanaskan dari sisi samping. Sisi bawahnya dan sisi atasnya bersifat insulasi atau adiabatik. Kurungan jajaran genjang diisi dengan air yang mengandung partikel Ag.

Permasalahan ini dapat dimodelkan dengan mematuhi hukum konservasi masa dan energi. Modelnya berupa persamaan-persamaan dalam bentuk turunan parsial yang selanjutnya disebut sebagai persamaan kontinuitas, momentum dan energi. Persamaan-persamaan momentum dan energinya mengandung variabel kecepatan dan suhu yang diturunkan dari hukum Newton dan termodinamika. Konduktivitas efektif dari fluida nano menggunakan model Maxwell.

Persamaan-persamaan kontinuitas, momentum dan energi diselesaikan dengan menggunakan piranti Comsol. Piranti Comsol dapat menyelesaikan hampir semua masalah cabang disiplin fisika. Comsol sesuai digunakan oleh siswa, guru, dosen dan peneliti disebabkan oleh tampilan antarmuka yang interaktif dan dapat dikoneksikan dengan Matlab, Excel dan Autocad. Tutorial, artikel dan buku-buku yang membahas Comsol banyak tersedia.

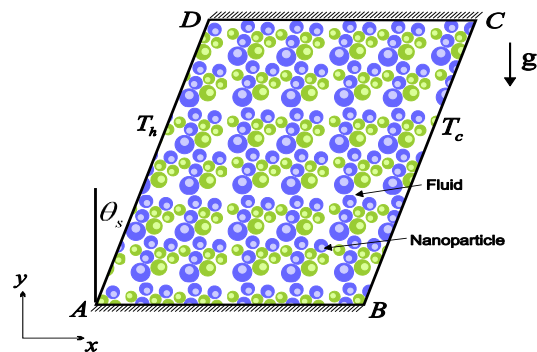
Dalam piranti Comsol, *Incompressible Navier-Stokes (ns)* digunakan sebagai representasi dari persamaan kontinuitas dan momentum, seperti terlihat pada Gambar 2. *Convection and Conduction (cc)* digunakan sebagai representasi dari persamaan energi, seperti terlihat pada Gambar 2. Fungsi strim yang menunjukkan besaran kecepatan dalam jajaran genjang menggunakan model Comsol, *Poisson Equation (peq)*. Distribusi mesh yang digunakan juga tersaji pada Gambar 2.

### Hasil dan Pembahasan

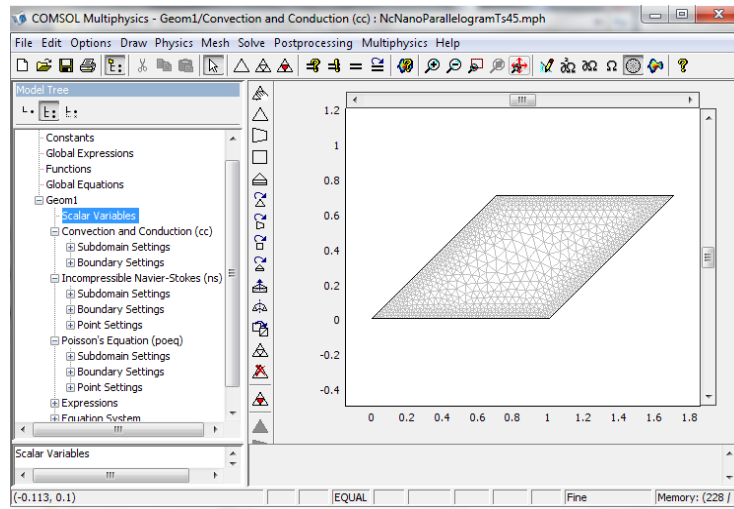
Hasil simulasi disajikan dalam bentuk fungsi strim, distribusi suhu dan rata-rata nomor Nusselt. Parameter yang didiskusikan adalah nomor Grashof, sudut dasar dan fraksi konsentrasi dari partikel Ag. Nilai nomor Nusselt mempresentasikan tingkat perpindahan kalor dan nomor Grashof menunjukkan level pemanasan yang diberikan pada sistem.

