

SISTEM KONTROL MOTOR PENGGERAK POMPA EFISIEN ENERGI DENGAN VARIABLE SPEED DRIVE

Edi Leksono dan Pratikto

Kelompok Keahlian Teknik Fisika ITB

Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

e-mail: {edi,pratikto}@tf.itb.ac.id

Abstrak

Beberapa survei yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pola operasi peralatan, khususnya pompa yang digunakan dalam bangunan komersial dan industri, masih sangat boros. Penerapan Variable Speed Drive untuk sistem pompa dapat digunakan untuk meningkatkan penghematan daya atau energi yang dikonsumsi oleh pompa bila beban bervariasi. Simulasi menggunakan data pompa tipikal pada penelitian ini menunjukkan penghematan BHP sebesar 23% bila pencapaian beban diatur dengan melakukan penurunan kecepatan pompa. Secara eksperimental juga ditunjukkan bahwa penerapan Variable Speed Drive menggunakan strategi kontrol yang diusulkan menghasilkan penurunan konsumsi daya/energi pompa mendekati 8 kali lebih rendah jika aliran fluida diperkecil menjadi setengahnya.

Kata kunci: pompa, beban bervariasi, variable speed drive, BHP, control valve

I. Pendahuluan

Kenaikan harga bahan bakar minyak (BBM) terutama untuk sektor industri telah memaksa beberapa sektor usaha yang beroperasi pada bangunan komersial (seperti hotel, perkantoran dan catering besar) dan bangunan industri lainnya untuk menghindari penggunaan bahan bakar solar untuk suplai energi listriknya, yang berdampak pada beban terpakai PLN khususnya di jaringan Jawa Bali menjadi semakin tinggi. Fakta yang tampak di lapangan adalah PLN menerapkan batas daya maksimum yang boleh digunakan selama waktu beban puncak (yang sudah diperpanjang dari 4 jam menjadi 5 jam setiap harinya). Jika batas daya maksimum pada waktu beban puncak ini dilampaui, maka perusahaan terkait akan mendapat *disincentive/penalty* biaya penggunaan energi.

Beberapa survei telah dilakukan ke beberapa bangunan komersial seperti Inna Garuda Yogyakarta, Inna Grand Bali Beach Denpasar, Hyatt Regency Yogyakarta, Aerowisata Catering Service Cengkareng. Beberapa kata kunci yang muncul di semua bangunan komersial tersebut adalah *disincentive* yang umumnya jumlahnya cukup besar yang harus dibayarkan ke PLN. Aplikasi sistem pompa untuk bangunan komersial tersebut antara lain adalah sistem pompa pengambilan air tanah, pompa sirkulasi pengolahan air, pompa suplai dari pengolah air ke penampung air di lantai paling atas, pompa sirkulasi air dingin dari chiller system, pompa sirkulasi dari dan ke cooling tower, pompa sirkulasi air panas dan sebagainya.

Dari diskusi secara intensif dengan pihak-pihak ini, ditemui kenyataan bahwa pola operasi peralatan yang digunakan dalam bangunan komersial dan industri tersebut masih sangat boros. Di Inna Garuda Yogyakarta, pernah diuji penggunaan *Variable Speed Drive* penggerak pompa untuk menaikkan air dari sistem pengolah air ke penampung air di lantai teratas bangunan (di atas lantai 7, melawan head sebesar 30 m), efisiensi energi yang dapat dicapai berkisar antara 15% - 20%, tergantung dari kecepatan aliran motor penggerak. Jika kondisi ini dapat diterapkan ke peralatan-peralatan sistem pompa yang lain, diharapkan masih ada peluang untuk mendapatkan penghematan energi hingga 20%. Penghematan sebesar itu dapat dicapai karena energi yang digunakan jauh melebihi kebutuhan operasi akibat tidak adanya sistem instrumentasi dan kontrol yang bisa menyesuaikan suplai energi listrik dengan besarnya kebutuhan riil pada kondisi-kondisi yang dinamis, berubah dari satu saat ke saat yang lain.

