

Optimasi Kinerja Pompa Sentrifugal Produk Lokal dengan Modifikasi Impeler dan Analisis Visualisasi Aliran

Soeadgihardo Siswantoro dan Sutrisno
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM

ABSTRACT

A preliminary effort to improve an impeller design for domestic centrifugal pump with 165 mm outlet diameter, semi open impeller has been initiated implementing flow visualization method. The study was focused on several impellers having different inlet and outlet angles, each of them has the same blade thickness.

A facility has been constructed to measure the performance for those impellers at similar speed, 2000 rpm. The visualization technique applied in the study was wet paint method applying paint on the surface of the impellers with several layers of different colors and wetness.

Impellers having optimum inlet and outlet angles have been identified.

Keywords: *impeller, flow visualization*

Pengantar

Pompa sentrifugal memiliki konstruksi sederhana, mudah dioperasikan, ukurannya kecil, harga dan ongkos operasinya rendah dibanding jenis pompa lainnya, oleh karena itu pompa sentrifugal banyak dipergunakan di industri dan rumah tangga. Faktor utama yang mempengaruhi unjuk-kerja adalah sudut bilah impeler pada sisi keluar (β_2) dan besarnya kecepatan radial (Church, 1972). Bilah impeler yang membengkok ke belakang ($\beta_2 < 90^\circ$), tinggi tekan akan menurun bila kapasitas diperbesar. Transformasi energi di dalam impeler tergantung pada kurva impeler yang didisain dengan baik, perubahan luas penampang yang tidak mendadak (sedikit demi sedikit) dan penyelesaian permukaan yang halus. Dengan pemilihan sudut bilah impeler sisi keluar yang sesuai maka kecepatan dapat ditransformasikan menjadi tinggi tekan dengan rugi-rugi dan turbulensi di dalam laluan yang sekecil mungkin sehingga efisiensi pompa dapat meningkat.

Visualisasi aliran memegang peranan penting dalam peningkatan pemahaman pada gejala-gejala dinamika fluida terutama untuk mengetahui bermacam-macam fenomena aliran atau gambaran

global dari berbagai aliran (Chang, 1976). Berbagai substansi telah digunakan untuk memvisualisasikan aliran baik di udara maupun di air. Bermacam-macam *dye* (zat warna), partikel, gelembung-gelembung apung netral, *air bubble* dan *hydrogen bubble* telah dipakai dalam air dan masih banyak bahan ataupun metoda yang dapat dipakai untuk visualisasi aliran.

Dalam penelitian ini, pompa sentrifugal buatan industri lokal yang belum diketahui unjuk-kerjanya, akan dilakukan pengujian dan visualisasi aliran dalam impeler. Sedangkan untuk mengoptimalkan unjuk-kerja pompa dibuat modifikasi bentuk impeler.

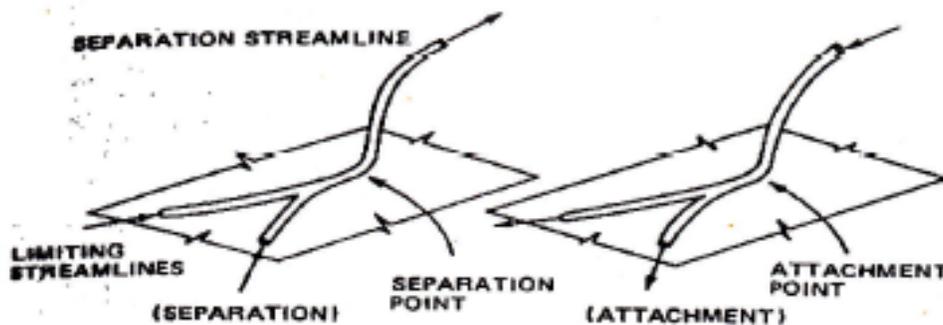
Tinjauan Pustaka

Eksperimen yang dilakukan Buse (1979) mengamati pengaruh variasi dimensi atau ketidaksesuaian ukuran komponen pompa terhadap unjuk kerja. Ada tiga komponen utama yang sangat berpengaruh terhadap unjuk kerja pompa yaitu impeler, permukaan jalan (*running*) pada rumah pompa dan rongga *volute*. Konfigurasi terpenting untuk impeler diantaranya adalah: lebar impeler, permukaan *running* dan

