

M6-025 Pengembangan *Software* untuk Menganalisis Sistem Pemompaan Minyak Mentah

Zaki Abdussalam, I Made Astina, Prihadi Setyo Darmanto

Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara
Institut Teknologi Bandung
e-mail: Zakiman_the_great@yahoo.com

ABSTRAK

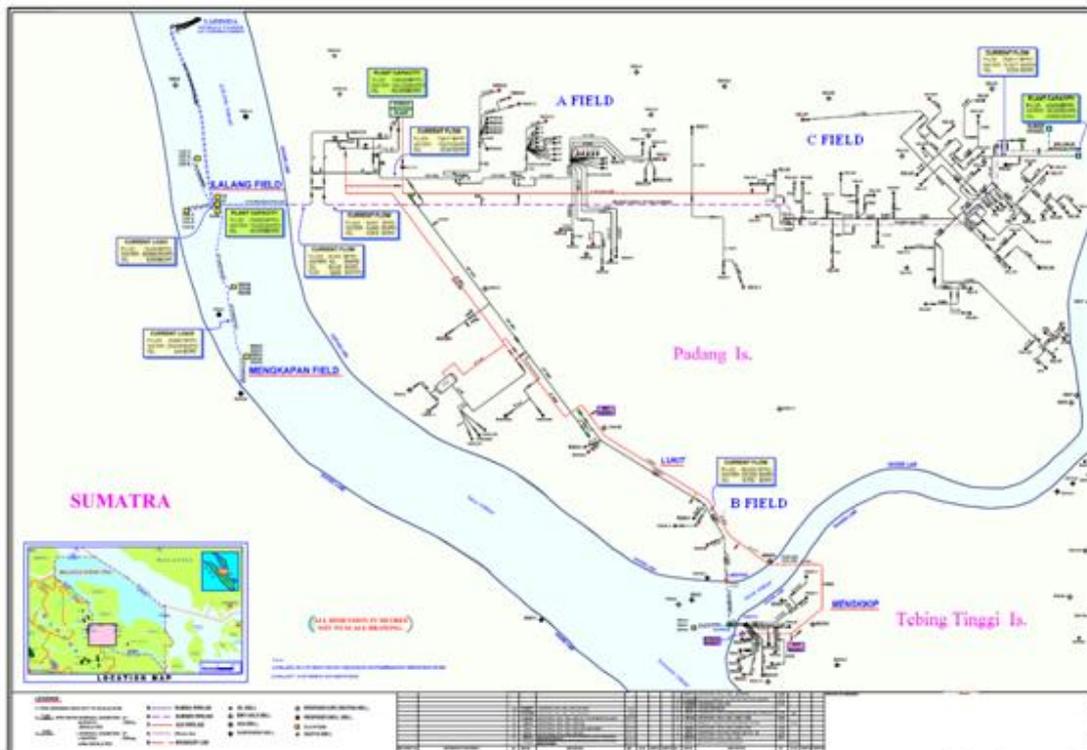
Penelitian ini merupakan tindak lanjut dari masalah yang dialami oleh sebuah perusahaan di bidang perminyakan. Masalah tersebut adalah ketidaksesuaian antara perhitungan debit minyak mentah teoritik dengan pengukuran debit di lapangan jika ada pompa tidak beroperasi. Ketidaksesuaian ini harus diselesaikan karena menimbulkan masalah lain yang dapat dilihat dari aspek teknik dan ekonomi.

Untuk penyelesaian masalah itu, langkah-langkah yang dilakukan terdiri atas: studi literatur, pencarian data valid, pengembangan perangkat lunak, dan pengaplikasian perangkat lunak. Dengan studi literatur, berbagai teori dan pengertian terkait diperoleh untuk penyelesaian masalah. Data yang valid dari berbagai sumber dibutuhkan untuk validasi hasil penelitian ini. Sebuah perangkat lunak dikembangkan dari teori dan data yang diperoleh serta digunakan untuk simulasi sistem pemompaan pada berbagai kondisi operasi.

