

**M6-023 Penelitian *Secondary Flow* pada Pipa Bulat
dan Pipa Kotak**

Yanuar^{*)}, Paian Oppu Torryselly

^{*)}Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik.
Universitas Indonesia, Depok 16424
Email; Yanuar@eng.ui.ac.id

ABSTRAK

Kerugian aliran di dalam pipa terjadi akibat pergesekan antara lapisan fluida yang mempunyai kecepatan rendah dengan lapisan kecepatan yang lebih tinggi. Aliran tegak lurus sumbu (secondary flow) yang terjadi akan menambah kerugian jatuh tekanan. Tujuan dari penelitian ini adalah membuktikan efek secondary flow yang terjadi pada aliran dalam pipa bulat dan pipa kotak dengan diameter yang sama. Dua buah model propeller bebas yang sama dan identik diletakkan masing-masing pada pipa hisap dan pipa tekan. Variasi putaran pompa di ikuti perubahan putaran propeller. Fluida yang di gunakan adalah fluida air murni dengan temperature konstan 27^o C. Putaran propeller terjadi akibat aliran yang sejajar sumbu propeller dan secondary flow. Hasil pada putaran propeller pada pipa kotak lebih kecil di bandingkan pada pipa bulat. Secondary flow yang terjadi secara natural pada pipa kotak membuat vortex pada sudut-sudut penampang kotak menahan aliran secondary flow pada sekeliling pipa.

Kata kunci: secondary flow, propeller bebas, putaran propeller, vortex.

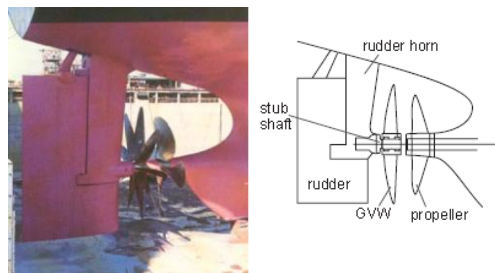
Pendahuluan

Penggunaan pompa sentrifugal untuk memindahkan fluida air dari satu wadah ke wadah yang lain, lazim kita temui dalam dunia industri maupun kehidupan sehari-hari. Pompa sentrifugal merupakan salah satu mesin rotodinamik yang menambahkan energi kepada fluida melalui sistem bilah (impeller atau rotor) yang berotasi. Energi yang dipindahkan oleh rotor tersebut menghasilkan kecepatan pada fluida, sehingga fluida meninggalkan rotor dengan kecepatan relatif terhadap rotor. Sifat fluida air yang incompressible menyebabkan Fluida air secara kontinu mengalir melalui bagian masuk rotor. Karena bentuk rotor pompa sentrifugal yang tegak lurus terhadap aliran masuk fluida, fluida yang mengalir melaluinya memiliki komponen komponen kecepatan antara lain :

1. komponen aksial atau sejajar dengan sumbu rotasi rotor
2. komponen radial atau meridional yang normal terhadap sumbu rotasi
3. komponen tangensial (*whirl component*) atau yang normal terhadap kedua komponen kecepatan aksial maupun radial.

Fluida masuk melalui bagian tengah impeller dalam arah yang aksial, dengan sebuah komponen tangensial (pusaran atau prorotasi). Akibat adanya komponen kecepatan tangensial dan sifat-sifat fluida air yang viskos, fluida mengalir melalui celah celah atau bilah kipas dan piringan meninggalkan bagian periferal impeller pada tekanan tinggi dan kecepatan tinggi memasuki *casing* atau *volute*.

Kombinasi antara ketiga komponen kecepatan fluida yang mengalir melalui *casing* atau *volute*, ditambah lagi dengan sifat viskos air, sifat turbulen air pada kecepatan alir tertentu, dan efek gaya gesek pada lapisan batas penampang pipa keluaran akan membentuk gelombang fluida air dengan komponen kecepatan yang arahnya menyilang terhadap aliran normal atau aliran primer. Aliran inilah yang disebut *secondary flow*.