kesesuaian ukuran. Lebar impeler mempunyai pengaruh terbesar. Pada impeler dengan lebar impeler sisi keluar sesuai disain tetapi pada sisi masuknya dangkal atau sebaliknya dengan lebar pada sisi masuk sesuai disain tetapi pada sisi keluar dangkal, kedua hal tersebut akan menghasilkan *head* lebih rendah pada kapasitas yang sama dari disain. Celah permukaan jalan perlu diamati, sebab setiap penambahan celah akan menurunkan *head*. Menurut Hira dan Vasandani, 1975 (Dong. dkk., 1997) unjuk kerja

dari suatu pompa dipengaruhi oleh celah antara jarak bebas pada lidah dan impeler. Ia menunjukkan pengaruh celah tersebut pada struktur aliran dan terbalik pada mekanisme pembangkitan kebisingan.

Maskell, 1955 (Chang, 1976) mengatakan bahwa separasi aliran melalui permukaan *body* terjadi bila *streamline* permukaan yaitu *streamline* yang terdekat permukaan dinding, meninggalkan permukaan *body* seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Separasi yang ditunjukkan pada konsep Maskell

Menurut Nakayama (1988) separasi pada aliran melalui impeler dipengaruhi oleh kapasitas pompa. Pada kapasitas yang besar, kecepatan aliran menjadi tinggi pada sisi hisap dari bilah impeler tetapi terjadi separasi pada sisi tekan dengan aliran resirkulasi. Separasi aliran menjadi kecil dan aliran merata sepanjang laluan impeler pada kapasitas disainnya. Demikian pula jika kapasitas diperkecil, terjadinya aliran resirkulasi menjadi sangat jelas. Menurut Church (1972) pada laluan impeler pompa sentrifugal ada dua jenis aliran yang terjadi secara serempak yaitu aliran rata dan aliran sirkulasi. Aliran sirkulasi relatif kecil dan hanya memodifikasi aliran rata saja. Pengaruh yang diakibatkan aliran sirkulasi adalah fluida meninggalkan impeler dengan sudut yang lebih kecil atau sudut β_2 berkurang pada sisi keluar.

Lakshminarayana (1996) menyatakan bahwa aliran kebocoran akibat celah akan terjadi dengan adanya perbedaan tekanan statik melalui celah. Kecepatan kebocoran celah tergantung pada perbedaan tekanan setempat. Pengaruh kekentalan pada celah mengakibatkan separasi aliran pada ujung bilah dan sisi hisap. Timbul komplikasi bila ada aliran sekunder, aliran separasi sudut dsb.

Aliran sekunder dan aliran kebocoran berlawanan arah. Aliran kebocoran mempunyai pengaruh baik bila ada separasi sudut. Semburan kebocoran cenderung membersihkan daerah separasi. Gerakan relatif mempunyai pengaruh pada arah aliran kebocoran, kekuatan dan lokasi dari olakan kebocoran. Church (1972) memberikan batas rugi kebocoran pada operasi disain. Batas rugi kebocoran ini tergantung dari jenis cincin penahan aus yang dipakai dan kecepatan pompa.

Nakayama (1988) menyatakan bahwa visualisasi aliran memegang peranan sangat penting dalam pemahaman fenomena aliran dan memberikan pemikiran dasar-dasar fisik. Pada aliran melalui impeler, visualisasi aliran dapat digunakan melihat separasi aliran, pengaruh celah antara impeler dan rumah pompa dan adanya aliran sekunder.

Dalam penelitian ini optimalisasi dilakukan dengan membuat variasi sudut bilah masuk dan sudut keluar β_1 dan β_2 pada impeler dengan celah yang relatif sama akan didapat kombinasi β_1 dan β_2 dengan kinerja terbaik. Visualisasi aliran digunakan untuk menentukan pola aliran dan

mengidentifikasi aliran resirkulasi, separasi dan daerah dengan kecepatan aliran tinggi.

