

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

M6-009 Pompa Mikro Piringan Gesek Beralur Halus

Budiarso¹, Watanabe, K.², Ogata, S.³, Yanuar⁴

^{*1, *4}, Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Kampus Baru UI Depok 16424, Telp. 021-7270032 Fax. 021-7270033

^{*2, *3}, Dept. of Mech. Eng. , Graduate School of Engineering,
Tokyo Metropolitan University
Minami Ohsawa, Hachiooji-shi, Tokyo 192-0397, Japan

E-mail: mftbd@eng.ui.ac.id, budiarso@ui.ac.id

ABSTRAK

Riset untuk pengembangan peralatan pompa fluida berukuran mikro telah dilakukan sepanjang 25 tahun terakhir. Peneliti-peneliti pada bidang pompa mikro telah melakukan banyak riset untuk menentukan jenis pompa mikro terbaik bagi aplikasi-aplikasi spesifik.

Keunggulan pompa mikro piringan gesek dengan alur halus pada konstruksinya yang sederhana, tingkat efisiensi yang tinggi, kestabilan, dan biaya pembuatan yang rendah, membuat pompa mikro piringan gesek mempunyai prospek yang baik untuk memenuhi keperluan sirkulasi fluida pada saluran berskala mikro.

Telah banyak terjadi kemajuan pada teknologi pompa mikro namun masih banyak bidang yang memerlukan pengembangan secara spesifik, hal ini membuat bidang penelitian ini menjadi sebuah wilayah yang subur dimasa mendatang.

Kata Kunci : pompa mikro piringan gesek, saluran skala mikro, hambatan gesek.

1. Pendahuluan

Banyak aktivitas keteknikan memerlukan pengaliran fluida melalui saluran skala mikro dan/atau makro, seperti sensormikro, alat pemisah, sistem pengaliran obat, pendingin peralatan elektronik, dan pada peralatan fluida berskala kecil atau mikro.

Beberapa jenis pompa mikro yang dibuat untuk memenuhi keperluan tersebut, pada dasarnya mempunyai perbedaan spesifik satu sama lain-nya. Jenis-jenis ini termasuk pompa membran, pompa elektrodinamik, pompa elektrokinetik, pompa viskos, pompa rotary, pompa peristaltik dan beberapa tipe pompa yang lain. Pompa-pompa tersebut umumnya difabrikasi dengan menggunakan teknologi fabrikasimikro.

Walaupun berbagai macam pompa berukuran kecil sering direferensikan sebagai pompa mikro, namun definisi yang lebih akurat dan terkini adalah dengan melihat fungsi dimensional dalam jangkauan mikrometer (Gb.1). Pompa-pompa tersebut mempunyai peran istimewa dalam riset pada fluidamikro, dan telah tersedia dipasaran dalam beberapa tahun terakhir ini. Bentuknya yang secara dimensi cukup kecil, dengan biaya awal serta akurasi yang semakin baik jika dibandingkan dengan pompa ukuran kecil yang telah ada, membuat jenis pompa ini semakin diminati.

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

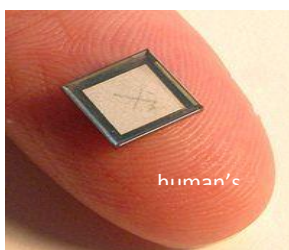
Pompa mikro dapat digolongkan menjadi dua kategori, mekanik dan non-mekanik: sistem mekanik terdiri dari bagian-bagian yang bergerak, yang biasanya berupa membran atau katup. Gaya gerak dapat dihasilkan melalui penggunaan piezoelektrik, elektrostatis, termo pneumatik, pneumatik atau efek-efek magnetik. Pompa non-mekanik bekerja dengan elektrodinamik, elektro-osmotik atau melalui aliran ultrasonik, untuk menamakan beberapa contoh mekanisme penggerak utama yang sedang diteliti. Setiap macam pengendali fluidamikro atau sistem analisis (μ Tas, sistem Lab-on-a-Chip) memerlukan suatu jenis sistem pompa mikro. Sebagai tambahan, sistem fluida makro yang bergantung pada pompa ukuran kecil dapat lebih dkecilkan bentuk ukurannya atau ditingkatkan fungsinya dengan mengintegrasikannya dengan pompa mikro.