Gambar 1 Sistem propeller grim vane wheel
(sumber: caddet energy efficiency IEA)

Perkembangan dalam teknik perkapalan telah banyak di kembangkan konsep baru untuk sistem propulsi yang efisien. Salah satunya adalah grim vane wheel yang di kembangkan oleh DR Ing Otto Grim seorang ilmuwan dari Jerman. Sistem ini dapat meningkatkan efisiensi gaya dorong propeller sebesar 5 persen.

Propeller utama dari sebuah kapal menghasilkan gaya dorong yang menyebabkan kapal meluncur ke depan. Propeller utama ini menghasilkan dua tipe aliran di belakangnya yaitu aliran yang di akselerasi dan aliran turbulen. Beberapa energi yang di dikeluarkan oleh mesin kapal akan hilang dalam aliran terakselerasi di belakang kapal. Namun jika tepat di belakang propeller utama vane propeller di letakkan, vane propeller akan menangkap gelombang fluida yang terakselerasi. Karena bentuknya yang lebih besar dari propeller utama maka ujung peropeller akan menambah gaya propulsi ekstra pada fluida di belakangnya dengan memanfaatkan akselerasi gelombang air yang di hasilkan propeller utama tersebut.

Dengan pemahaman bahwa prinsip kerja grim vane propeller dapat menangkap gelombang air, dan pemahaman bahwa aliran keluaran yang di dihasilkan oleh pompa sentrifugal adalah jenis aliran terakselerasi dan turbulen. Maka dengan meletakkan propeller pada bagian inlet dan outlet dari pompa dan membandingkannya kecepatan putaran propeller pada bagian inlet maupun outlet dapat di ketahui seberapa besar perbedaan kecepatan putar yang di dihasilkan oleh aliran primer, *secondary flow*, dan turbulensi walaupun dengan kecepatan alir yang sama. Tujuan dari studi ini adalah untuk memperjelas efek dari *secondary flow* yang di dihasilkan oleh impeller pada pompa sentrifugal terhadap putaran propeller yang di letakan pada inlet maupun outlet pompa.

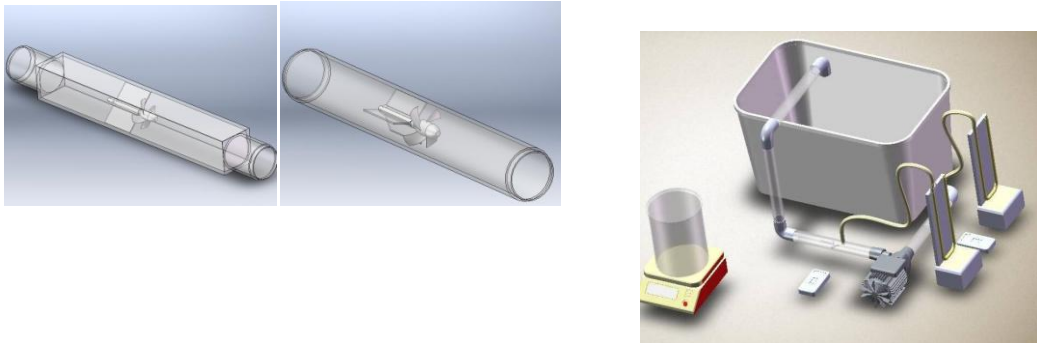
Penggunaan difersifikasi penampang pipa yaitu penampang pipa bulat dan pipa persegi dengan besar diameter hidrolik yang sama akan lebih memperjelas efek *secondary flow* pada

putaran propeller. Penampang pipa bulat memiliki karakteristik yang cenderung membiarkan keberadaan komponen kecepatan aliran pada arah yang angular terhadap penampang pipa bulat. Namun pipa berpenampang kotak akan menahan komponen kecepatan angular ini pada bagian sudut-sudut penampang pipa kotak sehingga membentuk vorteks.

