

ANALISIS CFD HIDRODINAMIKA *SLIDER BEARING* DENGAN PERMUKAAN HETERO *SLIP/NO-SLIP* DENGAN/TANPA *RECESS*

*M. Tauviquirrahman^a, S. Hermawan^b

^aDosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

^bAlumni Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: mtauviq99@gmail.com

ABSTRAK

Dewasa ini, industri dihadapkan pada tekanan untuk mengurangi konsumsi energi dan memperpanjang umur komponen dalam usaha untuk mengurangi biaya produksi dan dampak lingkungan. Sudah umum diketahui bahwa permukaan *slip* pada *slider bearing* dapat memperkecil gaya gesek sekaligus meningkatkan daya dukung beban. Selain itu, pemberian *recess* pada permukaan juga dapat meningkatkan performansi pelumasan. Dalam tulisan ini, analisis CFD hidrodinamika pada *slider bearing* dilakukan untuk memperoleh performansi pelumasan yang efektif. Dua bentuk *recess* (persegi dan trapesium) dan area permukaan *slip/no-slip* dibandingkan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pemberian *slip* dengan desain area tertentu pada *bearing* memberikan hasil performansi yang lebih baik dibandingkan kondisi *no-slip*. Selain itu, pemberian *recess* berbentuk trapesium yang dikombinasikan dengan *slip* terbukti menghasilkan daya dukung beban yang besar dan gesekan yang kecil.

Kata kunci: CFD (*computational fluid dynamic*), pelumasan, *slip*, *recess*.

1. PENDAHULUAN

Sejak zaman dulu, aktivitas manusia selalu erat kaitannya dengan gesekan, ketahanan untuk bergeser. Dalam banyak hal, gaya gesek sangat bermanfaat bagi manusia seperti pengereman mobil. Namun dalam banyak hal lainnya, aktivitas manusia banyak yang terhambat akibat gaya gesek ini. Bagaimana cara meminimalkan gesekan menjadi salah satu dasar permasalahan utama teknologi hingga saat ini. Oleh karena itu, tribologi berperan sangat penting dalam meningkatkan suatu performansi alat-alat industri dimana menyangkut ketahanan terhadap force seperti gaya gesek [1]. Salah satu komponen yang berkaitan erat dengan industri adalah *slider bearing*, dimana meliputi komponen yang bergerak dan salah satu tantangan dalam desainnya adalah membatasi gesekan yang terjadi antara komponen-komponen yang mengalami kontak [2]. Untuk mengurangi gesekan antar permukaan yang ada dalam *slider bearing*, maka dibutuhkan pelumas.

Dekade ini telah ditemukan bahwa *slip* terjadi pada aliran baik pada skala mikro maupun makro. *Slip* terbukti dapat mengurangi gaya gesek [3-7], sehingga dapat dimanfaatkan untuk membuat sistem *slider bearing* dengan gaya gesek rendah. Akan tetapi jika *slip* dirancang secara seragam, *slip* cenderung mengurangi daya dukung pelumasan dalam kontak terlumasi. Selain *slip*, tipe tekstur baik yang berbentuk *sigle texture (recess/pocket)* maupun *multiple texture (partial texturing dan full texturing)* yang diterapkan pada salah satu permukaan *slider bearing* ternyata juga berpengaruh pada gaya gesek dan daya dukung pelumasan. Berbagai penelitian juga telah dilakukan terkait dengan tekstur dan segala variasinya dengan tujuan memaksimalkan performansi pelumasan. Analisis teoritik pada sistem dengan permukaan bertekstur pada umumnya dilakukan dengan menggunakan persamaan Reynolds [8-12]. Sebagai misal, penelitian terkini yang dilakukan oleh Tauviquirrahman, dkk [12]. Mereka menunjukkan bahwa *partial texturing* memberikan peningkatan yang lebih baik daripada *full texturing*. Namun, dibandingkan permukaan *flat* dengan *slip* kompleks, permukaan tekstur sebagian masih kurang efisien untuk meningkatkan daya dukung beban, bahkan jika konfigurasi tekstur ini dikombinasikan dengan kondisi *slip*. Maka diperlukan pengaturan pola permukaan *slip/no-slip* dan tekstur pada permukaan *bearing*. Meskipun demikian, seiring dengan meningkatnya masalah keteknikan dengan geometri yang kompleks, persamaan Reynolds menjadi semakin kurang valid. Karena itu, aplikasi simulasi CFD (*computational fluid dynamic*) berdasar persamaan Navier-Stokes menjadi semakin populer dan cukup efektif kaitannya dengan penelitian aplikasi tekstur dalam *bearing* [13-16].