Cara Penelitian

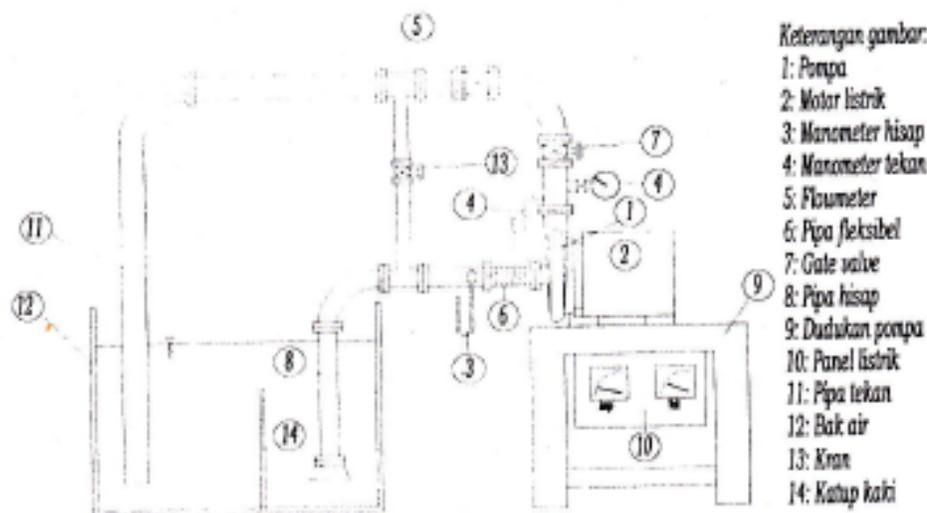
Bahan dan alat pengujian

Bahan yang diuji adalah impeler pompa sentrifugal dengan diameter dalam 46 mm dan diameter luar 165 mm, lebar bilah 17 mm dan ketebalan rerata 5 mm dari bahan besi tuang produk industri pengecoran logam di Batur Ceper dengan variasi sudut bilah masuk dan sudut keluar β_1 dan β_2 pada impeler sebagai berikut:

Tabel 1. Modifikasi impeler yang dibuat

No.	β_1 (derajat)	β_2 (derajat)
1	36,4	36,4
2	36,4	46,4
3	46,4	36,4
4	46,4	46,4

No.	β_1 (derajat)	β_2 (derajat)
5	33,4	41,4
6	41,4	33,4
7	41,4	49,4
8	49,4	41,4



Gambar 2. Sistem pengujian pompa sentrifugal

Sebelum impeler diuji, celah antara impeler dan bidang jalan diukur terlebih dahulu. Pengukuran *clearance* dilakukan pada ketiga bilah dari 6 bilah masing-masing impeler di 3 tempat yaitu: bagian ujung, bagian tengah dan bagian pangkal bilah impeler.

Selain pengujian unjuk-kerja, dilakukan pula pengujian visualisasi aliran. Pada pengujian ini, impeler dilepas dari pompa dahulu dengan membuka tutup pompa. Permukaan impeler dilapisi cat dengan beberapa lapis dan warna yang berbeda-beda pada setiap lapis, pengecatan dilakukan dengan menyemprotkan cat cair pada permukaan impeler. Cat yang digunakan adalah cat minyak dengan merk Express. Sebagai warna dasar adalah warna merah, kemudian dilapisi warna kuning, biru dan putih dengan selang waktu yang sama kira-kira 3 menit. Impeler dipasang

pada pompa, operasikan selama 5 detik dan bongkar impeler, amati bekas aliran pada impeler melalui permukaan cat yang terkelupas.