Hasil simulasi menunjukkan debit minyak mentah yang dikirim ke A adalah $0,26726 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan efisiensi dan daya total sebesar 49,94% dan 2566,18 kW pada saat semua pompa beroperasi. Sedangkan pada kondisi tersebut, hasil pengukuran debit di lapangan menunjukkan angka $0,26744 \text{ m}^3/\text{s}$. Dengan demikian nilai debit minyak mentah hasil simulasi sangat dekat dengan hasil pengukuran.

Pendahuluan

Minyak bumi sampai saat ini masih menjadi pilihan utama untuk dijadikan berbagai macam bahan bakar. Ada beberapa alasan minyak bumi masih dijadikan sebagai bahan baku untuk bahan bakar. Pertama, minyak bumi mempunyai nilai pembakaran yang tinggi. Kedua, minyak bumi lebih mudah diolah daripada batu bara. Ketiga, minyak bumi setelah mengalami pengolahan akan berwujud cair sehingga cocok dijadikan bahan bakar kendaraan bermotor dan pesawat terbang. Adapun daerah eksplorasi perusahaan yang dijadikan objek studi kasus dapat dilihat pada Gambar 1 dengan tiga lapangan terpisah, yaitu A, B, dan C. Jumlah pompa yang terpasang di lapangan A adalah 30 buah, sedangkan yang berada di B dan C berturut-turut sebanyak 18 unit dan 42 unit.



Gambar 1. Daerah eksplorasi objek studi kasus.

Meskipun minyak bumi memiliki sejumlah kelebihan, dalam pengolahan minyak bumi masih ditemui beberapa masalah, misalnya ketidaksesuaian antara perhitungan debit teoritik dengan hasil pengukuran di lapangan. Perbedaan antara perhitungan dan hasil pengukuran dapat menyebabkan munculnya masalah dalam bidang teknik dan ekonomi. Dalam bidang teknik, perbedaan perhitungan yang biasanya dilakukan pada saat perancangan dan evaluasi dengan pengukuran di lapangan salah satunya menunjukkan bahwa pompa bekerja tidak pada titik operasinya yang optimum dengan efisiensi tinggi. Jika pompa tidak bekerja pada titik operasinya, maka efisiensi pompa rendah dan biaya operasinya meningkat. Selain itu perbedaan perhitungan dan pengukuran dapat menyulitkan operasional sistem. Perbedaan ini dapat menyebabkan ketidaksinkronan antara rencana dan realisasi sehingga berakibat pada hal-hal yang terkait seperti laba, operasi peralatan lainnya, penyimpangan perhitungan kebutuhan energy, dan kebutuhan sumber daya manusia (SDM).

Perbedaan hasil perhitungan dan pengukuran dapat terjadi pada saat sistem bekerja penuh atau bekerja sebagian. Semua pompa beroperasi bila sistem bekerja dalam kapasitas penuh. Bila hanya sebagian pompa yang beroperasi, maka sistem dikatakan bekerja sebagian. Kerugian tekanan pada saat sistem bekerja penuh dapat berbeda dengan kerugian tekanan pada saat sistem bekerja sebagian. Karena itu pengembangan metode evaluasi untuk dapat menghitung kerugian tekanan pada dua keadaan operasi yang berbeda tersebut diperlukan untuk mengatasi masalah itu.

Semua masalah yang telah disebutkan sebelumnya memerlukan adanya perangkat lunak yang dapat mensimulasikan operasi pompa-pompa baik dalam keadaan penuh maupun keadaan parsial dengan teliti. Perangkat lunak tersebut juga harus dapat memprediksi debit pompa pada saat sistem

bekerja penuh ataupun bekerja sebagian dengan berbagai kemungkinan operasi. Hal-hal inilah yang melatarbelakangi penelitian pengembangan perangkat lunak untuk mensimulasikan operasi sistem pemompaan minyak mentah dalam suatu wilayah dengan menggunakan banyak pompa.