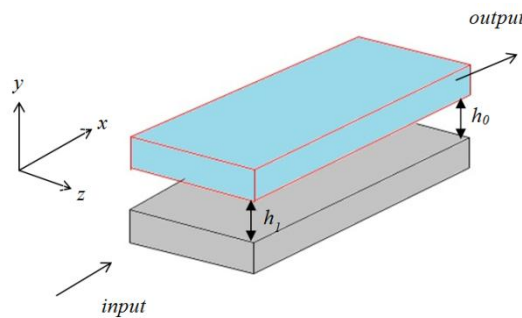
Meskipun demikian, dalam beberapa penelitian yang telah dipublikasikan, analisa performansi pelumasan pada *bearing* bertekstur (yang memiliki *recess*) hanya dilakukan dengan mengesampingkan fakta bahwa *slip* ada pada kontak. Selain itu, pemodelan *recess* hanya dilakukan dengan mengasumsikan bahwa lebar bearing *tak* terbatas (analisa 1 dimensi). Berdasarkan penelitian terbaru [17], pemodelan lebar *bearing* memiliki efek yang signifikan terhadap prediksi performansi pelumasan dengan *slip*. Dengan demikian diperlukan suatu penelitian tentang pengaruh permukaan heterogen *slip/no-slip* dan variasi bentuk *recess* dengan analisa CFD 2 dimensi sehingga diperoleh prediksi performansi pelumasan pada *slider bearing* yang lebih akurat.

2. METODOLOGI

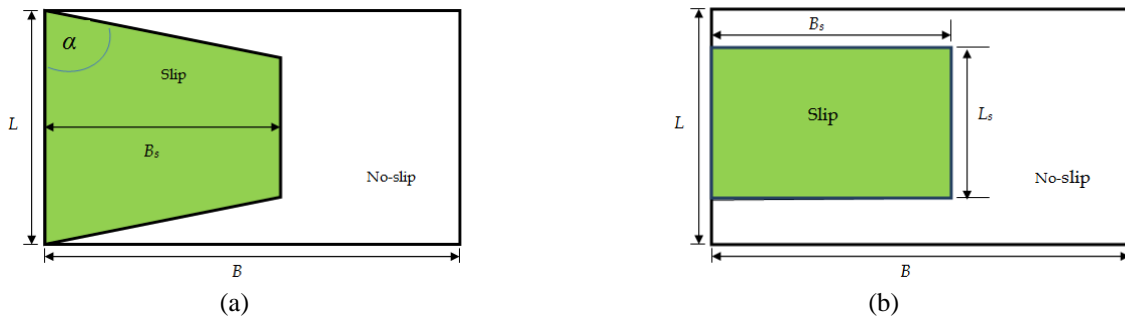
2.1 Skema slider bearing

Finite slider bearing dimodelkan dalam inclined pad bearing yang sederhana seperti pada Gambar 1, dimana dua permukaan berbentuk konvergen dengan sudut tertentu. Pada slider bearing ini ketebalan film atau ketinggian fluida memisahkan dua permukaan. Ketinggian fluida ini merupakan fungsi linier dari x (Persamaan 1). Permukaan atas dilabelkan sebagai permukaan 1 yang merupakan permukaan yang diam. Sedangkan permukaan bawah dilabelkan dengan permukaan 2, yaitu permukaan yang bergerak dengan kecepatan U_1 . Pada permukaan atas, ditambahkan recess dengan dua pola untuk diperbandingkan, yaitu pola trapezium dan pola persegi, seperti disajikan dalam Gambar 2. Daerah ini, dianggap sebagai daerah slip dan ditempatkan sejajar dengan ujung inlet fluida. Dan pada tiga sisi yang tersisa yaitu daerah no-slip. Efek yang diinginkan adalah fluida mengalir pertama melalui daerah slip dan kemudian keluar melalui daerah no-slip.

$$h(x) = h_1 - \frac{(h_1 - h_0)}{L} x \tag{1}$$



Gambar 1. Pandangan isometri skema model slider bearing kondisi no-slip.



Gambar 2. Pandangan atas geometri slider bearing kondisi heteroslip dengan (a) pola trapesium, (b) pola persegi.