2. Eksperimental Set – Up

Rancangan alat uji terlihat pada gambar diatas. Beberapa komponen penyusun design eksperimen antara lain:

1. Sebuah tanki penampungan fluida berupa bak plastic dengan ukuran 350 x 600 x 300 mm dengan ketebalan dinding 3 mm.
2. Pipa untuk saluran masuk dan keluar yang terbuat dari bahan Acrylic dengan diameter dalam 36 mm dan panjang 500 mm. Di dalam pipa diletakkan propeller bebas dengan pondasi yang diletakkan pada dinding pipa acrylic.



Gambar 2 propeller bebas

3. Pompa sentrifugal untuk memompa sirkulasi air dengan spesifikasi sebagai berikut:
Pembuat : Mottoprotettore incorporato (Nocchi Pumps)
Series : EP125
Daya : 125 Watt
Putaran maximum : 2930 Rpm
Debit maximum : 45 liter/menit
4. Voltage regulator digunakan untuk mengatur tegangan masuk pompa sentrifugal sehingga kecepatan putaran yang di inginkan dapat di capai.
Pembuat : Matsunaga cooperation
Input : 220 Volt
Range voltase : 0 - 240 Volt
5. Troboscope digunakan untuk mengukur kecepatan putaran pompa sentrifugal maupun propeller bebas.
Pembuat : shinpo .co
6. Rpm meter inframerah untuk mengukur kecepatan putaran pada propeller bebas
7. Tachometer sentuh digunakan untuk mengkalibrasi putaran pompa sentrifugal. Dengan membandingkan hasil pengukuran troboskop dengan hasil pengukuran tachometer sentuh.

8. apparatus pendukung lain yaitu : meja penyangga, computer, ember, thermometer, timbangan digital, stopwatch, gelas ukur, striker reflector, manometer air raksa.

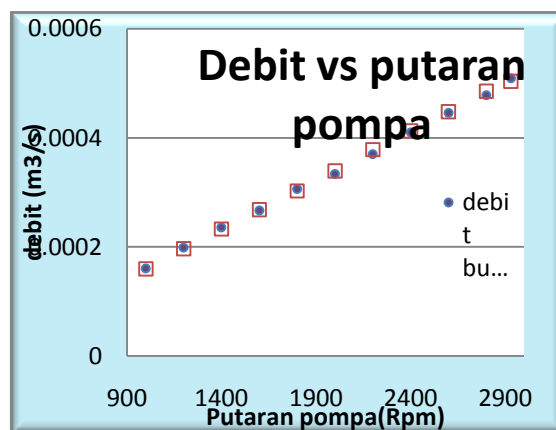
Prinsip kerja alat ini adalah dengan mensirkulasikan fluida air dari tanki atau *container* kembali ke tangki tersebut melalui pipa yang di sambungkan pada sebuah pompa sentrifugal yang dapat di atur kecepatannya. Aliran fluida bergerak dari tangki menuju pipa kemudian memasuki impeller pompa dan menuju pipa keluaran , terakhir aliran di kembalikan ke dalam tanki.

Pipa masukan dan keluaran di rancang agar dapat diganti dari bentuk bulat ke bentuk kotak sesuai dengan kebutuhan penelitian. Sebuah propeller bebas dengan pondasinya diletakan dalam pipa bagian masuk maupun bagian keluar. Pipa masuk maupun keluaran di buat dalam dua bentuk penampang yaitu bulat dan kotak. Selama fluida air disirkulasikan dengan pompa sentrifugal, propeller bebas akan bergerak dengan adanya aliran fluida. Pada tiap pipa masuk maupun keluar di buat saluran untuk pengukuran tekanan dinamik fluida yang mengalir dengan menggunakan manometer air raksa.

Putaran propeller bebas di deteksi dengan menggunakan rpm meter inframerah dengan cara meletakkan sticker reflector pada badan propeller. Pantulan sinar inframerah akan di deteksi oleh rpm meter dan besar putaran yang sebanding dengan frekuensi putaran dapat di peroleh.