Pada 2003, pompa mikro komersil pertama dijual untuk umum. Pompa mikro yang terbuat dari polimer merupakan tipe dengan biaya produksi paling rendah, sementara pompa mikro yang terbuat dari silikon merupakan pompa dengan ukuran paling kecil di dunia (Gb. 2). Pada dekade terakhir pengembangan pompa mikro berkembang dengan pesat terutama pada beberapa bidang seperti bidang kimia dan bio-analisis, bioteknologi,

Peralatan medis dan diagnostis, elektronik dan semikonduktor, cat dan tinta, farmasi dan manufaktur kosmetik, instrumen laboratorium klinis dan analisis.



Gambar 1. Beberapa jenis pompa mikro



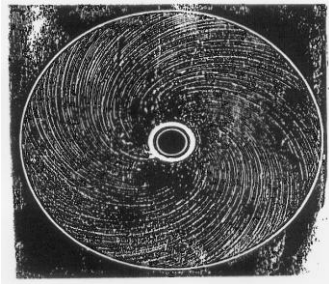
Gambar 2. Pompa mikro terkecil di

Pompa mekanik seperti pompa rotari, peristaltik dan pompa membran mempunyai variasi yang cukup luas dalam fluida yang digunakan atau aplikasinya. Namun demikian, pompa mikro mekanik dipercayai hanya mungkin dapat digunakan pada ukuran-ukuran tertentu ^[1], hal ini dikarenakan oleh besarnya gaya viskos fluida pada ukuran geometris yang kecil. Untuk skala kecil, gaya viskos akan berpengaruh cukup besar, dan mengakibatkan jatuhnya nilai tekanan aliran fluida pada jarak pendek di sebuah saluran ^[2].

2. Teori dan Pembahasan

Aliran yang timbul diantara piringan berputar dan yang tidak berputar pada mesin turbo sangat mempengaruhi distribusi kecepatan, lapisan batas dan karakteristik turbulensi pada piringan, yang pada akhirnya akan berpengaruh langsung pada bentuk desain piringan dan kemampuan akhir dari mesin turbo tersebut. Karena itu sangatlah penting dalam skala luas untuk mengerti pergerakan yang akan timbul pada rongga piringan dan mekanisme yang mempengaruhinya. Perbedaan antara aliran pada piringan terbuka dan tertutup bisa mempengaruhi pergerakan awal dari turbulensi. Masalah yang ada pada piringan tertutup, seperti pergerakan sentrifugal, adalah masalah pada friksi tenaga putaran piringan dan energi yang hilang dan transfer kalor yang berhubungan dengan sirkulasi dan aliran sekunder yang disebabkan oleh elemen-elemen yang berputar.

Beberapa peneliti telah mempelajari sebuah efek friksi dinding pada saat menimbulkan hambatan pada piringan halus tertutup^{[3][4]}, dimana mereka telah memberikan kontribusi yang besar dalam memahami fenomena aliran yang berhubungan dengan rotasi sebuah piringan halus tertutup dalam sebuah sangkar silindris baik secara eksperimen maupun secara teori. Hasil eksperimen yang telah dilakukan menunjukkan bahwa efek dari dimensi sangkar dalam aliran dan bilangan Reynolds untuk sebuah piringan halus tertutup mempunyai pengaruh yang cukup signifikan terhadap bentuk aliran (Gb. 3).



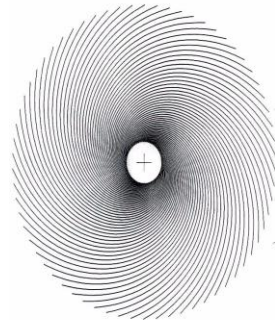
Gambar 3. Visualisasi goseran pada aliran

Eksperimen-ekperimen lain telah dilakukan untuk menghitung momen friksi, fluktuasi kecepatan, dan sifat serta visualisasi aliran dalam sebuah piringan tertutup beralur spiral halus untuk secara pasif mendapatkan sebuah pengurangan hambatan dinding yang cukup baik dalam daya tahan namun tetap mudah diaplikasikan^[6].