Untuk keseluruhan simulasi dalam penelitian, geometri yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Panjang bearing $B = 1 \text{ mm}$
- Lebar bearing $L = 1 \text{ mm}$
- Tinggi maksimum $h_1 = 1 \text{ }\mu\text{m}$
- Tinggi minimum $h_0 = 1 \text{ }\mu\text{m}$

Untuk pola persegi

- Panjang permukaan slip $B_s = 0.65 \text{ mm}$
- Lebar permukaan slip $L_s = 0.8 \text{ mm}$

Untuk pola trapesium

- Panjang permukaan slip $B_s = 0.7 \text{ mm}$
- Sudut permukaan slip $\alpha = 70^\circ$

2.2 Kondisi Batas dan Prosedur Solusi

Dalam penelitian ini, asumsi nilai tekanan pada sisi masuk dan keluar slider bearing diatur nol dan gradien kecepatan bernilai nol pada arah normal terhadap sliding. Pada permukaan yang bergerak, kondisi batas heteroslip diasumsikan untuk persamaan aliran, yaitu kecepatan dinilai konstan, sementara tekanan memiliki kondisi batas gradien nol. Kondisi batas yang digunakan pada kasus ini adalah sebagai berikut:

- Kecepatan dinding bawah $U_1 = 10 \text{ m/s}$
- Bilangan Reynolds $Re = 10$ (aliran laminar)

$$\begin{aligned} \text{Massa jenis pelumas} & \quad \rho = 10^3 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Viskositas dinamis pelumas} & \quad \eta = 10^{-3} \text{ Pas} \end{aligned}$$

Dalam penelitian ini, empat kasus yang akan disimulasikan sebagai bentuk variasi *slider bearing* (lihat Tabel 2). Pelumasan yang terjadi akan dianalisa karakteristik hidrodinamiknya dengan menggunakan perangkat lunak komersial CFD (*computational fluid dynamic*). Tujuan yang ingin dicapai adalah apakah dengan mengkombinasikan slip dengan *recess* akan meningkatkan atau menurunkan performansi pelumasan dalam *slider bearing*. Untuk memodelkan slip, kode UDF (*user-defined-function*) dalam perangkat lunak komersial CFD dikembangkan berdasarkan persamaan Navier-slip. Kode ini selanjutnya dieksekusi agar bisa masuk dan dimanfaatkan dalam perangkat tersebut.

Tabel 2. Konfigurasi bearing yang digunakan

No	Konfigurasi bearing
1	Bearing dengan recess pola persegi
2	Bearing dengan recess pola trapesium
3	Bearing dengan kombinasi heteroslip dengan recess pola persegi
4	Bearing dengan kombinasi heteroslip dengan recess pola trapesium

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Validasi

Hal pertama yang dilakukan dalam upaya menyelesaikan suatu permasalahan analisis adalah mencari suatu pembandingan. Pembandingan tersebut digunakan untuk melakukan suatu pengujian kelayakan hasil, yaitu dengan membandingkan hasil-hasilnya. Dari hasil validasi, diketahui hasil perhitungan ulang telah memenuhi syarat atau tidak. Klasifikasi memenuhi syarat jika hasil sudah mendekati dengan hasil perhitungan yang telah ada di beberapa literatur yang dijadikan acuan. Dalam penelitian ini, penelitian yang dijadikan acuan adalah hasil kerja Wu dkk [18] dimana mereka membuat pemodelan *slider bearing* dengan *recess* yang dikombinasikan dengan slip. Tabel 1 menyajikan validasi hasil simulasi (daya dukung beban (*load support*), W) seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Dari Tabel 1 dapat diambil kesimpulan bahwa kode UDF yang dikembangkan dalam perangkat lunak komersial CFD terbukti sukses diaplikasikan dalam analisa hidrodinamika *slider bearing*. Selisih antara hasil analitik [18] dengan hasil numeric *present study* tidak lebih dari 5 %.