2. Teori dan Pengembangan *Software*

Sistem pengaliran fluida adalah sistem yang digunakan untuk mengalirkan fluida. Sistem ini biasanya digunakan di lapangan minyak, sistem pengaliran air minum, sistem distribusi air di bangunan, sistem pengaliran udara, dan sistem-sistem lain yang digunakan untuk mengalirkan fluida. Ada 3 komponen penting yang harus diperhatikan dalam sistem pengaliran fluida, yaitu fluida, pompa dan sistem pemipaan.

Minyak mentah adalah fluida campuran antara hidrokarbon dan air. Fluida campuran ini memiliki sifat tersendiri yang sangat unik. Banyak penelitian yang sudah dilakukan dan masih dilakukan dengan metode dan model yang berbeda berhubungan dengan sifat termofisika minyak mentah. Penelitian tersebut umumnya dilakukan untuk menghitung *head loss* pada pipa yang dialiri oleh minyak mentah.

Poesio [1] membahas tentang *head loss* pada fluida dengan viskositas tinggi pada pipa horizontal. *Head loss* ini dipengaruhi oleh massa jenis dan kekentalan fluida. Massa jenis campuran air-minyak mentah dapat didekati dengan bentuk persamaan (1). Dalam persamaan tersebut ρ_{lic} adalah massa jenis campuran, ρ_o adalah massa jenis minyak mentah, ρ_w adalah massa jenis air, j_o adalah kecepatan minyak mentah, dan j_w adalah kecepatan air.

$$\rho_{lic} = \frac{\rho_o j_o + \rho_w j_w}{j_o + j_w} \quad (1)$$

Viskositas fluida didekati dengan persamaan (2). Dalam persamaan tersebut μ_{lic} adalah viskositas campuran, μ_o adalah viskositas minyak mentah, μ_w adalah viskositas air, j_o adalah kecepatan minyak mentah, dan j_w adalah kecepatan air.

$$\mu_{lic} = \frac{\mu_o j_o + \mu_w j_w}{j_o + j_w} \quad (2)$$

Sifat-sifat campuran yang sudah didekati ini digunakan untuk menghitung *head loss*.

Pendekatan sifat termofisika campuran untuk minyak mentah dan air diberikan oleh Rodriguez [2]. Sifat ini sangat penting untuk mengkaji karakteristik *head loss* pada pipa. Bentuk model matematis yang diberikannya untuk mewakili data eksperimen berbeda dengan Pietro. Pendekatan sifat termofisika ini dihitung dengan beberapa tahap. Pertama, *slip factor* (s) dihitung dengan persamaan (3). s adalah *slip factor*, m adalah rasio viskositas (μ_2/μ_1), Q_1 adalah debit fluida 1 dan Q_2 adalah debit fluida 2.

$$s = 1 + \sqrt{1 + m \frac{Q_1}{Q_2}} \quad (3)$$

Kedua, fraksi volumetrik (ε) dihitung dengan persamaan (4). ε adalah fraksi volumetrik, s adalah *slip factor*, Q_1 adalah debit fluida 1, dan Q_2 adalah debit fluida 2.

$$\varepsilon = \frac{1}{1 + s \frac{Q_2}{Q_1}} \quad (4)$$

Ketiga, massa jenis campuran dapat dihitung dengan persamaan (5). ρ_m adalah massa jenis campuran, ε adalah fraksi volumetrik, ρ_1 adalah massa jenis fluida 1, dan ρ_2 adalah massa jenis fluida 2.

$$\rho_m = \varepsilon \rho_1 + (1 - \varepsilon) \rho_2 \quad (5)$$

Keempat, viskositas dihitung dengan persamaan (6). μ_m adalah viskositas campuran, μ_1 adalah viskositas fluida 1, μ_2 adalah viskositas fluida 2, dan ε adalah fraksi volumetrik.

$$\frac{1}{\mu_m} = \frac{\varepsilon^2}{\mu_1} + \frac{1 - \varepsilon^2}{\mu_2} \quad (6)$$

Model *head loss* fluida yang diusulkan oleh Rodriguez dengan menggunakan sifat termofisika tersebut mendekati nilai *head loss* hasil pengujian.