Analisis hasil

Analisis hasil dilakukan dengan membandingkan kurva kinerja pompa dan analisis statistik. Untuk analisis statistik dilakukan dengan metoda RSM menggunakan perangkat lunak MiniTab Release 11.2

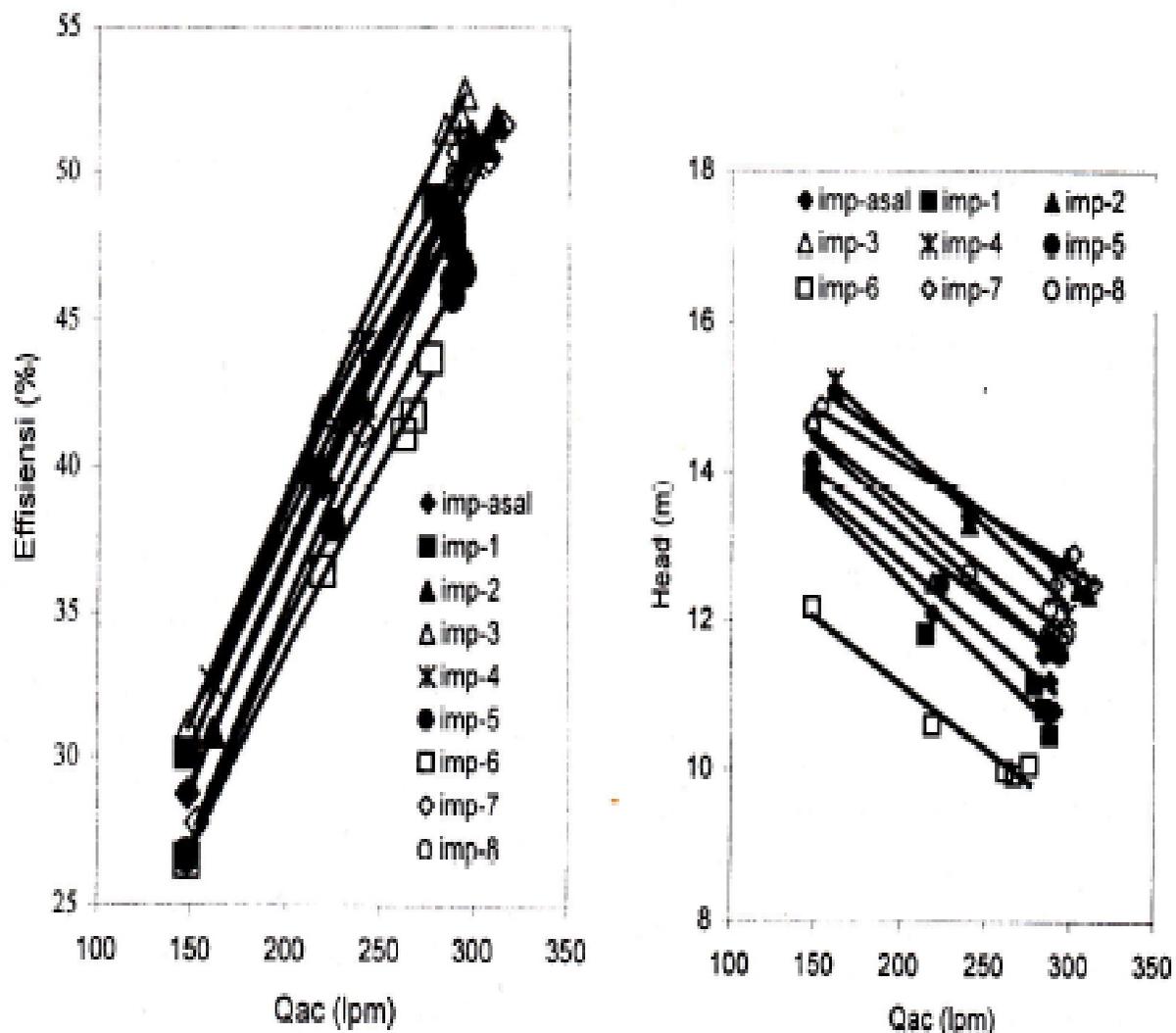
Hasil Penelitian dan Pembahasan

Kurva kinerja pompa

Dari kurva kinerja pompa dengan masing-masing impeler, menunjukkan bahwa untuk impeler no 3 dengan $\beta_1 = 46,4^\circ$ dan $\beta_2 = 36,4^\circ$

yang mempunyai celah rerata 3,4 mm menghasilkan efisiensi tertinggi dan impeler no 4 dengan $\beta_1 = 46,4^\circ$ dan $\beta_2 = 46,4^\circ$ yang mempunyai celah rerata 1,01 mm menghasilkan *head* tertinggi pada kapasitas sampai 200 lpm,

untuk kapasitas di atas 200 lpm sampai 350 lpm *head* tertinggi dicapai oleh impeler no 7 dengan $\beta_1 = 41,4^\circ$ dan $\beta_2 = 49,4^\circ$ yang mempunyai celah rerata 1,2 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva perbandingan efisiensi dan head terhadap debit aliran