Tabel 1. Validasi daya dukung beban pada *slider bearing*

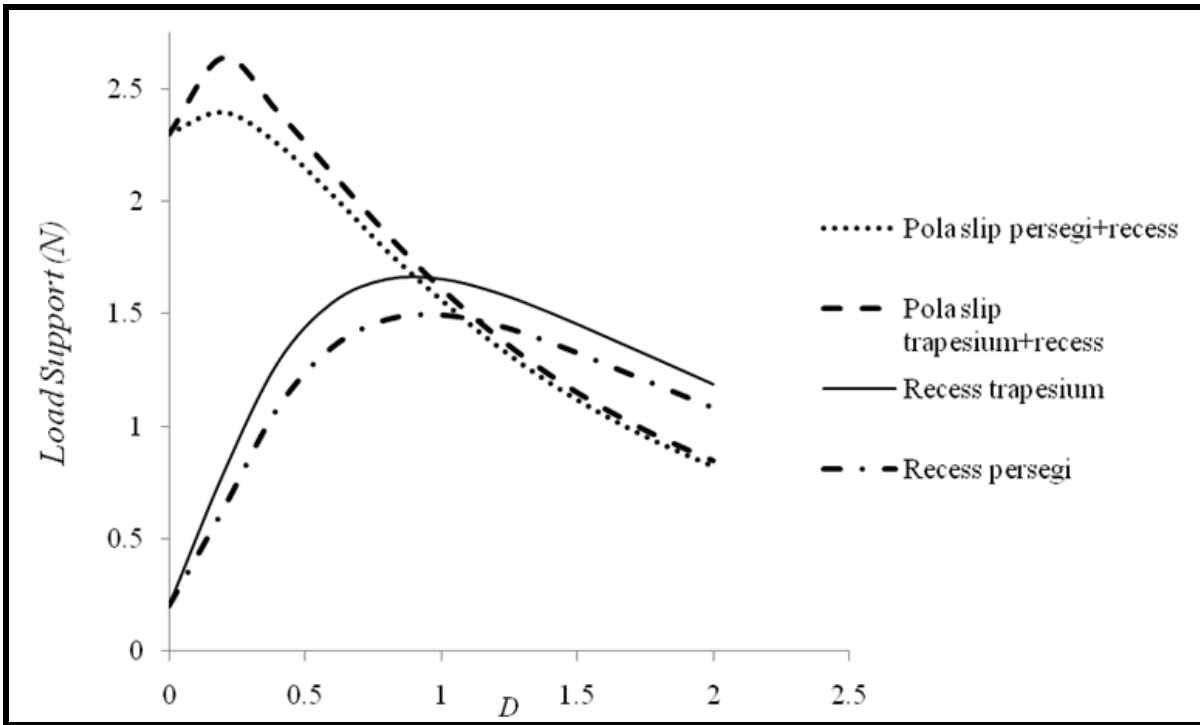
Konfigurasi	Ref [18]	<i>Present Study</i>
	$W/W_{no-slip}$	$W/W_{no-slip}$
Heteroslip pola persegi	2.28	2.18

Keterangan: $W/W_{no-slip}$ adalah rasio antara daya dukung beban pada *slider bearing* dengan slip dengan daya dukung pada *slider bearing* klasik (no-slip)

3.2 Pengaruh slip dengan/tanpa *recess*

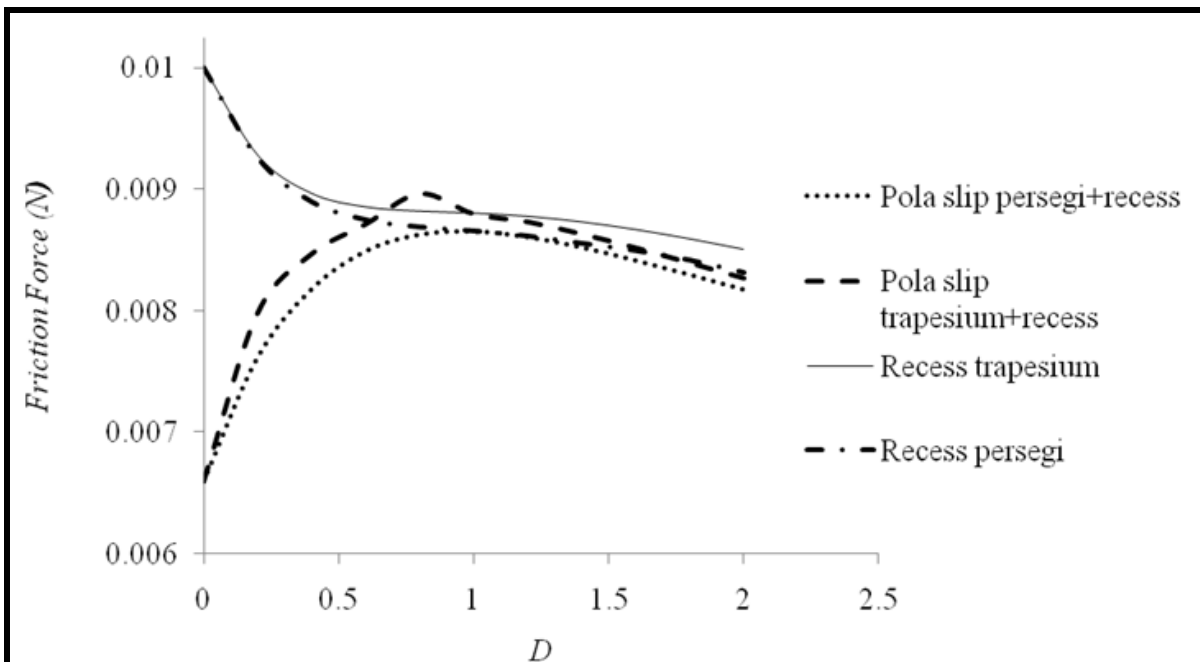
Gambar 3-7 menyajikan hasil-hasil simulasi perangkat lunak CFD berupa daya dukung beban (*load support*), gaya gesekan (*friction force*), dan koefisien gesek (*friction coefficient*) dengan menggunakan berbagai konfigurasi *slider bearing*. Seperti tampak pada Gambar 3, variasi kedalaman *recess*, D memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap *load support*. Ada pola menarik yang bisa diamati dari Gambar 3 di bawah bahwa mengkombinasikan slip dengan *recess* pada *slider bearing* merupakan ide terbaik dalam hal peningkatan performansi *load support* baik itu dengan menggunakan pola area slip *recess* trapezium maupun persegi. Meskipun demikian, jika kedalaman *recess* D diatur sama dengan nol yang berarti permukaan *slider bearing* nya dirancang flat tanpa *recess*, pelumasan mampu memberikan *load support* maksimum.