Data yang di peroleh di kumpulkan dalam table.1. Propeller bebas yang di letakkan pada pipa inlet dan outlet harus di pastikan bentuk dan ukuran geometrisnya sama. Kalibrasi dilakukan dengan mengujicoba propeller input maupun output pada satu pipa dengan kecepatan aliran yang sama sehingga dua propeller tersebut mencapai putaran yang sama. Hal ini perlu untuk menghindari kesalahan perbandingan kecepatan putar proppeller pada saat pengujian. Penggunaan sticker reflector harus pada posisi perekatan dan ukuran sticker yang sama.

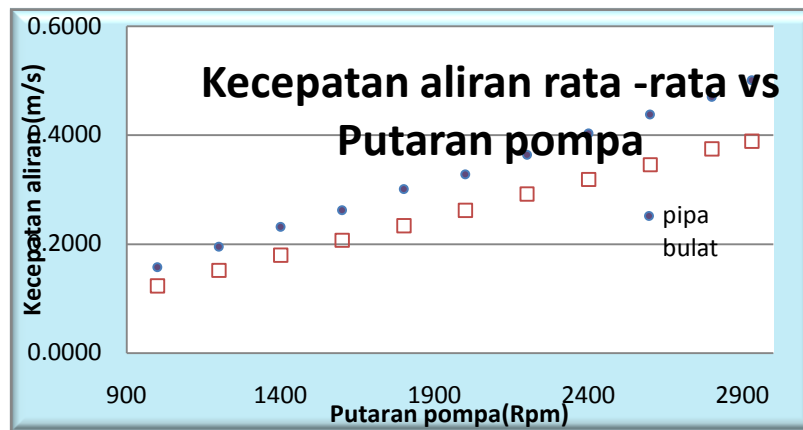
3. Hasil



Gambar 3 hubungan putaran dengan debit

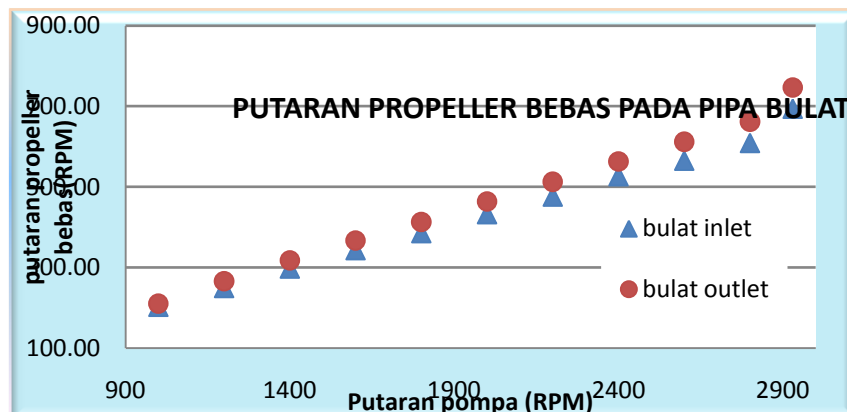
Gambar 3 merupakan grafik yang menunjukkan hubungan antara kecepatan putaran pompa terhadap debit aliran. Pada percobaan ini putaran pompa sentrifugal di mulai dari putaran terendah yaitu 1000 Rpm hingga mencapai 2930 Rpm. Grafik ini menunjukkan bahwa debit aliran fluida untuk pipa berpenampang kotak maupun bulat berimpitan untuk tiap putaran yang

sama. Namun demikian karena luas penampang pipa bulat dan kotak tidak sama maka kecepatan rata-rata aliran pada tiap penampang tidak sama. Melalui perhitungan mekanika fluida maka kecepatan aliran dapat menunjukkan bilangan Reynolds. Pada putaran terendah 1000 Rpm aliran fluida dengan nilai bilangan reynold > 2000 dapat diasumsikan sebagai aliran turbulen. Sehingga pada kedua jenis pipa ini mengalir aliran turbulen. Penampang pipa kotak sama sisi memiliki diameter hidrolis yang sama dengan diameter hidrolis pipa bulat, sehingga pada kecepatan rata-rata aliran yang sama memiliki bilangan reynold yang sama.