Pendekatan sifat termofisika campuran dievaluasi dengan aturan campuran linier (*linier mixing law*). Massa jenis campuran air dan minyak didekati dengan persamaan (7). ρ_{lic} adalah massa jenis campuran, ρ_o adalah massa jenis minyak mentah, ρ_w adalah massa jenis air, Q_o adalah debit minyak mentah, dan Q_w adalah debit air.

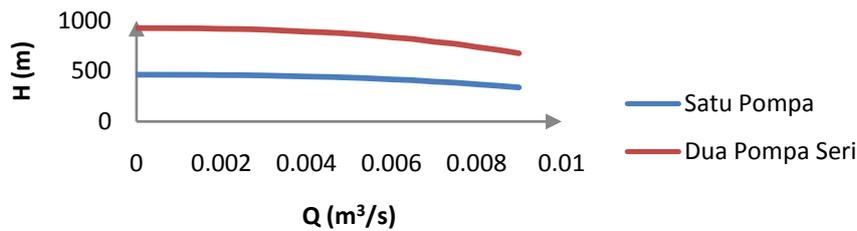
$$\rho_{lic} = \frac{\rho_o Q_o + \rho_w Q_w}{Q_o + Q_w} \quad (7)$$

Viskositas fluida didekati dengan persamaan (8). μ_{lic} adalah viskositas campuran, μ_o adalah viskositas minyak mentah, μ_w adalah viskositas air, \dot{m}_o adalah laju massa minyak mentah, dan \dot{m}_w adalah laju massa air.

$$\mu_{lic} = \frac{\mu_o \dot{m}_o + \mu_w \dot{m}_w}{\dot{m}_o + \dot{m}_w} \quad (8)$$

Sifat-sifat termofisika campuran yang sudah didekati ini dipakai untuk menghitung *head loss*. Dari persamaan (7) dan (8) nampak bahwa pendekatan kedua sifat termofisika minyak mentah hanya dapat dievaluasi saat minyak mentah tersebut mengalir.

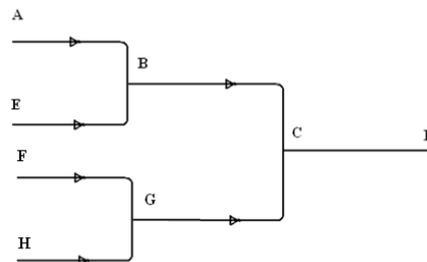
Jika sifat fluida sudah diketahui, maka pompa yang digunakan perlu diketahui karakteristiknya. Pompa yang digunakan pada penelitian ini adalah pompa sentrifugal bertingkat. Untuk pompa yang memiliki karakteristik yang sama, jika n pompa pompa dipasang bertingkat seri, maka H_p akan menjadi n kali lipat H_p semula untuk Q_p yang sama. Contoh kurva karakteristik 2 pompa yang dipasang seri diperlihatkan pada Gambar 2. Gambar tersebut menunjukkan nilai H_p menjadi 2 kali lipat H_p semula untuk pompa yang mempunyai karakteristik yang sama.



Gambar 2. Kurva karakteristik 2 pompa yang sama diseri.

Hal lain yang harus dipertimbangkan selain sifat fluida dan pompa adalah sistem pemipaan. Sistem pemipaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem pemipaan seri dan paralel. Contoh pipa yang disambung seri dan paralel dapat dilihat pada Gambar 3. *Head loss* pipa yang disambung paralel sama pada semua pipa dan *head loss* pipa yang disambung seri adalah penjumlahan *head loss* pada semua pipa yang dialiri fluida. Konsep tersebut dipakai untuk menghitung *head loss* pada pipa yang kompleks seperti pada Gambar 3. *Head* fluida yang sampai di B dari A harus dengan *head* fluida dari E ke B dan *head loss* dari A ke D dihitung dengan persamaan (9). H_{IA-D} adalah *head loss* A ke D, H_{IA-B} adalah *head loss* A ke B, H_{IB-C} adalah *head loss* B ke C, H_{IC-D} adalah *head loss* C ke D.

$$H_{IA-D} = H_{IA-B} + H_{IB-C} + H_{IC-D} \quad (9)$$



Gambar 3. Pipa yang disambung seri dan paralel.