Pencapaian kinerja penghematan hingga 20% ini akan dapat menghindarkan beberapa bangunan komersial dari beban disinsentive pembayaran tarif listrik, dapat menurunkan konsumsi energi yang digunakan bangunan, memberi peluang pada perusahaan lain untuk menggunakan energi listrik yang diperlukan untuk menjalankan unit produksinya dan yang tidak kalah penting dapat meningkatkan dan mengoptimalkan produktivitas bisnis perusahaan. Lebih lanjut, dalam diskusi dengan sektor usaha tersebut di atas, umumnya diperlukan sistem monitoring energi listrik yang digunakan dari mulai gerbang masuk suplai listrik PLN hingga ke bagian-bagian sistem produksi dari bangunan komersial tersebut sedemikian rupa sehingga dapat diperoleh hubungan antara penggunaan energi listrik dengan produktivitas unit produksi terkait. Berdasarkan latar belakang tersebut telah, sedang dan masih terus akan dijalankan penelitian untuk mengembangkan sistem kontrol penggerak pompa efisien energi berbasis *Variable Speed Drive* (VSD) yang dapat diterapkan pada bangunan komersial dan industri. Penggunaan VSD dalam pengoperasian sistem pompa, selain dapat menurunkan konsumsi energi yang diperlukan, juga akan dapat menghindari *overshoot* arus listrik yang sangat besar pada saat start dan dari aspek fenomena mekanis juga akan menghilangkan fenomena *water hammer* khususnya jika pompa dimatikan secara tiba-tiba (hanya dengan mode operasi on-off saja). Dari penelitian ini diharapkan diperoleh rancang bangun sistem penggerak pompa sentrifugal efisien energi dengan *variable speed drive* menggunakan inverter maupun *Digital Signal Processor* (DSP) yang dapat sekaligus digunakan sebagai penguji performansi dan optimasi kerja pompa. Keberhasilan program ini akan berdampak langsung pada penghematan biaya konsumsi energi di industri maupun bangunan komersial. Gambar 2 menunjukkan visualisasi sistem kontrol penggerak motor pompa efisien energi berbasis VSD (kiri) dan sistem eksperimen sistem pompa yang digunakan dalam penelitian (kanan).

Terdapat beberapa jenis pompa yang digunakan dalam proses manufaktur bergantung pada fluida yang dipompakan maupun tekanan yang dibutuhkan. Sebagai contoh pompa rotary sering digunakan untuk memompa fluida yang bertekanan tinggi, jenis torak digunakan bila pencegahan kontaminasi secara kritis diperlukan. Namun pompa sentrifugal mendominasi pasar pompa proses dan konsumsi energi listrik total.

Kenyataan ini menunjukkan bahwa penghematan energi listrik pada pompa menghasilkan keuntungan yang cukup besar, pengurangan dapat mencapai 20-50% [2].

Pada penelitian ini dirancang sistem kontrol penggerak pompa yang dapat digunakan untuk menguji performansi dan melakukan optimasi kerja pompa menggunakan penerapan *variable speed drive* pada sistem pompa. Hal ini dapat dilakukan dengan melibatkan sebuah *digital signal processor* (DSP) yang mempunyai kecepatan melaksanakan instruksi sekitar 30 MIPS, sehingga mampu mengontrol sistem dalam kondisi waktu nyata. Peralatan yang dirancang dan dibuat dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan efisiensi dan memperkecil biaya operasi pompa.

Keberhasilan program penelitian ini akan berdampak langsung terhadap penghematan biaya pengoperasian pompa suatu pabrik yang berarti pula penghematan devisa negara karena tidak perlu lagi mengimport peralatan tersebut.

Pompa merupakan peralatan yang selalu terlibat dalam proses industri, oleh karena itu biaya yang digunakan dalam mengoperasikan pompa cukup besar. Pada umumnya pompa dioperasikan pada kecepatan tetap baik pada kondisi beban yang tinggi maupun yang rendah. Pada kondisi pemakaian beban yang rendah pompa menyimpan tekanan yang tinggi sehingga energi yang dibutuhkan juga tinggi, padahal energi yang digunakan pada pompa bervariasi sebesar sekitar pangkat tiga dari kecepatan motor, sementara kecepatan aliran fluida berubah secara berbanding lurus.

Kenyataan di atas menunjukkan bahwa perubahan kecil pada kecepatan putar dapat berpengaruh besar pada energi yang digunakan sehingga penghematan energi pada pompa dengan menerapkan pengontrol kecepatan dapat mencapai 10 - 40 % [3].