Gambar 3 menyajikan pengaruh sudut dasar jajaran genjang pada pola aliran dan suhu. Perlu diperhatikan bahwa sudut dasar merujuk kepada bangun bujur sangkar dan dipertimbangkan sebagai jajaran genjang khusus. Pada mulanya pemanasan konstan pada dinding kiri menyebabkan dipindahkannya kalor ke fluida yang bersebelahan dengan dinding panas tersebut. Suhu partikel fluida meningkat dan bergerak menuju dinding dingin dan jatuh kemudian naik lagi pada dinding panas membentuk sel-sel berotasi searah jarum jam. Sel-sel ini merupakan sel-sel fungsi strim. Terlihat bahwa pola sel-sel fungsi strim mengikuti bentuk-bentuk jajaran genjang akibat dari perbedaan nilai sudut dasar. Lapisan batas terbentuk disekitar dinding panas dan dingin untuk setiap bentuk jajaran genjang. Hal ini disebabkan oleh kuatnya daya apung dan fluidanya kurang pekat pada kasus nomor Grashof tinggi.

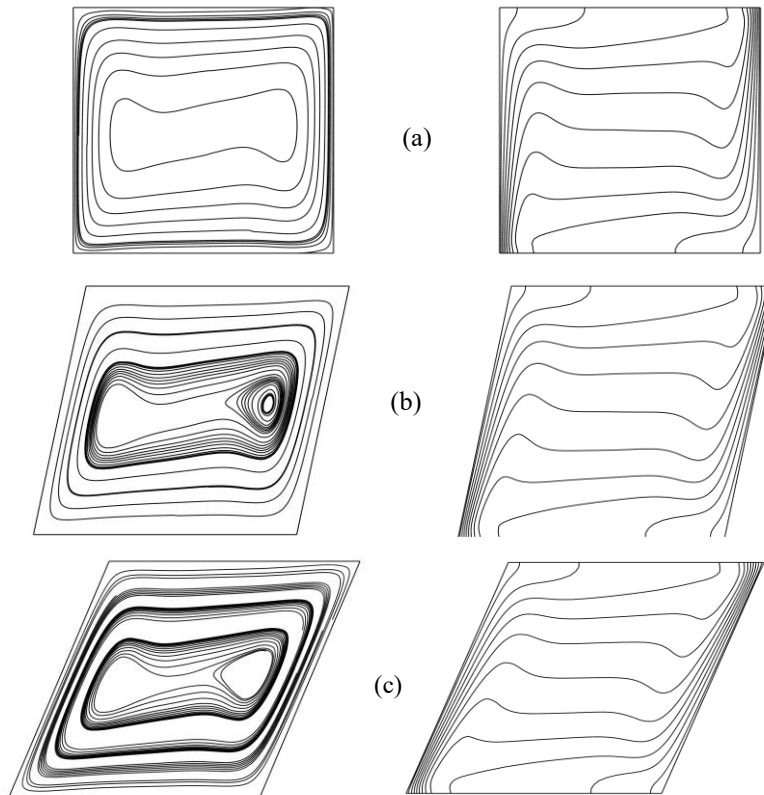
Gambar 4 menyajikan performan pemindahan kalor sebagai akibat dari peningkatan sudut dasar jajaran genjang. Peningkatan nomor Grashof atau level pemanasan tentu saja meningkatkan tingkat pemindahan kalor dari dalam sistem keluar. Gambar ini juga mengindikasikan bahwa dengan kenaikan sudut dasar menghasilkan sedikit peningkatan pemindahan kalor pada kasus nomor Grashof rendah dan tinggi.



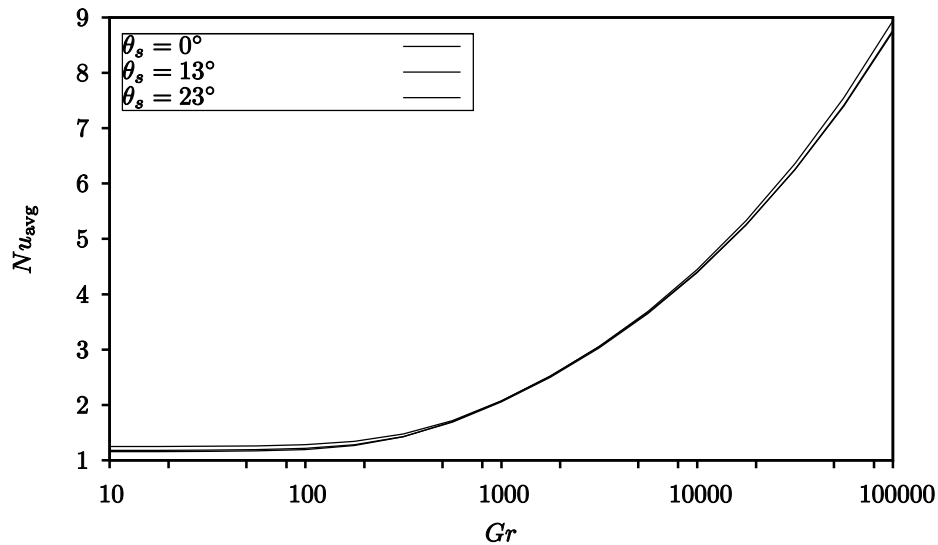
Gambar 1. Diagram skema model jajaran genjang dan fluida nano