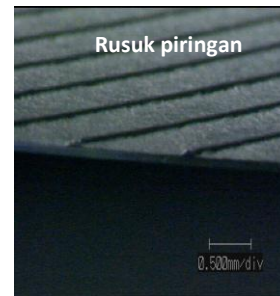
Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

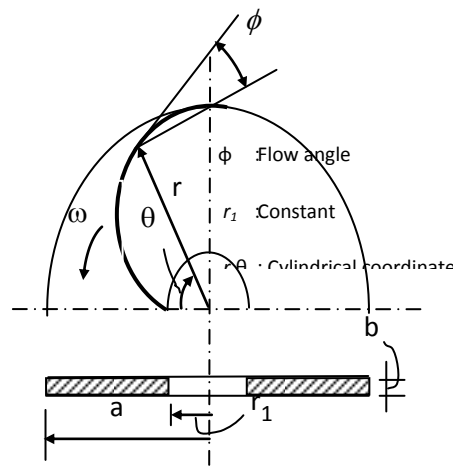
Dengan mempertimbangkan bentuk aliran, sebuah piringan dibuat dengan sebuah teknik pasif pengurangan hambatan dinding dengan membentuk sebuah bentuk alur pada salah satu sisi piringan melalui proses goresan (Gb.4). Pembesaran fotografis dari aluran halus pada sebuah piringan ditunjukkan pada Gambar 5. Bentuk dari alur halus ini diasumsikan merupakan salah satu dari logaritma kurva spiral berdasarkan hasil eksperimen sebelumnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 4. Alur spiral halus



Gambar 5. Foto alur spiral halus



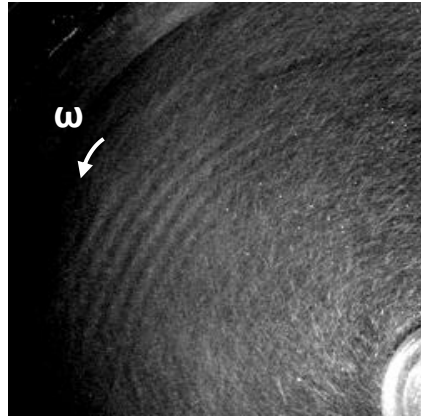
Gambar 6. Sudut aliran (ϕ) dan geometri piringan

Hasil eksperimen yang menunjukkan koefisien momen pada piringan dengan banyak alur dibandingkan dengan piringan tanpa alur dalam sebuah cairan gliserin aqueous (fluida Newton) pada permukaan laminar, transitional dan bagian turbulensi.

Gambar 7 (a) dan (b) menunjukkan visualisasi aliran dalam arah tangensial terhadap lapisan piringan tidak beralur dan yang beralur halus, yang menggambarkan aliran pusaran dalam wilayah turbulensi. Disimpulkan bahwa alur dapat menurunkan perpindahan momentum yang dihasilkan oleh pusaran aliran, dengan konsekuensi turunnya tegangan geser permukaan dan mengurangi intensitas turbulensi selama letupan dan diantara letupan [7].