Pada umumnya kondisi nyata instalasi sistem pompa sangat berbeda dengan kondisi perancangannya, begitu pula kondisi pompa setelah penggunaan yang lama juga akan berubah. Hal ini akan mengakibatkan kondisi kerja dari pompa mengalami perubahan, yang berarti kondisi sistem dan pompa perlu diperiksa. Pemeriksaan ini perlu dilakukan dalam rangka mencari kondisi kerja pompa yang efisien [3], karena optimasi kerja pompa hanya dapat dilakukan dengan mengetahui perperformansi pompa dan sistem tempat dimana pompa dioperasikan.

II. Strategi Kontrol

Untuk meningkatkan penghematan dalam pengoperasian pompa diteliti dan dikembangkan sistem kontrol penggerak pompa yang dapat sekaligus menguji performansi pompa sentrifugal[9] dan melakukan optimasi kerja sistem pompa.

Dari penelitian ini diharapkan diperoleh rancang bangun sistem penggerak pompa sentrifugal efisien energi dengan *variable speed drive* [7] menggunakan *digital signal processor* [4][5][6][8] yang dapat sekaligus digunakan sebagai penguji performansi dan optimasi kerja pompa.

Pompa yang dipasang dalam sistem membentuk sistem pompa-perpipaan. Dalam sistem ini terjadi *head loss* yang berasal dari valve, sambungan pipa, dan gesekan pipa antara sumber dan saluran kembali utama pada rangkaian cabang yang jauh dari pompa.

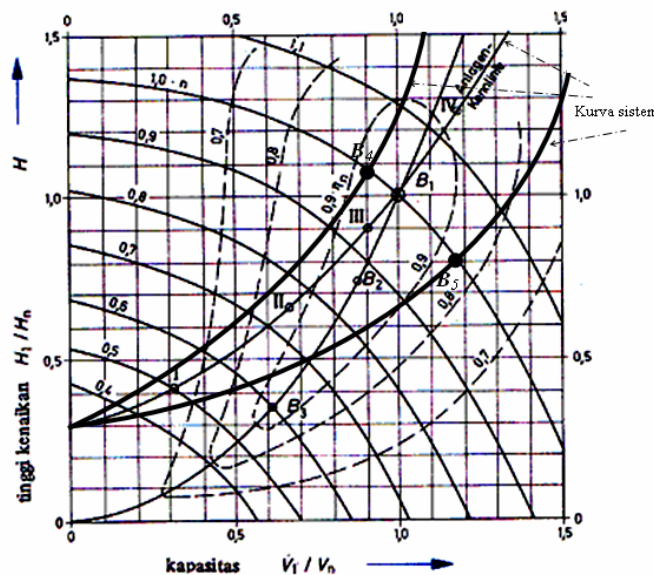
Oleh karena itu, *head loss* yang terjadi pada sistem terbagi menjadi dua:

- Head tetap H_{fix} , yang selalu tetap sekalipun debit berubah besarnya sama dengan perbedaan ketinggian hisap dan tekan.
- Head berubah H_{var} , yang bergantung pada debit. Besarnya sama dengan rugi rugi gesek, besarnya dapat dihitung berdasarkan

$$H_{var} = K \cdot \dot{V}_p \quad (2.1)$$

dimana K adalah koefisien aliran.

Gambar 2 melukiskan kurva karakteristik untuk sebuah pompa sentrifugal[1]. Dalam gambar ini dilukiskan pula kurva karakteristik sistem berbentuk parabola. Garis putus putus merupakan kontur isoefisiensi kerja pompa.