Seiring dengan meningkatnya kedalaman *recess*, *load support* menurun untuk kedua konfigurasi *bearing* dengan kombinasi slip dan *recess*. Bahkan pada kedalaman D tertentu, nilai *load support* nya lebih rendah dibanding dengan performansi *bearing* yang hanya mengandalkan *recess* (tanpa slip). Dapat dilihat juga dari Gambar 3 ini bahwa pola slip dan *recess* trapesium memberikan *load support* yang lebih besar dibanding dengan pola slip dan *recess* persegi. Begitu juga untuk kasus *bearing* klasik (tanpa slip), secara umum *recess* dengan pola trapesium juga lebih tinggi dibandingkan dengan *recess* dengan pola persegi. Perlu dicatat pula bahwa ada nilai optimum untuk harga kedalaman *recess* baik itu untuk bentuk persegi maupun trapesium. Dengan $D_{optimum}$ ini, harga *load support* maksimum dapat dicapai. Selain itu, penemuan lainnya adalah bahwa *slider bearing* tanpa slip ketika *recess* tidak ada, *load support* nya mendekati nol yang berarti kegagalan *bearing* akibat pelumasan yang gagal akan terdeteksi.



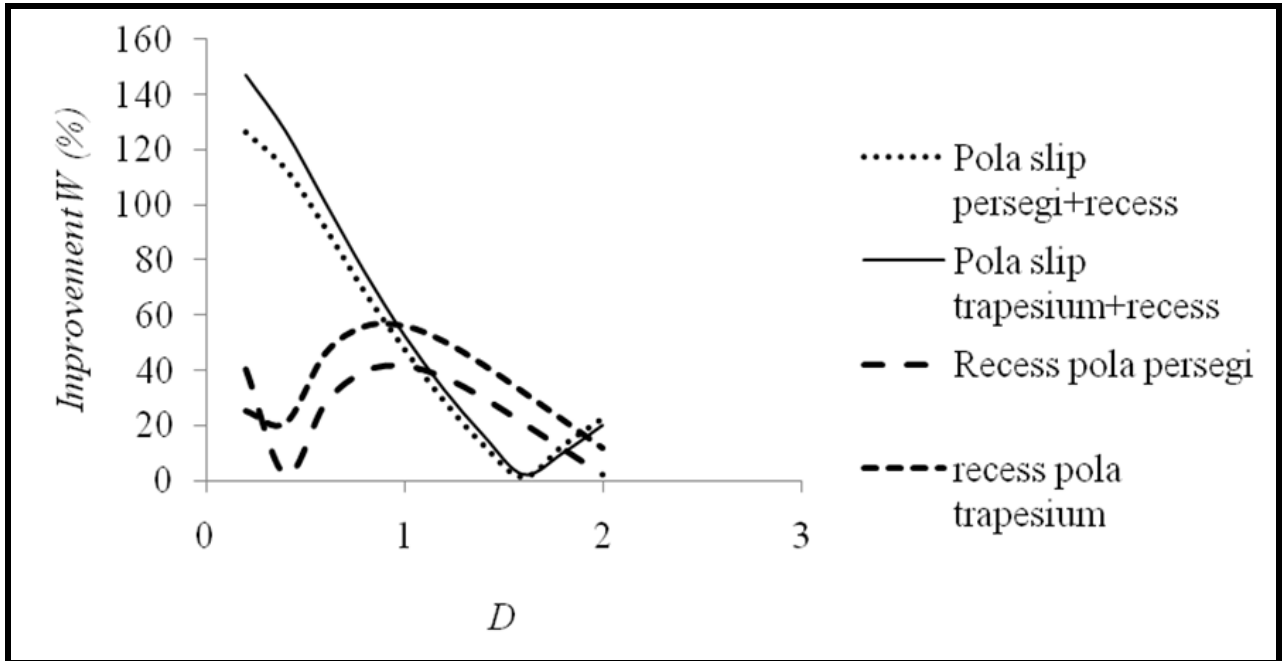
Gambar 3. Grafik perbandingan *load support* (W) dengan kedalaman *recess* untuk konfigurasi no-slip (pola persegi dan pola trapesium) dengan *recess*, heteroslip untuk pola persegi dengan *recess* dan heteroslip untuk pola trapesium dengan *recess*.