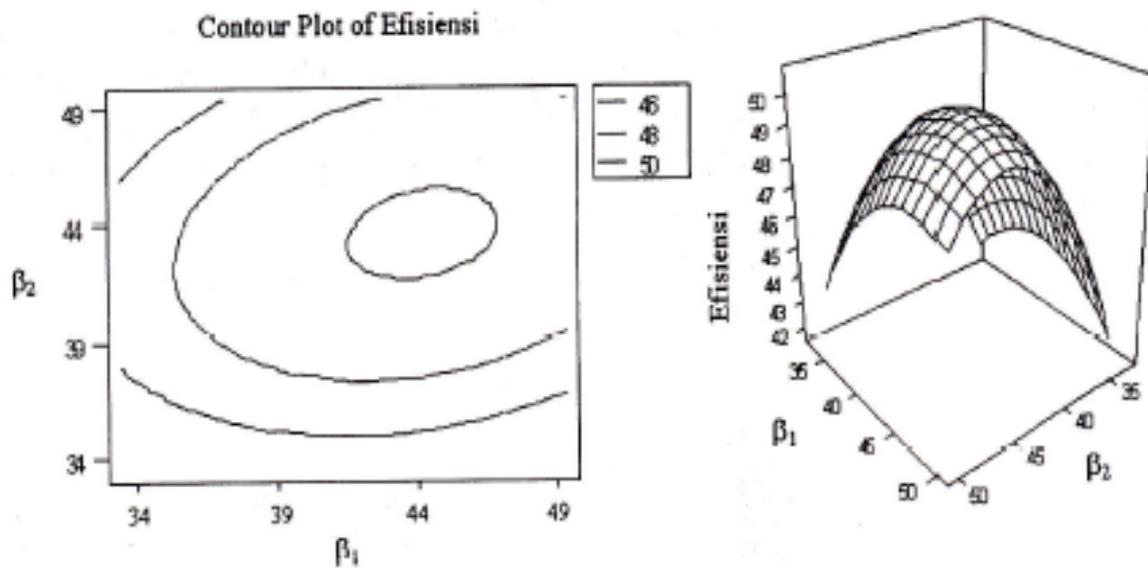
Hasil analisis statistik

Analisis statistik dilakukan dengan metoda RSM, menggunakan perangkat lunak MiniTab Release 11.2. Hasil perhitungan analisis statistik dapat dijelaskan sebagai berikut.

Untuk *head*, dari hasil regresi menunjukkan bahwa *head* hanya dipengaruhi oleh sudut β_2 dan kapasitas aliran yang ditandai dengan tingkat signifikansi pada koefisien regresi. Demikian pula

untuk efisiensi, faktor yang sangat berpengaruh adalah sudut bilah keluar β_2 dan kapasitas aliran yang ditandai dengan tingkat signifikansi pada koefisien regresi.

Dari kurva *contour plot* dan *surface plot* menunjukkan bahwa kinerja pompa terbaik ada pada daerah β_1 dan β_2 sekitar 44 derajat.