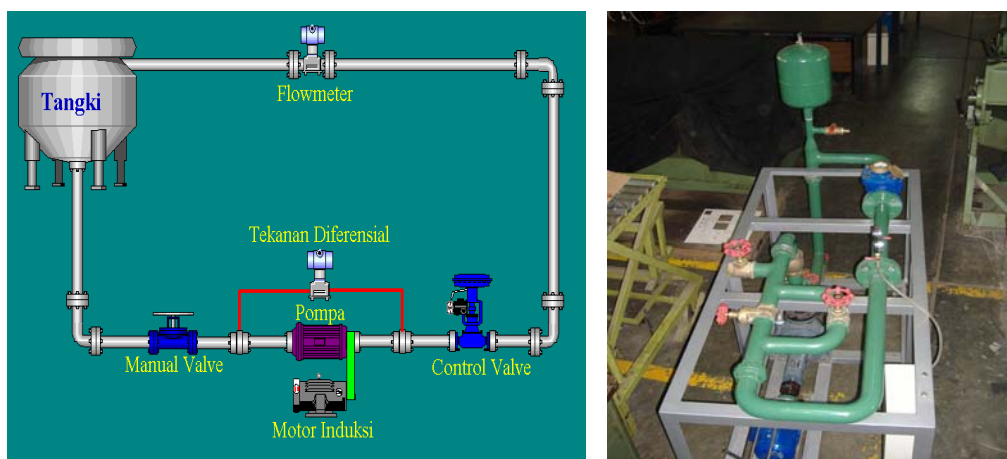


Gambar 1. Kurva karakteristik pada setiap kondisi kecepatan putar motor penggerak pompa

Titik B_1 sebagai perpotongan antara kurva karakteristik pompa dan kurva pompa-perpipaan adalah titik operasi sistem pompa sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 1.

Proses optimasi kerja pompa dapat diuraikan sebagai berikut. Gambar 1 menunjukkan kurva $H_t - \dot{V}_p$ dari pompa sentrifugal yang terbentuk pada kecepatan pompa yang berbeda beda. Dalam gambar tersebut dilukis pula dua kurva sistem yang melalui titik titik B_1 , B_2 , dan B_3 dan titik I, II, dan III, masing masing mewakili sistem yang mempunyai *head* statik H_s kecil dan besar.

Pada kondisi nyata pompa dioperasikan dalam beban yang berubah. Perubahan beban akan menyebabkan kurva sistem berada pada kondisi operasi yang ditunjukkan oleh titik B_4 atau B_5 dengan harga efisiensi yang lebih rendah disekitar titik operasi optimal B_1 dengan harga efisiensi optimal.



Gambar 2. Variable Speed Drive untuk pompa efisien energi

Gambar 1 menunjukkan bahwa kondisi operasi titik B_4 dan B_5 masing masing dapat digantikan oleh kondisi operasi titik III dan IV dengan nilai kecepatan pompa yang berbeda dan menuruti kurva sistem optimal. Perubahan kurva sistem ditentukan oleh posisi control valve yang terlibat sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2. Akhirnya, penerapan kontrol kecepatan pompa dan posisi bukaan control valve dapat membuat sistem selalu berada pada kondisi optimal dengan efisiensi maksimum yang dapat dicapai.

III. Hasil simulasi

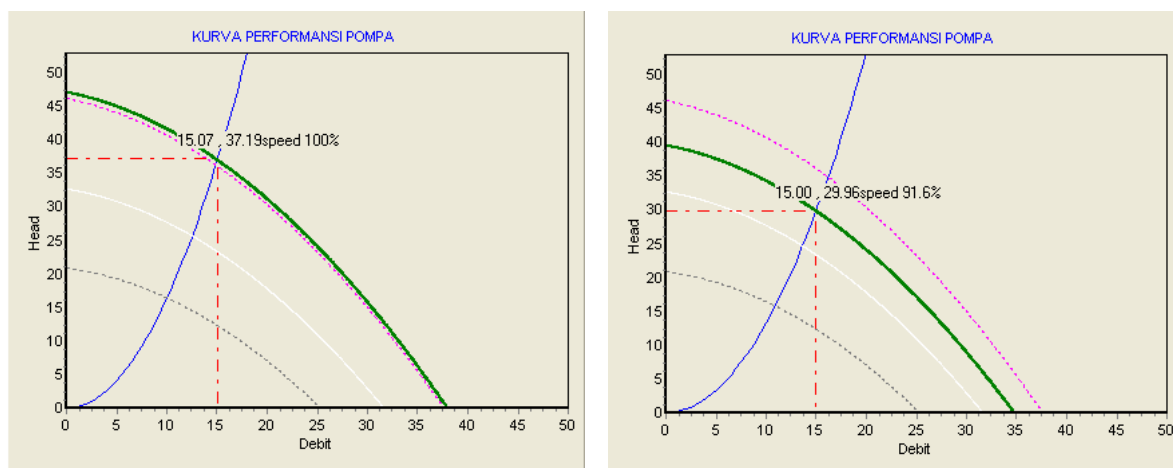
Simulasi berikut ini akan menjadi gambaran mengenai pengontrolan aliran menggunakan valve dibandingkan dengan pengontrolan yang melibatkan putaran pompa.