Efek dari kedalaman *recess* dan *friction force* (F) untuk *slider bearing* dengan slip maupun no-slip ditunjukkan oleh Gambar 4. Grafik tersebut menunjukkan tren yang berbeda. Untuk kondisi slip dengan *recess*, *friction force* (F) minimum pada saat kedalaman 0 dan meningkat sampai mencapai harga maksimum ketika kedalaman *recess* D meningkat. Sedangkan untuk kondisi *recess* no-slip, *friction force* (F) berharga maksimum ketika kedalaman *recess* nol kemudian semakin menurun saat kedalaman *recess*-nya meningkat.

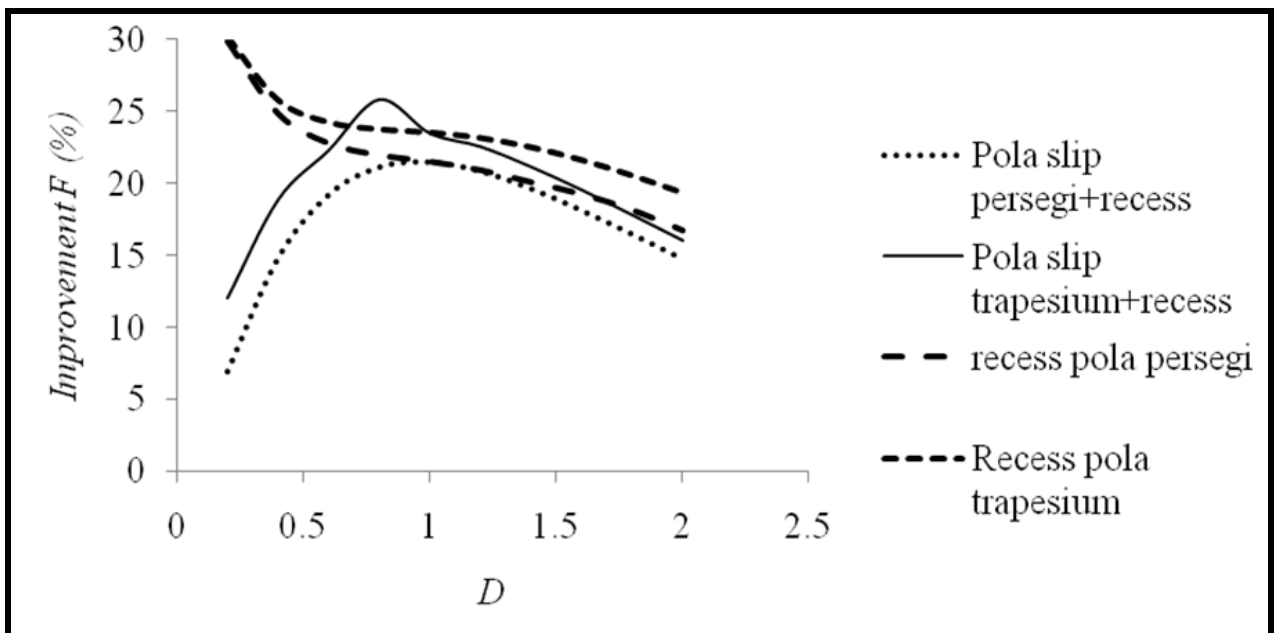


Gambar 4. Grafik perbandingan *friction force* (F) dengan kedalaman *recess* untuk kasus no-slip (pola persegi dan pola trapesium) dengan *recess*, heteroslip untuk pola persegi dengan *recess* dan heteroslip untuk pola trapesium dengan *recess*.