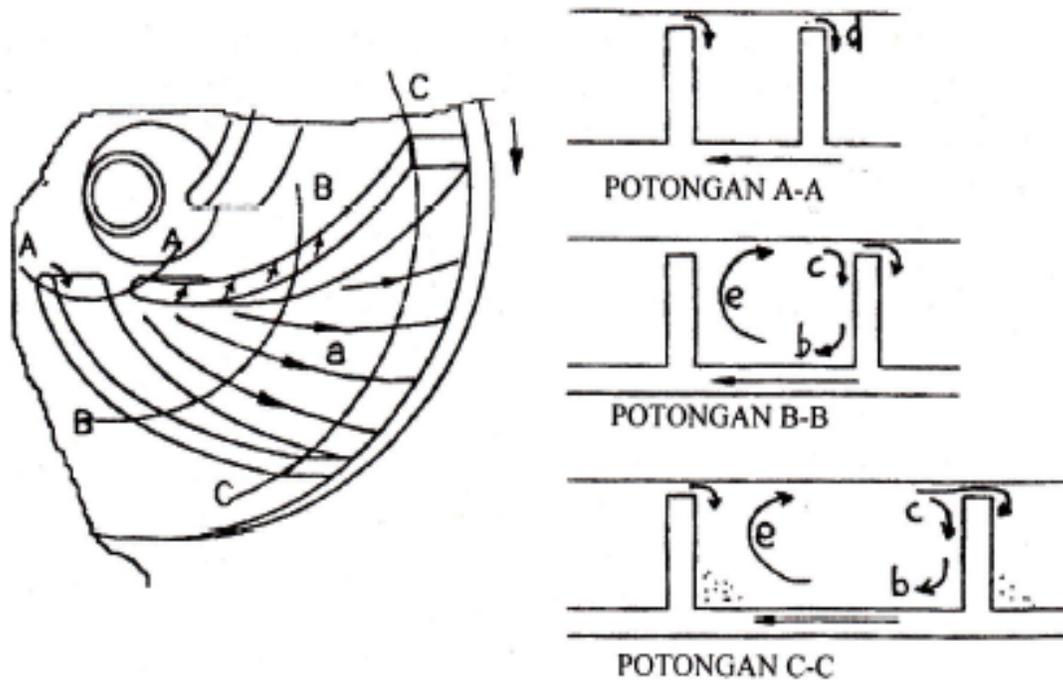


Gambar 4. Plot kontur dan respon permukaan untuk efisiensi

Hasil Visualisasi

Hasil visualisasi menunjukkan bahwa:

- 1) Tampilan garis yang diperlihatkan sebagai bekas aliran, pada kesemua impeler cukup jelas, demikian pula warna yang dihasilkan tidak bercampur antara lapis satu dengan yang lain. Ini menunjukkan bahwa waktu pengeringan cat sudah cukup sehingga cat antar lapisan tidak berbaur. Namun cat belum kering sekali sehingga masih mudah terkelupas oleh gerakan fluida.
- 2) Terdapat perbedaan arah garis yang dihasilkan antar satu impeler dengan yang lain. Pada impeler asal, meski garis kurang jelas, namun arah garis terlihat mengikuti kelengkungan bilah impeler, demikian pula pada impeler nomor 1 dan 3. Sedang untuk impeler nomor 5 dan 8, sebagian garis mengikuti kelengkungan namun pada daerah di dekat punggung bilah garis sudah tidak lagi mengikuti kelengkungan dan berubah merapat ke tengah laluan. Keadaan ini lebih terlihat pada impeler nomor 2, 4 dan 7.
- 3) Warna yang dihasilkan pada gambar sedikit dapat menggambarkan kecepatan atau tekanan fluida yang mengalir. Bila terlihat warna merah yang menjadi cat dasar menunjukkan bahwa daerah tersebut kecepatan fluida cukup tinggi, sebaliknya untuk warna putih menunjukkan bahwa daerah tersebut tekanannya tinggi atau kecepatannya rendah.
- 4) Pada impeler nomor 2, 5 dan 7 garis aliran yang terjadi tidak mengikuti kelengkungan bilah impeler. Hal ini dapat terjadi karena perubahan luasan laluan secara mendadak sehingga pengaruh aliran sirkulasi menjadi besar. Kejadian ini tidak bertentangan dengan pendapat Lazarkiewicz dan Trokolanski (1965) dan Church (1972). Disamping itu dengan bentuk bilah yang kurang *streamline* maka kemungkinan terjadinya separasi aliran menjadi semakin besar.
- 5) Pada impeler nomor 3, 6 dan 8 meskipun garis aliran sebagian mengikuti kelengkungan bilah, namun di dekat sisi keluar pada bagian punggung bilah terjadi perubahan aliran. Hal ini dapat terjadi karena adanya separasi aliran akibat kurang baik permukaan bilah. pada impeler 4 terlihat perubahan luasan laluan cukup baik dan karena bentuknya sehingga garis aliran yang dihasilkan menjadi yang terbaik dari ke seluruh bentuk impeler.
- 6) Dari hasil pengujian visualisasi dapat diperkirakan aliran fluida yang terjadi pada impeler secara umum digambarkan sebagai berikut ini.