Persamaan (9) dapat dipahami dengan logika berikut:

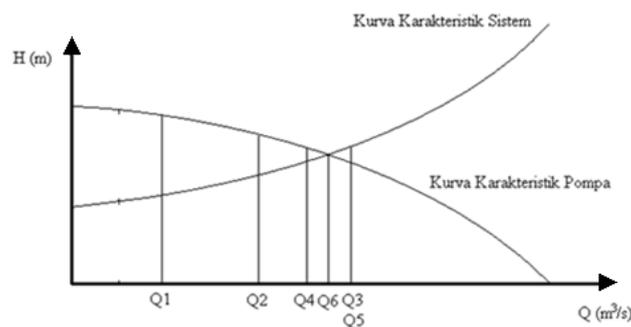
- *Head* fluida di D adalah *head* di C dikurangi oleh *head loss* pipa C ke D.
- *Head* fluida di C adalah *head* di B dikurangi oleh *head loss* pipa B ke C.
- *Head* fluida di B adalah *head* di A dikurangi oleh *head loss* pipa A ke B.
-

Dari logika tersebut dapat disimpulkan bahwa *Head loss* A ke D adalah *head loss* pipa A ke B ditambah *head loss* pipa B ke C ditambah *head loss* pipa C ke D.

Sebuah metode perhitungan dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah jika data detail sistem pemipaan, pompa dan fluida dalam sistem penyaluran fluida sudah diketahui. Metode manual membutuhkan waktu yang sangat banyak dan kemampuan ulang yang rendah bila digunakan untuk suatu sistem yang sangat kompleks. Hal ini disebabkan banyak persamaan yang harus diselesaikan. Metode yang efektif digunakan adalah metode numerik berbasis komputer.

Dalam metode numerik yang diterapkan untuk mencari titik kerja pompa, semua kurva pompa dan kurva sistem diubah menjadi persamaan matematis. Kurva pompa yang dimasukkan adalah kurva *head*, kurva efisiensi, dan kurva daya. Kurva sistem yang dimasukkan sudah termasuk semua *head* statik dan *head* dinamik.

Metode numerik ini menggunakan iterasi dalam menyelesaikan masalah. Q dicoba dari Q dengan nilai terkecil. Q akan terus ditambah selama *head* pompa lebih tinggi dari *head* sistem untuk Q yang sama. Jika *head* pompa lebih kecil dari pada *head* sistem, maka Q akan dikurangi. Setelah itu, iterasi dibagi 2 dan Q ditambah lagi. Hal ini terus diulangi sampai didapat Q dengan nilai kesalahan yang diinginkan. Jika *head* sistem sudah sama dengan *head* pompa, maka kondisi operasi pompa sudah tercapai. Contoh metode iterasi penelusuran diperlihatkan oleh Gambar 4.