Gambar 2. Distribusi mesh dan model persamaan Comsol



Gambar 3. Plot kontur fungsi strim dan suhu untuk 5% partikel nano Ag dengan sudut dasar (a)  $\theta_s = 0^\circ$  (b)  $\theta_s = 13^\circ$  dan (c)  $\theta_s = 23^\circ$



Gambar 4. Nilai  $Nu_{avg}$  terhadap  $Gr$  untuk beberapa nilai  $\theta_s$

### Kesimpulan

Makalah ini telah membahas masalah perpindahan kalor konveksi alami dalam kurungan jajaran genjang diisi fluida nano dengan partikel Ag. Model persamaan-persamaannya diselesaikan dengan piranti Comsol. Didapati bahwa mode-mode konveksi bergantung kepada nomor Grashof, fraksi konsentrasi partikel Ag dan sudut dasar jajaran genjang. Hasil yang didapatkan membuktikan keefektifan partikel nano dan sudut dasar dalam meningkatkan perpindahan kalor. Hasil ini dapat menjadi panduan bagi pendisain untuk menciptakan alat baru dalam pendinginan yang optimal. Diskusi lebih terperinci dalam konfigurasi yang lebih kompleks seperti aliran bergantung waktu dapat dijadikan penelitian lanjutan.

### DaftarPustaka

- [1] Aldridge, K. D., and Yao, H., Flow Features of Natural Convection in a Parallelogrammic Enclosure, *International Communication Heat Mass Transfer*, 28(7), 2001, pp. 923-931.
- [2] Choi, S. U. S., Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles, *ASME Fluids Engineering Division*, 231, 1995, pp. 99-105.
- [3] Ho, C. J., Chen, M. W., and Li, Z. W., Numerical Simulation of Natural Convection of Nanofluid in a Square Enclosure: Effects Due to Uncertainties of Viscosity and Thermal Conductivity, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51(17-18), 2008, pp. 4506-4516.
- [4] Hwang, K. S., Lee, J. H., and Jang, S. P., Buoyancy-Driven Heat Transfer of Water-Based Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanofluids in a Rectangular Cavity, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 50(19-20), 2007, pp. 4003-4010.
- [5] Jou, R. Y., and Tzeng, S. C., Numerical Research of Nature Convective Heat Transfer Enhancement Filled with Nanofluids in Rectangular Enclosures, *International Communication Heat Mass Transfer*, 33(6), 2006, pp. 727-736.
- [6] Khanafer, K., Vafai, K., and Lightstone, M., Buoyancy-Driven Heat Transfer Enhancement in a Two-Dimensional Enclosure Utilizing Nanofluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46(19), 2003, pp. 3639-3653.
- [7] Naylor, D., Oosthuisen, P. H., A Numerical Study of Free Convective Heat Transfer in a Parallelogram-Shaped Enclosure, *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow*, 4, 1994, pp. 553-559.
- [8] Ostrach, S., Natural Convection in Enclosures, *Journal of Heat Transfer*, 110, 1988, pp. 1175-1190.
- [9] Santra, A. K., Sen, S., and Chakraborty, N., Study of Heat Transfer Characteristics of Copper-Water Nanofluid in a Differentially Heated Square Cavity with Different Viscosity Models, *Journal Enhanced Heat Transfer*, 15(4), 2008, pp. 273-287.
- [10] Seki, N., S. Fokosako, S., and Yamaquishi, A., An Experimental Study of Free Convective Heat Transfer in a Parallelogrammic Enclosure, *ASME Journal Heat Transfer*, 105, 1983, pp. 433-439.