

PENGARUH PERUBAHAN KONSTANTA SLIP PADA KECEPATAN ALIRAN FLUIDA MELALUI SALURAN MIKRO BERPENAMPANG PERSEGI UNTUK PRESSURE GRADIENT KONSTAN

Suharsono Suharsono dan Muslim Ansori

Fakultas MIPA Universitas Lampung LAMPUNG, Email: suharsono.1962@fmipa.unila.ac.id

Abstract

In recent years, there are many investigations studied fluid flow through micro channels which having circular, triangular, rectangular cross sections and etc. Many of them contain no slip boundary conditions. Here we study influence of slip length on velocity profile but restricted to constant pressure gradient. We found that when slip length increased, velocity also increased.

Keywords: slip length, constant pressure gradient, velocity profile

1. PENDAHULUAN

Salah satu fokus penelitian ilmiah saat ini adalah studi tentang material berskala mikro dan nano [1,2]. Kemajuan dari komunitas penelitian di bidang ini telah menyebabkan perkembangan dari banyak perangkat biologis dan teknik dan sistem yang melibatkan aliran fluida melalui saluran mikro.

Beberapa diantaranya mempelajari fluida Newtonian dan non-Newtonian baik dengan syarat batas slip maupun no-slip. Untuk solusi no-slip saluran mikro berpenampang persegi panjang telah diteliti dalam [4, 6, 7, 11, 12]. Sementara untuk solusi aliran slip untuk kasus steady state telah dipelajari dalam [3, 5, 8, 9, 10]. Baru-baru ini untuk kasus transient flow telah dipelajari dalam [13].

Berdasarkan kajian pada [13] akan dipelajari pengaruh perubahan konstanta slip pada kecepatan aliran fluida.

2. PENGEMBANGAN MODEL

B. Wiwatanaapataphe et al [13] telah mengkaji solusi analitik aliran fluida Newtonian (unsteady slip flow) melalui saluran mikro berpenampang persegi panjang, berangkat dari sebuah model aliran fluida berbentuk persamaan Navier Stokes

$$\frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z}$$

dengan pressure gradient $\frac{\partial p}{\partial z} = a_0$

(konstanta real).

Diasumsikan bahwa fluida bergerak sepanjang sumbu-z dan syarat batas slip berbentuk:

$$u(\pm a, y, t) = \mp \ell \frac{\partial u}{\partial x}(a, y, t)$$
$$u(x, \pm b, t) = \mp \ell \frac{\partial u}{\partial y}(x, \pm b, t)$$

Dengan a dan b adalah panjang sisi-sisi penampang persegi panjang dan ℓ adalah konstanta slip.

3. METODE PENELITIAN

Pengaruh konstanta slip terhadap profil kecepatan ditentukan dengan cara sebagai berikut.

1. Tetapkan nilai $\ell=0,1$.
2. Cari nilai eigen berdasarkan persamaan $\cot(a\bar{v}) = \ell\bar{v}$.
3. Cari nilai $\bar{y}_{0m} = \sqrt{\bar{v}_m^2}$.
4. Cari nilai A_{0m} dan B_{0m} .
5. Masukkan semua nilai pada persamaan ().
6. Gambarkan grafiknya.
7. Lakukan hal yang sama untuk $\ell=0,5$ dan $\ell=1$.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Misal $\frac{\partial p}{\partial z} = a_0$. Dalam hal ini $c_0 = a_0$ dan $c_n = 0$ untuk semua $n \geq 1$ pada bentuk $c_n = a_n - b_n i$. Pressure gradient konstan artinya pressure gradient tidak bergantung kepada waktu t . Tulis peubah tanpa dimensi $x^* = \frac{x}{a}$; $y^* = \frac{y}{b}$, $t^* = \frac{\omega t}{2\pi}$, $\varepsilon = \frac{b}{a}$. Setelah melalui perhitungan yang panjang diperoleh normalized velocity

$$u^*(x^*, y^*) = \frac{4\mu}{a_0 a^2} u = x^{*2} + (\varepsilon y^*)^2 + \frac{4\mu}{a_0 a^2} \operatorname{Re} \sum_{m=1}^{\infty} [A_{0m} \cosh(a\bar{v}_m x^*) \cos(b\bar{v}_m y^*) + B_{0m} \cosh(b\bar{v}_m y^*) \cos(a\bar{v}_m x^*)]$$