Misalkan sebuah pompa dirancang bekerja pada tekanan head

$$P_{\text{Desain}} = 30,0 \text{ m}$$

$$P_{\text{Deadhead}} = 47 \text{ m}$$

Maka dari kurva $Q_{\text{Desain}} = 21,0 \text{ l/m}$, bila ini digunakan pada kondisi aliran $Q = 15,0 \text{ l/m}$



Gambar 3.a Simulasi Titik Operasi Pompa pada $Q = 15,0 \text{ l/m}$ **3.b** Simulasi Titik Operasi Pompa pada $Q = 15,0 \text{ l/m}$ kondisi desain

Tekanan pada kecepatan 100% adalah $P_{100\%} = 37,2 \text{ m}$.

Sekarang bila operasi pompa digunakan pada kecepatan yang dapat diatur untuk memberikan debit yang sama diperoleh dari simulasi sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 3.b.

Untuk $P = P_{Desain} = 30,0$ m kecepatan sebesar 91,6% dengan ini diperoleh perbandingan BHP sebesar :

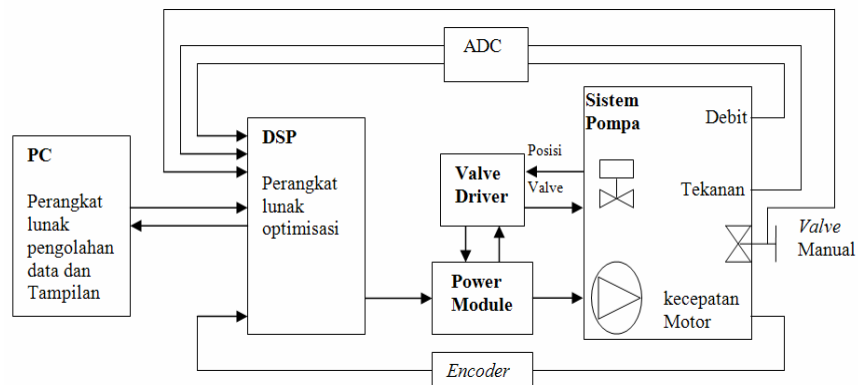
$$\frac{BHP}{BHP_{100\%}} = \left(\frac{91,6}{100}\right)^3 = 77,0\% \quad (2.2)$$

Hal di atas menunjukkan dengan melakukan pengontrolan kecepatan pompa diperoleh penghematan sekitar 20% atau lebih bergantung pada pompa yang digunakan.

IV. Perangkat Keras dan Lunak

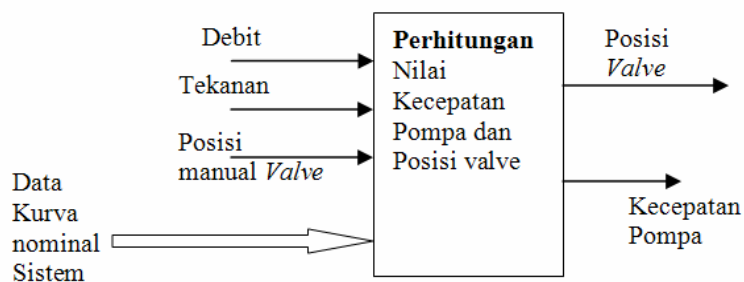
Perangkat keras tersusun dari sistem konverter analog digital (ADC), sensor dan rangkaian sensor, modul penggerak valve yang digabung atau dikombinasi dengan sebuah power modul yang dikontrol oleh DSP.