Gambar 4 hubungan putaran dengan kecepatan alir

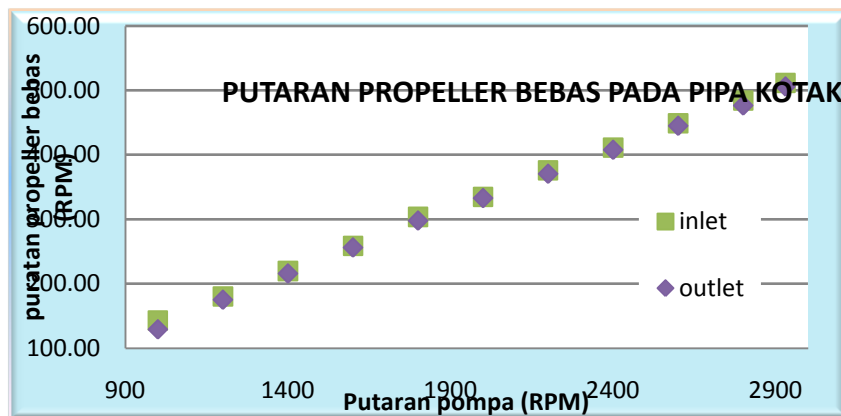
Gambar 4 menunjukkan bahwa kecepatan rata-rata diperoleh dengan membagi kapasitas yang dihasilkan pompa dengan luasan penampang pipa. Akan tetapi untuk mendapatkan kecepatan rata-rata pada pipa berpenampang persegi-n (persegi banyak), membagi debit atau kapasitas pompa dengan luasan belum tentu tepat.



Gambar 5 hubungan putaran propeller bebas dengan putaran pompa pada pipa bulat

Perhatikan kecepatan angular dari propeller bebas pada pipa bulat. Pengukuran menunjukkan pada putaran rendah perbedaan kecepatan tidaklah signifikan. Namun seraya putaran pompa meningkat terjadi perubahan kecepatan pada putaran propeller bebas pada sisi keluar. Karena debit aliran fluida dengan diameter pipa bulat yang sama pada bagian inlet maupun outlet maka kecepatan aliran rata-rata adalah sama, kecepatan putaran propeller bebas pun seharusnya sama jika komponen kecepatan hanya satu.

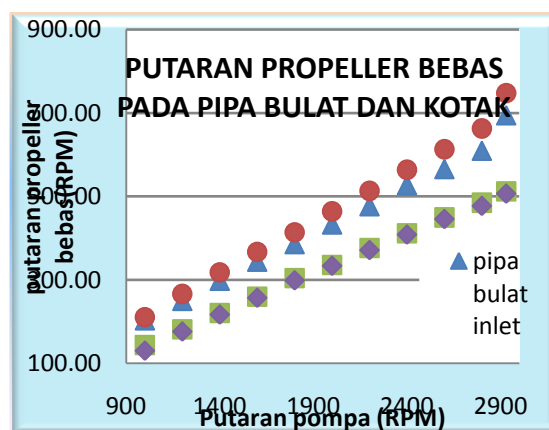
Salah satu penyebab perbedaan kecepatan putaran propeller bebas adalah berasal dari komponen kecepatan yang radial terhadap arah sumbu aliran yang dikenal sebagai *Secondary flow*. Sehingga komponen kecepatan ini mempengaruhi kecepatan putaran propeller bebas. Kenaikan sebesar 7,5% dari nilai putaran inlet terjadi pada putaran pompa 2930 rpm. Efek *secondary flow* dapat menambah kecepatan putaran propeller bebas dan juga bisa sebaliknya jika arah komponen kecepatan tersebut berlawanan dengan putaran propeller bebas.



Gambar 6 hubungan putaran propeller bebas dengan putaran pompa pada pipa kotak

Efek *secondary flow* pada pipa kotak hampir tidak mempengaruhi kecepatan putaran propeller bebas dalam variasi kecepatan manapun. Hal ini dapat di lihat jelas pada grafik dimana gradien kecepatan putaran propeller bebas di bagian inlet dan outlet untuk pipa kotak sejajar. Pada aliran fluida pipa kotak *secondary flow* yang di hasilkan pompa sentrifugal tertahan pada sudut pipa kotak dan terpecah menjadi vortex-vortex lebih kecil.