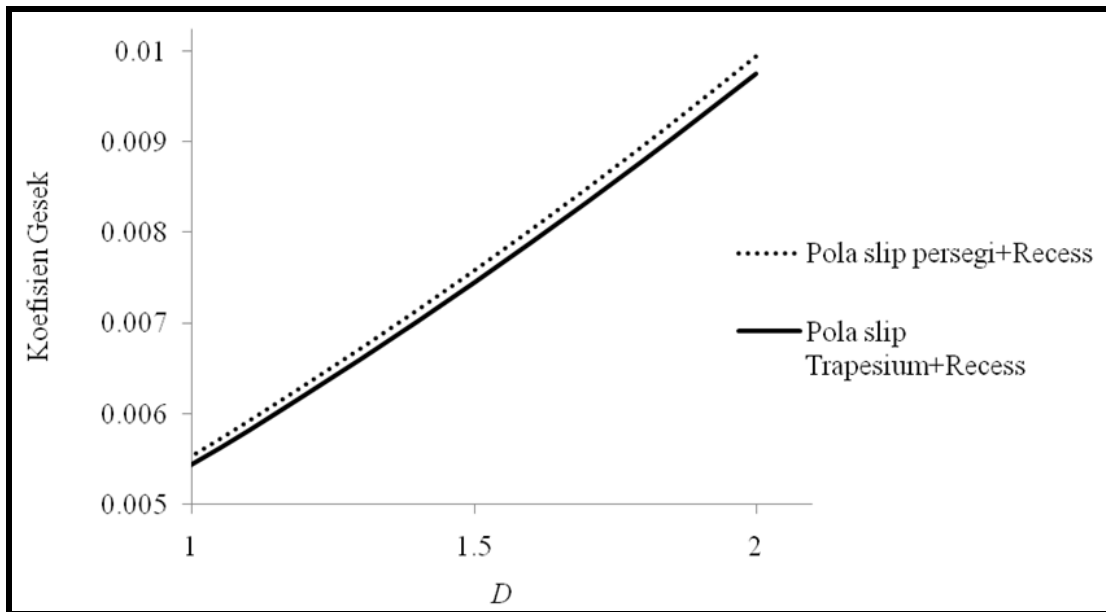
Gambar 5 menunjukkan bahwa kenaikan *load support* (W) tertinggi terjadi pada heteroslip pola trapesium dengan kedalaman *recess* $0.2 \mu\text{m}$. Sedangkan Gambar 6 menunjukkan bahwa penurunan *friction force* maksimum dicapai oleh *bearing* dengan konfigurasi heteroslip pola trapesium dengan *recess* $0.8 \mu\text{m}$. Hal ini karena heteroslip pola trapesium dengan *recess* mempunyai koefisien gesek yang paling rendah diantara ketiga konfigurasi lainnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 5. Grafik perbandingan kenaikan *load support* (W) untuk konfigurasi *recess* persegi, *recess* trapesium, heteroslip untuk pola persegi dengan *recess* dan heteroslip untuk pola trapesium dengan *recess*.



Gambar 6. Grafik perbandingan kenaikan *friction force* (F) untuk konfigurasi *recess* persegi, *recess* trapesium, heteroslip untuk pola persegi dengan *recess* dan heteroslip untuk pola trapesium dengan *recess*.



Gambar 7. Grafik perbandingan koefisien gesek untuk konfigurasi heteroslip untuk pola persegi *recess* dan heteroslip pola trapesium dengan *recess*.