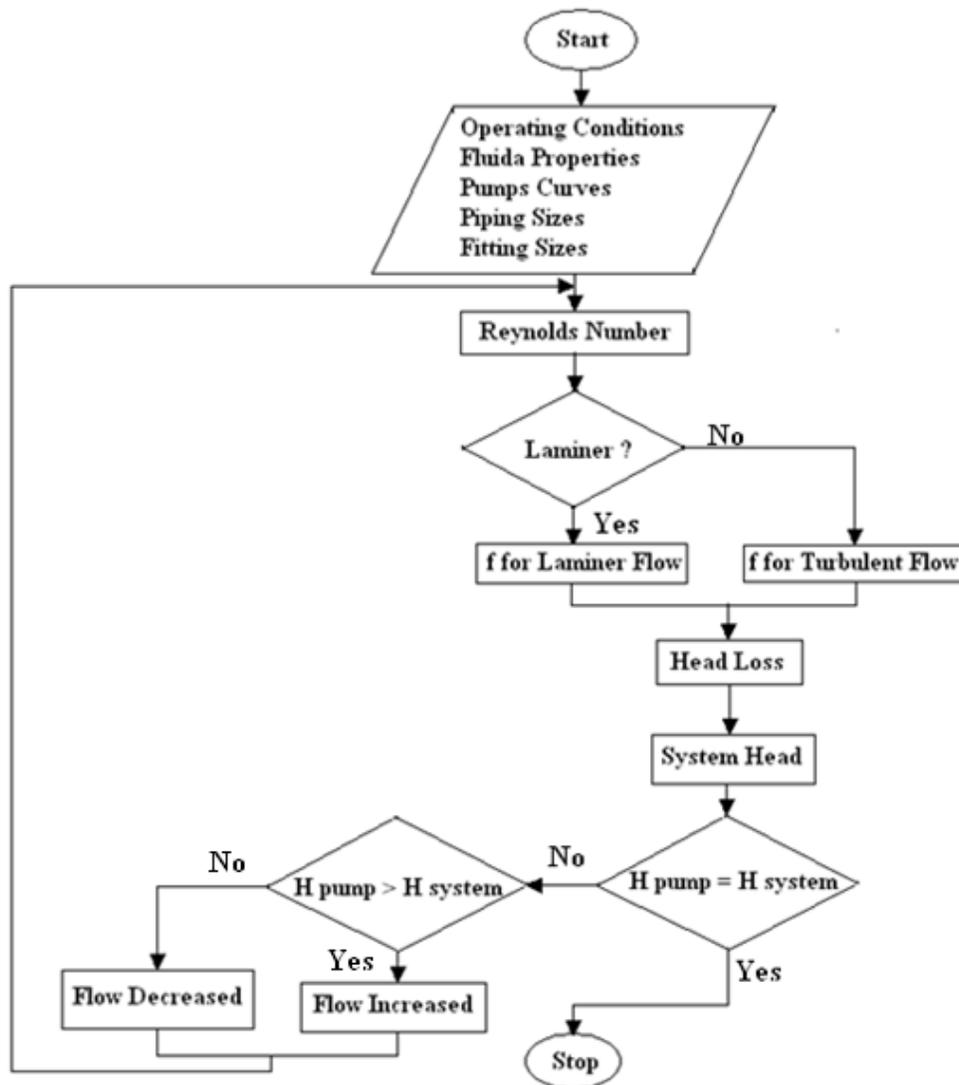
Gambar 4. Contoh metode iterasi penelusuran.

Diagram alir program penghitung debit dapat dilihat pada Gambar 5. Pertama program akan melihat input yang dimasukkan. Input tersebut adalah kondisi operasi, sifat fluida, kurva pompa, ukuran pipa, faktor gesekan aksesoris, dan nilai iterasi awal. Semua input yang dimasukkan termasuk asumsi harus rasional dan realistis agar hasil keluaran terakhir dari program benar. Kedua, program akan memproses data input yang dimasukkan pada langkah sebelumnya. Langkah-langkah pemrosesan data juga disajikan pada diagram alir tersebut. Adapun langkah utamanya adalah:

- Perhitungan bilangan Reynolds.
- Perhitungan *head loss*.
- Perhitungan *head* sistem keseluruhan.
- Perhitungan *head* pompa dari persamaan kurva pompa.
- Perbandingan *head* sistem dengan *head* pompa. Jika *head* pompa lebih besar dari pada *head* sistem, maka debit pompa akan ditambah. Jika *head* pompa lebih kecil daripada *head* sistem, maka debit pompa akan dikurangi. Jika *head* pompa sudah sama dengan *head* sistem, maka debit hasil perhitungan sudah dianggap benar dengan tingkat kesalahan yang ditetapkan dan program akan berhenti.