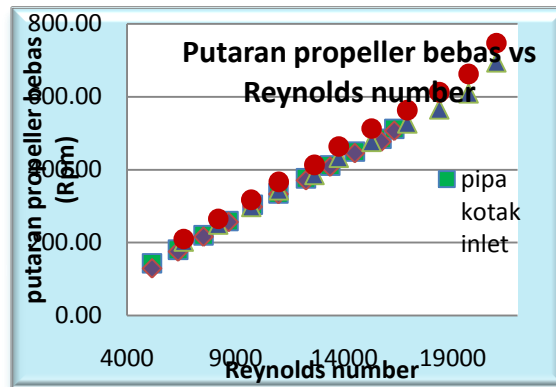
Gradien kecepatan teoritis dan kecepatan aktual sejajar, namun besaran putaran teoritis lebih besar dari aktual hal ini karena kecepatan putaran teoritis tidak memasukan kerugian-kerugian lain dalam aliran fluida.



Gambar 7 hubungan putaran propeller bebas pada pipa bulat dan pipa kotak

Jika grafik antara pipa kotak dan pipa bulat di gabungan seperti pada gambar 7 dapat terlihat bahwa gradien kecepatan putaran pada pipa bulat lebih menanjak di bandingkan pipa kotak.

Secondary flow yang terjadi pada pipa inlet yang di sebabkan oleh putaran pompa juga telah menyebabkan penambahan kecepatan putaran propeller bebas. Pengaruh *secondary flow* pada pipa bulat bagian keluaran memiliki gradien yang lebih menanjak lagi. Ini menunjukkan bahwa *secondary flow* pada pipa keluaran memiliki pengaruh yang signifikan. Sedangkan pada pipa kotak bagian masuk dan keluar *secondary flow* dalam bentuk vorteks yang lebih kecil tidak mempengaruhi putaran propeller bebas.



Gambar 8 hubungan putaran propeller bebas dengan Re.

Telah di ketahui secara umum koefisien gesek pipa kotak lebih kecil dari pada pipa bulat, salah satu alasan adalah *secondary flow* kuat terjadi pada pipa bulat. Penelitian L. Schiller menunjukkan bahwa koefisien gesek pada pipa kotak lebih kecil dari pada pipa bulat pada bilangan Reynolds yang sama.

Gambar 7 gabungan dari pengukuran data putaran propeller bebas pada pipa bulat dan kotak jika di dibandingkan pada bilangan Reynolds yang sama. Karena kecepatan aliran fluida berbanding lurus dengan bilangan Reynolds maka pada gambar 8 menunjukkan perbandingan kecepatan putaran propeller bebas pada kecepatan aliran yang sama. Dapat terlihat bahwa pipa bulat pada bagian outlet memiliki putaran yang paling cepat, sedangkan aliran pipa bulat bagian inlet hampir memiliki kecenderungan kecepatan putaran yang sama dengan pipa kotak.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengamatan dan penganalisaan data hasil percobaan dapat di simpulkan bahwa:

1. Pada kecepatan putaran pompa yang sama kapasitas yang di dihasilkan untuk penampang pipa kotak maupun bulat adalah sama.
2. Putaran propeller bebas pada pipa segi empat lebih rendah di dibandingkan dengan pipa bulat *outlet*.
3. Putaran propeller bebas pada pipa segi empat dan pipa bulat terlihat sama pada bagian inlet untuk bilangan Reynolds yang sama.
4. *Secondary flow* terjadi pada pipa bulat dan tidak terlihat pada pipa segi empat.

Referensi

1. Munson, B. R., Young, D. F., Okiishi, T. H., *Mekanika Fluida*, terj. Dr. Ir. Harinaldi, Ir. Budiarmo, M.Eng. (Jakarta: Erlangga, 2003)
2. J.P.Hartnett, J.C.Y.Koh, S.T.Mccomas , *A Comparison of Predicted and Measured Friction Factor for Turbulent Flow Through Rectangular Ducts*. Journal of heat transfer ASME, 1962