Diagram blok perangkat lunak dan perangkat keras *real time control* pompa ditunjukkan oleh gambar di bawah ini :



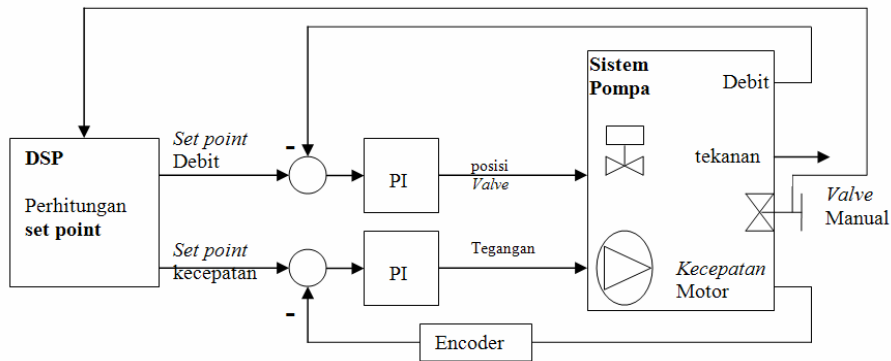
Gambar 4. Diagram blok *real time control* pompa berbasis DSP

DSP akan melakukan pengontrolan secara real time proses optimisasi kerja pompa secara *stand a lone* setelah program di *download* dari PC.

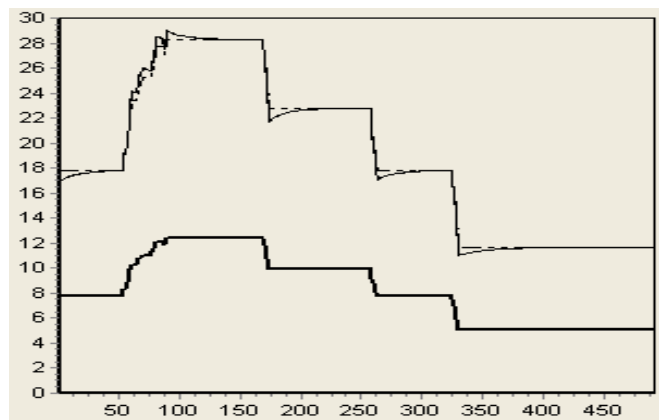


Gambar 5. Diagram blok perhitungan nilai *set point* kecepatan pompa

Kecepatan pompa dikontrol dengan sistem kontrol yang menerapkan algoritma PI. Nilai kecepatan pompa dihitung berdasarkan besar debit yang diatur oleh manual valve, nilai pressure atau tekanan yang dihasilkan, dan data kurva sistem nominal. Nilai kecepatan ini merupakan nilai set point kecepatan pompa dalam sistem kontrol kecepatan motor pompa. Algoritma diterapkan pada sistem kontrol yang digambarkan pada Gambar 6.

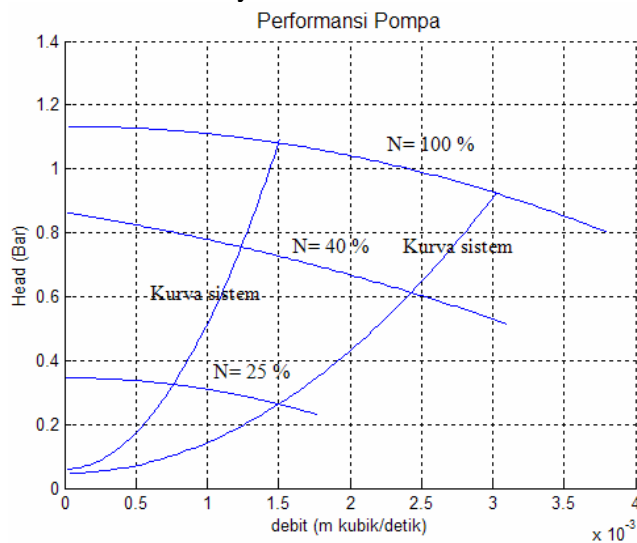


Gambar 6. Diagram blok sistem kontrol



Gambar 7. Respon debit terhadap nilai referensi dan profil kecepatan pompa

Hasil simulasi dari strategi kontrol yang diusulkan di atas dengan hanya menerapkan pengontrol proporsional ditunjukkan oleh Gambar 7. Nilai debit yang diinginkan selalu dapat dicapai dengan mengatur kecepatan pompa sementara titik operasi selalu berada pada kurva karakteristik sistem yang dirancang. Dari simulasi dapat disimpulkan bahwa kebutuhan debit yang rendah diikuti dengan kecepatan pompa yang rendah dan sebaliknya.