4. KESIMPULAN

Kode UDF untuk memodelkan slip dalam perangkat lunak komersial CFD telah berhasil dilakukan. Berbagai konfigurasi *slider bearing* dibandingkan satu sama lain terkait dengan performansi pelumasan. Kesimpulan yang dapat diambil dari simulasi numerik *slider bearing* dengan variasi *slip* dan/atau *recess* adalah sebagai berikut:

- 1) Pengaruh permukaan heteroslip baik dengan pola slip persegi maupun trapesium terhadap performansi pelumasan akan menghasilkan nilai *load support* yang lebih besar sampai dengan dua kali lipat dibandingkan dengan kondisi no-slip.
- 2) Permukaan dengan penerapan kombinasi antara permukaan *recess* dan heteroslip akan menghasilkan nilai *load support* (W) yang lebih besar dibandingkan dengan tanpa *recess*.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Bruzzone, A.A.G., Costa, H.L., Lonardo, P.M., dan Lucca, D.A., 2008, "Advances in engineered surfaces for functional performance", *Manufacturing Technology* **57**, hlm. 750–769.
2. Hamrock, B.J., Schmid, S.R., dan Jacobson, B.O., 2004, *Fundamental of Fluid Film Lubrication*, Marcel Dekker Inc, New York, Amerika Serikat.
3. Pit, R., Hervet, H., dan Leger, L., 2000, "Direct experimental evidence of slip in hexadecane: Solid interfaces," *Physical Review Letters* **85**, hlm. 980–983.
4. Zhu, Y.X., dan Granick, S., 2002, "Limits of the hydrodynamic no-slip boundary condition," *Physical Review Letters* **88**, 106102.
5. Tretheway, D.C., dan Meinhart, C.D., 2002, "Apparent fluid slip at hydrophobic microchannel walls," *Physic of Fluids* **14**, hlm. L9-12.
6. Choi, C.H., Westin, K.J.A., dan Breuer, K.S., 2003, "Apparent slip flows in hydrophilic and hydrophobic microchannels," *Physic of Fluids* **15**, hlm. 2897–2902.
7. Cottin-Bizonne, C., Cross, B., Steinberger, A., dan Charlaix, E., 2005, "Boundary slip on smooth hydrophobic surfaces: intrinsic effects and possible artifacts," *Physical Review Letters* **94**, 056102.
8. Kligerman, Y., Etsion, I., dan Shinkarenko, A., 2005, "Improving tribological performance of piston rings by partial surface texturing," *ASME Journal of Tribology* **127**, hlm. 632–638.
9. Fowell, M., Olver, A.V., Gosman, A.D., Spikes, H.A., dan Pegg, I., 2007, "Entrainment and inlet suction: two mechanisms of hydrodynamic lubrication in textured bearings," *ASME Journal of Tribology* **129**, hlm. 337–347.
10. Rahmani, R., Shirvani, A., dan Shirvani, H., 2007, "Optimization of partially textured parallel thrust bearings with square-shaped micro dimple," *STLE Tribology Transactions* **50**, hlm. 401–406.
11. Pascovici, M.D., Ciccone, T., Fillon, M., dan Dobrica MB, 2009, "Analytical investigation of a partially textured parallel slider," *Proceeding of Institiutions of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology* **223**, hlm. 151–158.
12. Tauviquirrahman, M., Ismail, R., Jamari, J., dan Schipper, D.J., 2012, "A study of surface texturing and boundary slip on improving the load support of lubricated parallel sliding contacts," *Acta Mechanica* **224**, hlm. 365–381.

13. Sahlin, F., Glavatskih, S.B., Almqvist, T., dan Larsson, R., 2005, "Two-dimensional CFD-analysis of micro-patterned surfaces in hydrodynamic lubrication," *ASME Journal of Tribology* **127**, hlm. 96–102.
14. Brajdic-Mitidieri, P., Gosman, A.D., Loannides, E., dan Spikes, H.A., 2005, "CFD analysis of a low friction pocketed pad bearing," *ASME Journal of Tribology* **127**, hlm. 803–812.
15. Han, J., Fang, L., Sun, J., dan Ge, S., 2010, "Hydrodynamic lubrication of microdimple textured surface using three-dimensional CFD," *STLE Tribology Transactions* **53**, hlm. 860-870.
16. Shi, X., dan Ni, T., 2011, "Effects of groove textures on fully lubricated sliding with cavitation," *Tribology International* **44**, hlm. 2022–2028.
17. Tauviquirrahman, M., Ismail, R., Jamari, dan Schipper, D.J., 2013, "Optimization of the complex slip surface and its effect on the hydrodynamic performance of two-dimensional lubricated contacts," *Computers and Fluids* **79**, hlm. 27–43.
18. Wu, C.W., Ma, G.J., dan Zhou, P., 2007, "Hydrodynamic of slip wedge and optimization of surface slip property", *Science in China Series* **50**, hlm. 321–330.