(a) Piringan halus



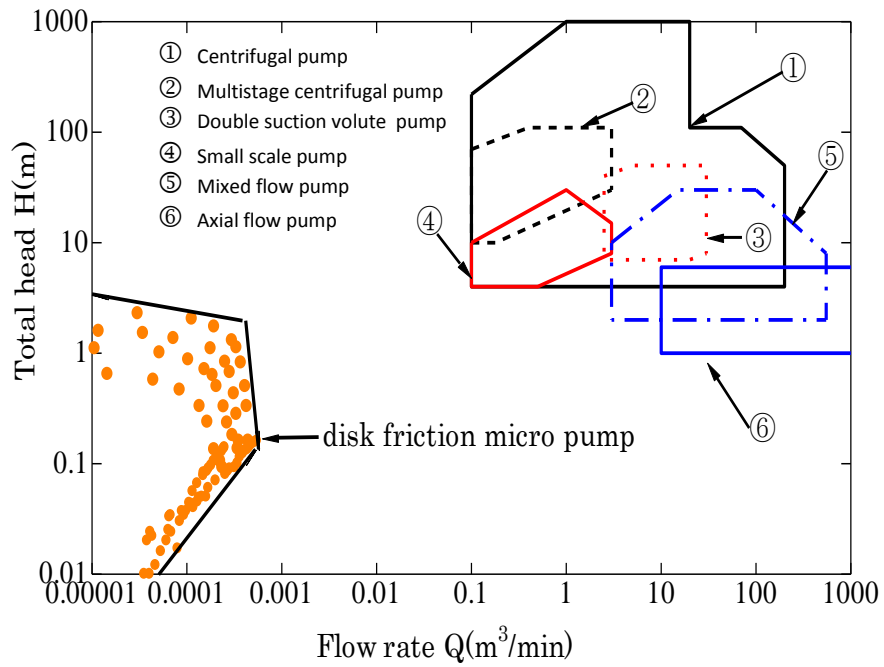
(b) Piringan dengan alur spiral

Gambar 7. Pola aliran pada piringan putar ^[6].

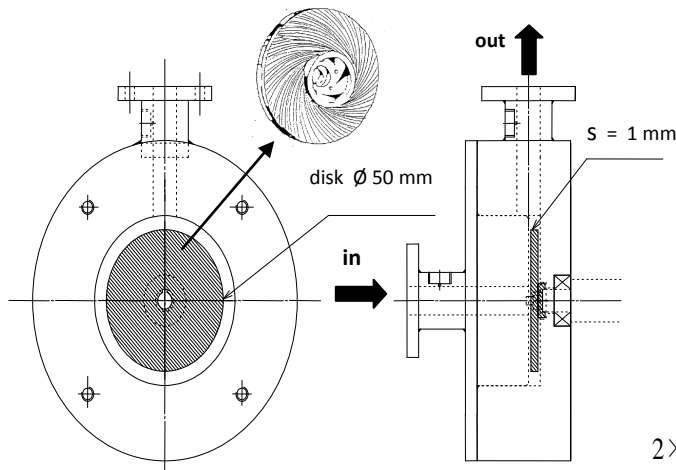
Pompa Friksi Piringan

Riset untuk pengembangan peralatan pompa fluida berukuran mikro telah dilakukan sepanjang 25 tahun terakhir. Peneliti-peneliti pada bidang pompa mikro telah melakukan banyak riset untuk menentukan jenis pompa mikro terbaik bagi aplikasi-aplikasi spesifik. Telah banyak terjadi kemajuan pada teknologi pompa mikro namun masih banyak bidang yang membutuhkan pengembangan secara spesifik, hal ini membuat bidang penelitian ini menjadi sebuah wilayah yang subur dimasa mendatang. Keunggulan pompa mikro piringan gesek diharapkan akan menjadi salah satu pompa mikro yang diperlukan di masa depan. Keunggulannya antara lain adalah konstruksinya yang sederhana, biaya pembuatannya yang rendah, tingkat efisiensi yang tinggi, kestabilan, unjuk kerja yang dapat dengan mudah diprediksi, ketahanan terhadap kavitas karena konfigurasi sudu yang sederhana, dan juga karena kemudahan merubah diameter piringan untuk berbagai macam spesifikasi keperluan. Gb. 8 menunjukkan tinggi tekan total dari pompa piringan gesek dibandingkan dengan jenis pompa yang lain.

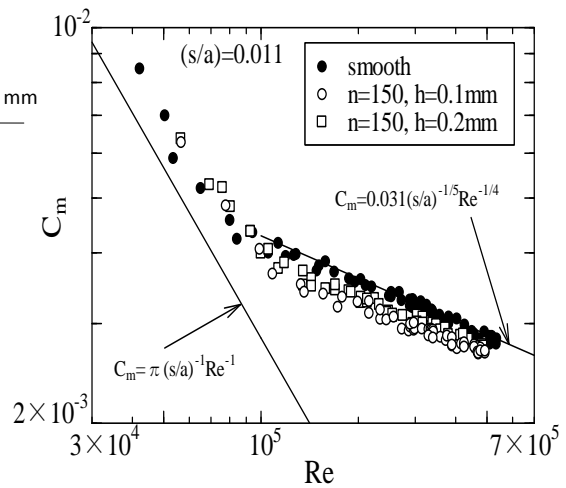
Pompa piringan gesek dengan alur halus juga telah diteliti di beberapa tahun terakhir oleh ^[8] (Gb. 9). Beberapa hasil menunjukkan (Gambar 10, 11, 12 dan 13) bahwa pompa jenis ini mempunyai prospek yang baik untuk menjadi pompa mikro yang berpotensi di masa datang. Dengan menggunakan hukum keserupaan akan diperoleh parameter tak berdimensi yang memungkinkan untuk dipakai bagi penskalaan peralatan dalam sistem fluida, yang dapat diwakili melalui ukuran diameter (d), panjang (l), dan volume (v). Oleh karena itu potensi pengecilan ukuran pompa piringan gesek menjadi pompa berskala mikro sangat besar.