Keterangan gambar:

- a) arah *streamline*, yaitu arah aliran pada laluan umumnya
- b) pusaran tepi laluan, yaitu pusaran yang terjadi pada tepi laluan di punggung bilah
- c) pusaran celah, yaitu pusaran yang terjadi akibat mengalirnya aliran ke celah impeler yang pada bagian tersebut mempunyai kecepatan yang tinggi, pusaran ini terjadi pada punggung atas bilah
- d) pusaran yang terjadi pada ujung bilah pada sisi masuk
- e) pusaran yang terjadi di tengah laluan akibat *secondary flow*

Gambar 5. Perkiraan garis-garis aliran yang terjadi

Pembahasan

Kemungkinan jenis-jenis aliran yang terjadi pada impeler adalah:

- a) pusaran tepi laluan, hal ini dapat terjadi sebagai akibat karena perubahan luasan yang mendadak, atau karena separasi akibat dari bentuk permukaan bilah,
- b) pusaran celah yang ditandai warna merah pada punggung bilah, hal ini berkaitan dengan

perubahan kecepatan dari bagian celah ke bagian laluan yang cukup besar, dan

- c) pusaran di tengah laluan dapat terjadi karena perubahan luasan laluan yang sangat mendadak.

Dari pengukuran dimensi impeler, terutama mengenai panjang bilah dan laluan serta goresan aliran yang terjadi dapat ditunjukkan sebagai Tabel 2.

Tabel 2. Pengukuran dimensi bilah impeler dan jenis aliran

β_2	β_1		No.		Panjang pg bilah		Lcbar laluan di radius						Gerosan aliran		
							a		b		c				
49,4		41,4		7		78		17		30		47		NY	NY
46,4	36,4	46,4	2	4	80	82	16	19	27	34	46	43		NY	NY
41,4	33,4	49,4	5	8	88	98	17	17	25	28	42	35		N-NY	N-NY
36,4	36,4	46,4	1	3	100	115	16	16	23	24	34	24		N	N
33,4		41,4		6		110		17		25		37		N	N

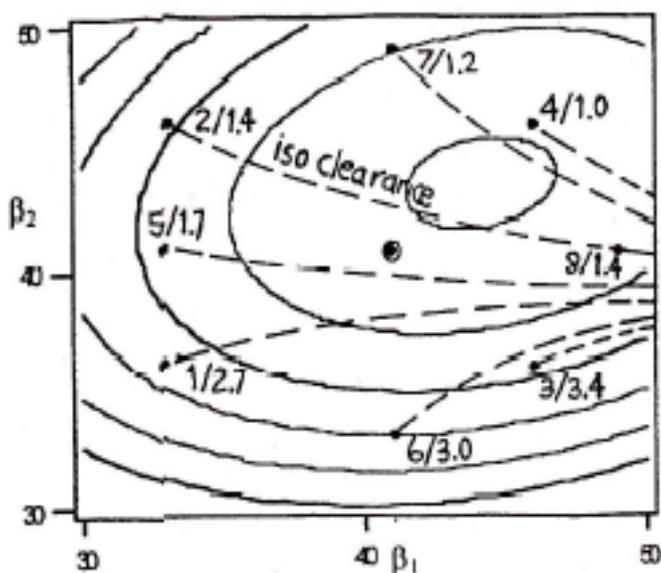
Catatan: N = menempel NY = menyebar

Dengan memperhatikan gambar skema aliran, hasil visualisasi dan pengukuran dimensi impeler, menunjukkan bahwa untuk sudut keluar bilah β_2 yang semakin kecil, maka bilah impeler akan makin panjang dan lebar laluan menyempit. Karena bilah semakin panjang maka gesekan aliran akan semakin besar, dan akibatnya efisiensi menurun.