Gambar 8. Kurva karakteristik pompa

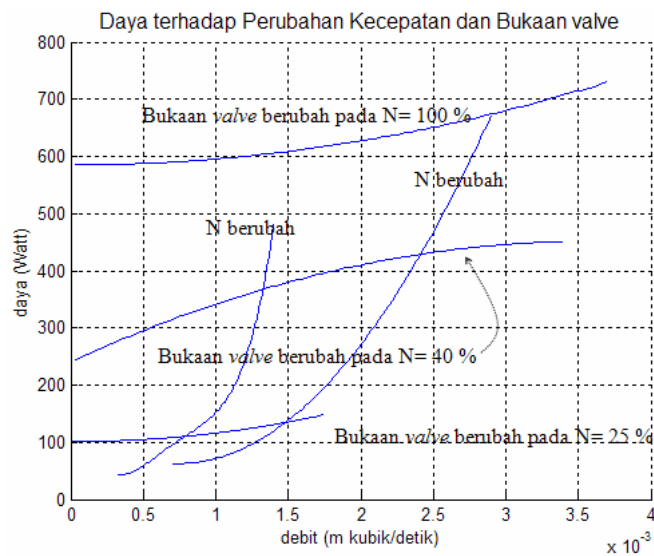
V. Hasil Pengujian

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini ditujukan pada kasus-kasus apabila pengoperasian pompa tidak berada pada beban aliran yang maksimum, melainkan pada beban yang bervariasi disekitar beban minimum tertentu.

Dua moda pengoperasian yang dikaji adalah pertama bila pengurangan beban dikendalikan oleh penutupan *valve*, dan yang kedua bila pengurangan beban dikendalikan melalui penurunan kecepatan pompa. Kedua moda ini akan menghasilkan kurva performansi pompa dan kurva sistem.

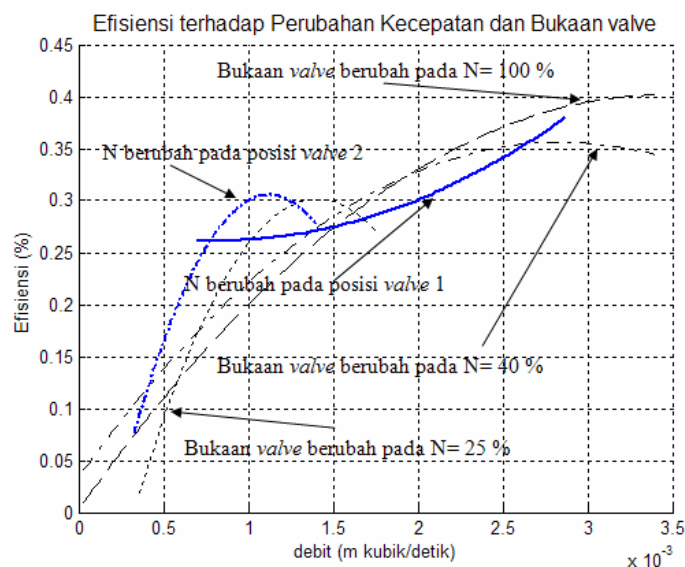
Gambar 8 menunjukkan kurva karakteristik dari pompa yang digunakan. Gambar 9 memberikan nilai dari konsumsi daya yang bersesuaian dengan Gambar 8. Sementara itu informasi tentang efisiensi ditunjukkan pada Gambar 10.

Kurva performansi pompa pada Gambar 8, menunjukkan bahwa pada tingkat beban yang menurun tekanan statik akan membesar jika kecepatan pompa dibuat tetap. Bila kurva sistem dipegang tetap, penurunan beban dapat dilakukan dengan melakukan penurunan kecepatan pompa.



Gambar 9. Kurva daya pompa

penurunan beban dari 0,003 m³/detik menjadi 0,0015 m³/detik dengan menggunakan *valve* dapat menurunkan konsumsi daya sebesar 72 W, sementara dengan menerapkan *variable speed drive* konsumsi daya menurun sebesar 470 W, atau daya berkurang sebesar 8 kali.