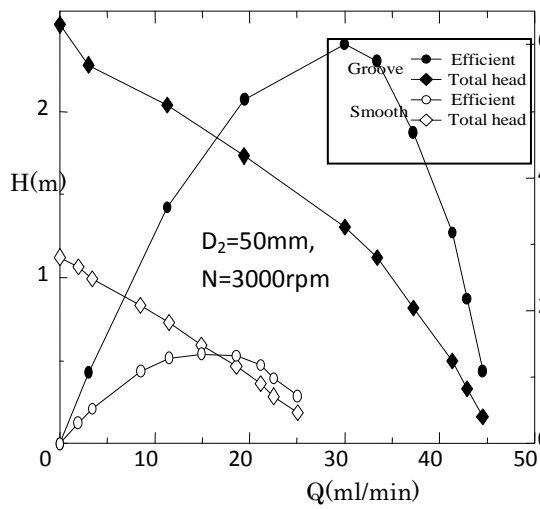
Gambar 8. Tinggi tekan total



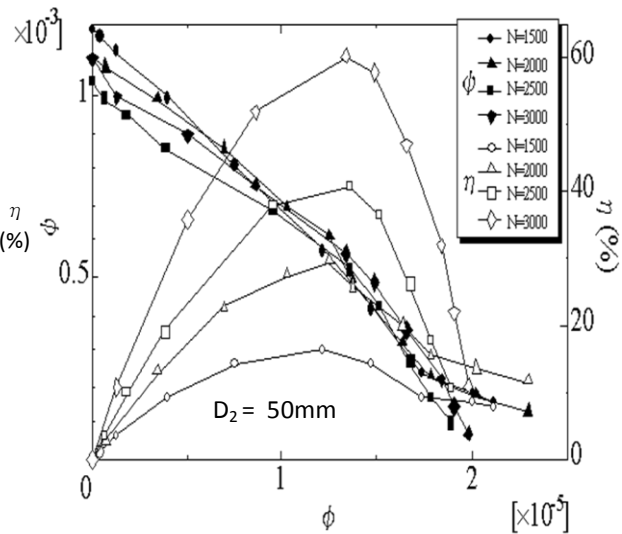
Gambar 9. Pompa piringan gesek



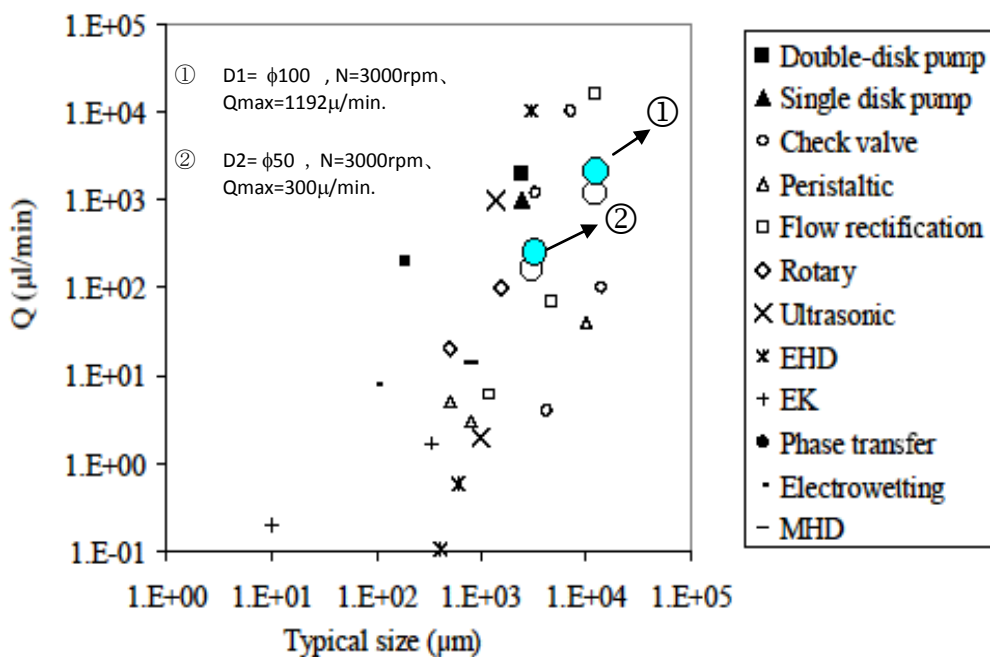
Gambar 10. Pengurangan hambatan pompa piringan