Setelah data diproses, keluaran terakhir program adalah debit setiap pompa, debit setiap lapangan dan debit keseluruhan.

Disamping itu, diagram alir juga memperlihatkan langkah-langkah perhitungan *head loss*. Pertama adalah pengecekan aliran dalam pipa, apakah turbulen atau laminar. Kedua, program akan menghitung faktor gesekan pipa. Ketiga, program akan menghitung *head loss* pada pipa dan fitting.



Gambar 5. Diagram alir prosedur penghitung debit.

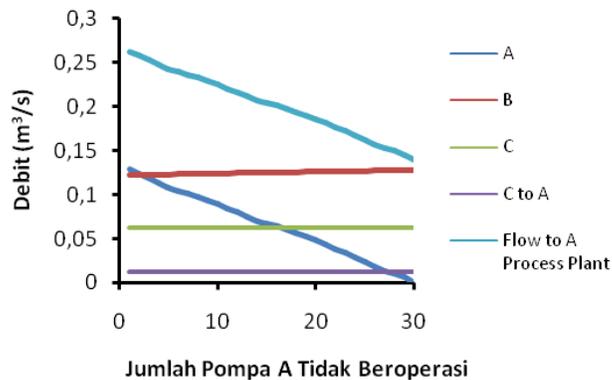
Perangkat lunak dibangun dengan bahasa pemrograman C++. Hasil simulasi perangkat lunak pada saat semua pompa beroperasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Debit hasil simulasi saat semua pompa beroperasi.

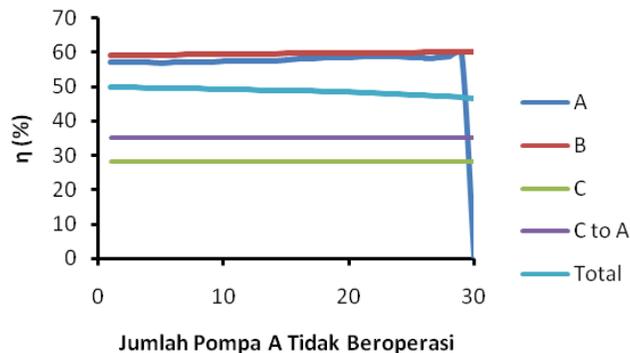
Sumber	Total Debit
	(m ³ /s)
A	0,13392
B	0,12147
C	0,06295
C ke A	0,01187

Debit ke <i>Process Plant</i> A	0,26726
---------------------------------	---------

Simulasi berikutnya dilakukan pada saat ada pompa di lapangan A yang tidak beroperasi. Hasil simulasi perangkat lunak pada saat ada pompa di lapangan A tidak beroperasi dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7. Debit lapangan B bertambah dengan berkurangnya jumlah pompa pompa yang beroperasi di lapangan A. Hal ini disebabkan oleh pengurangan *head loss* pada pipa yang dilewati oleh minyak mentah dari lapangan A dan B. Efisiensi pompa-pompa di lapangan A dan B meningkat karena meningkatnya debit masing-masing pompa.



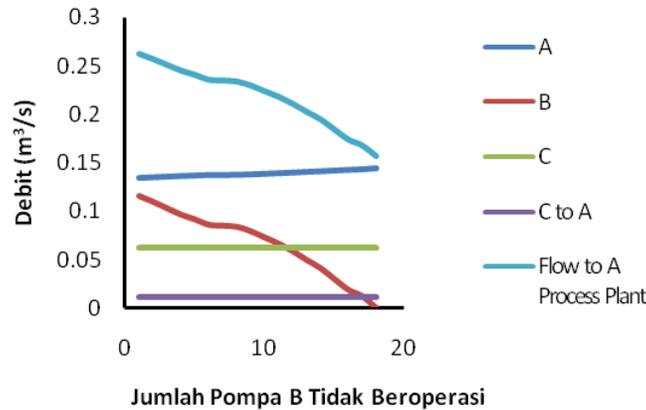
Gambar 6. Pengaruh tidak beroperasinya pompa di lapangan A terhadap debit setiap lapangan.