Dalam hal ini

$$A_{0m} = \frac{-c_0}{4\mu M_{mm} [\cosh(a\bar{v}_m) + \ell \bar{v}_m \sinh(a\bar{v}_m)]} \int_0^b (a^2 + y^2 + 2a\ell) \cos(\bar{v}_m y) dy = \frac{-c_0 [P + Q]}{\mu [R][S]},$$

dengan

$$P = (a^2 + 2a\ell) \sin(b\bar{v}_m) + b^2 \sin(b\bar{v}_m)$$

$$Q = \frac{2}{\bar{v}_m} \left(b \cos(b\bar{v}_m) - \frac{\sin(b\bar{v}_m)}{\bar{v}_m} \right)$$

$$R = 2b\bar{v}_m + \sin(2b\bar{v}_m)$$

$$S = \cosh(a\bar{v}_m) + \ell \bar{v}_m \sinh(a\bar{v}_m)$$

dan

$$B_{0m} = \frac{-c_0}{4\mu \bar{M}_{mm} [\cosh(b\bar{v}_m) + \ell \bar{v}_m \sinh(b\bar{v}_m)]} \int_0^a (x^2 + b^2 + 2b\ell) \cos(\bar{v}_m x) dx = \frac{-c_0 \left[P1 + \frac{2}{\bar{v}_m} (Q1) \right]}{\mu [S1][T1]}.$$

dengan

$$P1 = (b^2 + 2b\ell) \sin(a\bar{v}_m) + a^2 \sin(a\bar{v}_m)$$

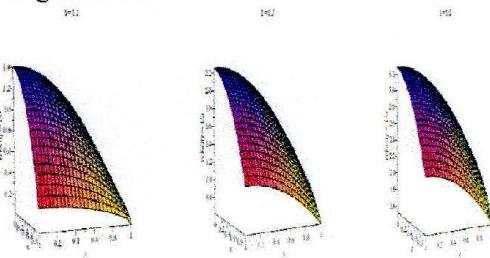
$$Q1 = a \cos(a\bar{v}_m) - \frac{\sin(a\bar{v}_m)}{\bar{v}_m}$$

$$S1 = 2a\bar{v}_m + \sin(2a\bar{v}_m)$$

$$T1 = \cosh(b\bar{v}_m) + \ell \bar{v}_m \sinh(b\bar{v}_m)$$

v_m dan \bar{v}_m adalah akar-akar dari persamaan $\cot(av) = \ell v$ dan $\cot(a\bar{v}) = \ell \bar{v}$ masing-masing.

Dengan pilihan konstanta slip ℓ : 0,1, 0,5 dan 1,0 menggunakan Maple diperoleh hasil sebagai berikut.



Gambar: Grafik 3D yang memperlihatkan profil kecepatan sepanjang sumbu koordinat dengan rasio $\varepsilon=1$ untuk beragam nilai ℓ : (a) $\ell = 0.1$; (b) $\ell = 0.5$; (c) $\ell = 1.0$

5. KESIMPULAN

Diperoleh kesimpulan bahwa untuk perbandingan $\varepsilon = 1$ atau $b = a$, kecepatan aliran fluida bertambah berbanding lurus dengan perubahan konstanta slip.

6. REFERENSI

- [1] P. Huang, Kenneth S. Breuer, Direct measurement of slip length in electrolyte solutions, Physics of Fluids 19 (2007) 028104.
- [2] R. B. Bird, W. E. Stewart, E. N. Lightfoot, Transport Phenomena, John Wiley & Sons, 2007.
- [3] Z. Duan, Y.S. Muzychka, Slip flow in non-circular micro-channels, Microfluid Nanofluid, 3 (2007) 473 – 484.
- [4] W.A. Ebert, E.M. Sparrow, 1965. Slip flow in rectangular and annular ducts, Trans ASME, 1018 – 1024
- [5] F. M. White, Viscous Fluid Flow, Mc Graw Hill, 1974.

- [6] E. B. Arkilic, Slip Flow in MicroChannels, Proceeding of Rarefied Gas Dynamic Symposium, Oxford, UK, July, 1994.
- [7] G. Chakraborty, A Note on Methods for Analysis of flow through Micro-channels. Int. Jurnal Of Heat and Mass transfer, 51, 4583-4588, 2008.
- [8] G. Tunc, Y. Bayazitoglu, Heat Transfer in Rectangular Microchannels, Int. Jurnal of Heat and Mass transfer 45, 765-773, 2002.
- [9] G. L. Morini and M. Spiga, Slip Flow in Rectangular Microtubes. Microscale Thermophysical Engineering, 2: 4, 273-282, 1998.
- [10]. M. Spiga and G. L. Morini, Laminar Heat Transfer in Rectangular Ducts, *Trends in Heat, Mass & Momentum Transfer*, vol. 3, pp. 19] 30, 1997.
- [11] V. O'Brien, Pulsatile Fully Developed Flow in Rectangular Channels, Journal of the Franklin Institute, 800: 3, 1975.
- [12] M. Bahrami, M. Yavanovich, M., Culham J R, Pressure drop of fully developed Laminar flow in microchannels of arbitrary cross section, Journal of Fluid Engineering, vol 128. Sept 2006.
- [13] B. Wiwatanapataphee, Yong Hong Wu, and Suharsono Suharsono , Transient Flows of Newtonian Fluid through a rectangular Microchannel with Slip Boundary. Abstract and Applied Analysis Volume 2014, Article ID 530605, 13 pages .
<http://dx.doi.org/10.1155/2014/530605>