Gambar 11. Tinggi tekan dan efisiensi



Gambar 12 Tinggi tekan dan efisiensi pompa



Gambar 13. Kapasitas alir berbagai pompa mikro

Ref.: Daniel B. Blanchard et al., "Single-Disk and Double-Disk Viscous Micro Pump", ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, IMECE2004-61705, (2004).

3. Kesimpulan

Sangatlah penting untuk memenuhi keperluan sirkulasi fluida pada saluran berskala mikro untuk berbagai bidang aplikasi di masa mendatang, terutama di bidang-bidang medis, bioteknologi, peralatan diagnostik, elektronik dan semikonduktor, cat dan tinta, farmasi dan manufaktur kosmetik, instrumen laboratorium klinis dan analisis.

Keunggulan pompa mikro piringan gesek dengan alur halus pada konstruksinya yang sederhana, tingkat efisiensi yang tinggi, kestabilan, dan biaya pembuatan yang rendah, membuat pompa mikro piringan gesek mempunyai prospek yang baik untuk memenuhi keperluan sirkulasi fluida pada saluran berskala mikro. Namun demikian pompa mikro kategori mekanik jenis rotari ini masih mempunyai ukuran dan daya gerak yang relatif cukup besar. Untuk hal itulah masih diperlukan riset dalam masalah penurunan daya gerak dan ukurannya di masa mendatang.

Daftar Pustaka

- [1] Nguyen, N.T.; Huang, X.Y.; Chuan, T.K. MEMS-Micropumps: A Review. *J. Fluids Eng.* **2002**, *124*, 384-392.
- [2]. Kilani, M., Galambos, P., Haik, Y., and Chen, C.J., 2003, "Design and Analysis of a Surface Micromachined Spiral Channel Viscous Pump", *ASME Journal of Fluid Engineering*, *125* (2), pp.339-344.
- [3]. Daily, J.W., and Nece, R.E., 1960, "Chamber Dimension Effects on Induced Flow and Frictional Resistance of Enclosed Rotating Disks", *Trans.ASME Ser.D*, 217-232.
- [4] Yamada, Y. and Ito, M., 1975, "On the Frictional Resistance of Enclosed Rotating Cones", *Bulletin of the JSME*, Vol. 18, No. 123, September.
- [5] Kato, H., Watanabe, K. and Naya, K., 1978, "Visualization of Fluid Flow Near a Rotating Disk in Dilute Polymer Solutions", *Bulletin of the JSME*, Vol. 21, No. 161, November, pp. 1618-1625.
- [6] Watanabe, K., Budiarmo, Ogata, S., and Uemura, K., 2005, "Drag Reduction of an Enclosed Rotating Disk with Fine Spiral Grooves", *Trans JSME*, Vol. 05-0296.
- [7] Walsh, M.J., 1982, "Turbulent Boundary Layer Drag Reduction Using Riblets", *AIAA paper* 82-0169.
- [8] Watanabe, K., Ogata, S., and Taguchi, Y., 2006, "Study on Shear pump – The Performance Improvement by Using a Disk with Fine Groove", *Turbomachinery*, Vol.34, No. 2, pp 65-70.