Untuk sudut masuk bilah β_1 yang semakin besar maka bilah impeler akan semakin panjang pula bilahnya sehingga gesekan membesar.

Untuk sudut keluar bilah β_2 yang kecil terlihat goresan aliran yang terjadi pada laluan mengikuti atau menempel pada kelengkungan bilah, bila sudut ini diperbesar maka aliran berubah meninggalkan kelengkungan. Perubahan aliran ini terjadi mulai sudut β_2 sama dengan $41,4^\circ$. Dengan pembesaran sudut ini aliran akan semakin menyebar.

Celah antara rumah pompa dan impeler menurut Buse (1979) sangat berperan terhadap unjuk-kerja pompa. Dengan memperhatikan lebar celah tersebut pada impeler hasil modifikasi dan bila diplotkan pada kurva kontur untuk efisiensi, dengan menghubungkan titik yang mempunyai lebar celah yang sama maka akan didapat garis *isoclearance* seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Garis *isoclearance* yang didapat

Dengan mempertimbangkan kurva di atas, kurva unjuk-kerja, goresan aliran yang terjadi serta kurva kontur untuk efisiensi, maka dapat ditunjukkan bahwa titik yang menunjukkan

efisiensi optimal akan bergeser ke arah kiri bawah yaitu pada daerah sudut masuk bilah β_1 dan sudut keluar bilah β_2 sekitar 41°

Kesimpulan

Dilihat dari perbandingan unjuk-kerja, hasil analisis statistik menggunakan MiniTab Release 11.2 bahwa unjuk-kerja terbaik didapat pada pompa dengan impeler yang mempunyai ukuran sudut bilah masuk β_1 dan sudut bilah keluar $\beta_2 = 41,4^\circ$ yaitu pada bentuk impeler asal. Pernyataan ini diperkuat dengan hasil visualisasi yang menunjukkan bahwa pada impeler asal sedikit terjadi separasi, arah aliran *streamline* hampir mengikuti kelengkungan bilah dan ini membuktikan bahwa aliran resirkulasi tidak nampak.

Ucapan Terimakasih

Penulis berterimakasih kepada Bapak Ir. Purnomo, MSME, Ph.D. selaku Pengelola Program S2 Teknik Mesin FT UGM atas fasilitas yang diberikan sehingga terlaksana penelitian ini.

Nomenklatur

- β_1 = sudut bilah impeler pada sisi masuk
- β_2 = sudut bilah impeler pada sisi keluar
- lpm = liter per menit
- Qac = Kapasitas aktual

Daftar Pustaka

- Buse, F., 1979, *The Effect of Dimensional Variations on Centrifugal Pumps*, Jay Matley: Fluid movers - Pumps, Compressors, Fans and Blower, Mc Graw Hill Publications Co., New York, p 197 - 204
- Chang, P.K., 1976, *Control of Flow Separation: Energy Conversation, Operational Efficiency and Safety*, Mc Graw Hill Book Company, New York
- Church, A.H., 1972, *Centrifugal Pumps and Blowers*, Robert E. Krieger Publishing Co., Inc, New York

- Dong, R., Chu., S., and Katz, J., 1997, Effect of Modification to Tongue and Impeller Geometry on Unsteady Flow, Pressure Fluctuations, and Noise in a Centrifugal Pump, *Journal of Turbomachinery*, Vol 119, July 1997, p. 506 – 515
- Karassik, I. J., Fraser, W.H., and Messina, J. H., 1976, *Pump Handbook*, Mc Graw Hill Book Co., New York.
- Lakshminarayana, B., 1996, *Fluid Dynamics and Heat Transfer of Turbomachinery*, John Wiley & Sons, Inc., New York
- Lazarkiewicz, S. dan Troskolanski, A. T., 1965, *Impeller pumps*, 1st edition, terj: Rutter, D. K., Pergamon Press Ltd., London
- Nakayama, Y., Woods, W.A., dan Clark, D. G., 1988, *Visualized Flow: Fluid Motion in Basic and Engineering Situations Revealed by Flow Visualization*, terj: Maruzen, Pergamon Press, England.