Gambar 10. Kurva efisiensi pompa

Gambar 9, menunjukkan bahwa bila penurunan beban dilakukan dengan melakukan penutupan *valve* konsumsi daya oleh pompa menurun, namun penurunan ini sangat kecil jika dibandingkan dengan penurunan yang dilakukan dengan memperendah kecepatan putaran pompa. Dari Gambar 9,

Kurva sistem sangat dipengaruhi oleh tingkat bukaan *valve* dalam sistem instalasi. Dalam pengontrolan kerja pompa kurva sistem dapat dipilih menurut kurva tertentu. Pemilihan ini dapat diatur melalui tingkat bukaan *valve* yang terlibat dalam sistem sesuai dengan tingkat kebutuhan tekanan yang diperlukan dalam aliran. Apa bila tekanan bukan merupakan hal yang kritis maka kurva sistem yang menjadi trek dalam sistem control dapat dipilih kurva perancangan yang telah diverifikasi pada sistem instalasi.

VI Kesimpulan

Penerapan *variable speed drive* pada sistem pompa dengan kondisi beban berubah, dapat meningkatkan penghematan daya sebesar 8 kali dibandingkan dengan menggunakan *control valve*.

Kontrol kecepatan pompa diterapkan sedemikian sehingga titik operasi pompa mengikuti trek kurva karakteristik yang dipilih.

Kurva karakteristik dapat berubah oleh posisi bukaan *valve* yang terlibat dalam instalasi.

Bila beban tidak berubah dan kondisinya selalu maksimum dan pola operasi hanya dapat dilakukan dengan kecepatan tetap, penghematan energi tidak dapat diperoleh dengan menerapkan *variable speed drive*.

Acknowledgment

Penelitian ini dibiayai oleh Program Penelitian Hibah Bersaing XIII/2 Tahun 2006, Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional.

Daftar Pustaka

1. Dietzel, Fritz, *Turbinen*, 1980, *Pumpen und Verdichter*, Vogel-Verlag, Wurzburg,
2. Elliott, R. Neal, 2003, Steven Nadel, *Realizing Energy Efficiency Opportunities in Industrial Fan and Pump Systems*, Report Number A034, [Market Transformation: Substantial Progress from a Decade of Work](http://www.aceee.org/pubs/a034full.pdf) , <http://www.aceee.org/pubs/a034full.pdf>
3. Elliott, R. Neal, Steven Nadel, April 2002, *Fan and Pump Systems: Markets and Programs*, American Council for an Energy-Efficient Economy, *Washington, DC*, [FAN AND PUMP SYSTEMS: MARKETS AND PROGRAMS](http://www.aceee.org/Motors/pmpfn.pdf), <http://www.aceee.org/Motors/pmpfn.pdf>
4. Karlis, A.D. , K. Kiriakopoulos, D.P. Papadopoulos, and E.L. Bibeau, Comparison of the Field Oriented and Direct Torque Control Methods for Induction Motors used in Electric Vehicles, 2006, [Comparison of the Field Oriented and Direct Torque Control Methods](#)
5. Stekl, Petr F, *Digital Control of Three-Phase AC Motors*, 2006, Freescale Semiconductor, Inc, [Digital Control of Three-Phase AC Motors](http://www.freescale.com/files/technology_publications/doc/Papers/Eintell5519.pdf), http://www.freescale.com/files/technology_publications/doc/Papers/Eintell5519.pdf
6. Ouhrouche, Mohand A., 2000, *Simulation of a Direct Field-Oriented Controller for an Induction Motor Using MATLAB/ SIMULINK Software Package*, Proceeding of the IASTED International Conference Modelling and Simulation (MS'2000) Pittsburgh, Pennsylvania, USA,
7. Subrahmanyam, V., 1994, *Electric Drives Concepts and Applications*, McGraw Hill Publishing Co.Ltd., New Delhi,
8. Vas, P. (1990), *Vector Control of AC Machines*, Clarendon Press, Oxford
9. Wilkes, J.O., P. LaValle, 2006, *Centrifugal Pump Performance*, [pumps-new](http://www.engin.umich.edu/class/che360/coursepack/ch3-pumps.doc), www.engin.umich.edu/class/che360/coursepack/ch3-pumps.doc