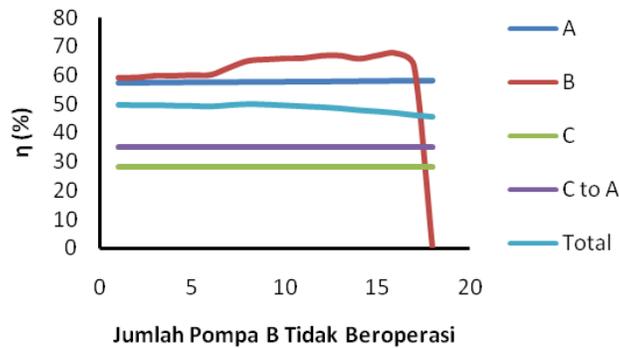
Gambar 7. Pengaruh tidak beroperasinya pompa di lapangan A terhadap efisiensi pompa setiap lapangan.

Simulasi selanjutnya dilakukan ketika ada pompa di lapangan B yang tidak beroperasi. Untuk kasus ini, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9. Debit pompa-pompa yang masih beroperasi di lapangan A dan B meningkat karena berkurangnya *head loss* pada pipa yang dilewati oleh minyak mentah dari kedua lapangan tersebut. Peningkatan debit itu juga menyebabkan efisiensi masing-masing pompa meningkat. Debit dan efisiensi pompa-pompa di

lapangan C sama sekali tidak terpengaruh karena minyak mentah dari lapangan tersebut melewati pipa yang berbeda dengan minyak mentah dari lapangan A dan B.

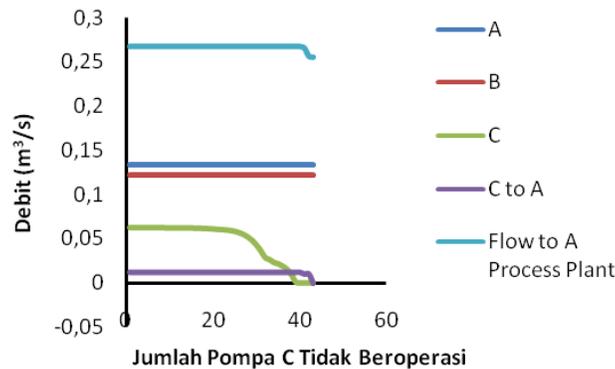


Gambar 8. Pengaruh tidak beroperasinya pompa di lapangan B terhadap debit setiap lapangan.

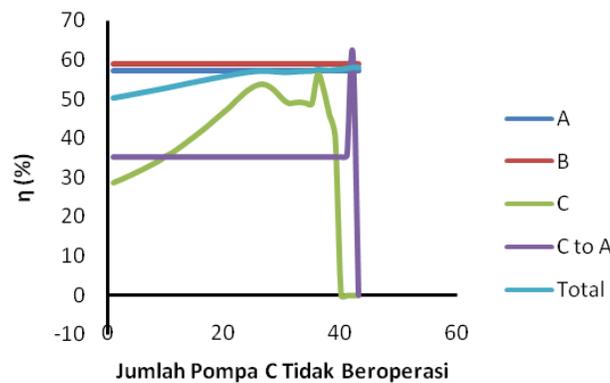


Gambar 9. Pengaruh tidak beroperasinya pompa di lapangan B terhadap efisiensi pompa setiap lapangan.

Simulasi untuk kasus ada pompa di lapangan C tidak beroperasi juga dilakukan. Hasil simulasi perangkat lunak pada saat ada pompa di lapangan C tidak beroperasi dapat dilihat pada Gambar 10 dan 11. Debit minyak mentah dari lapangan C tidak langsung berkurang dengan bertambahnya jumlah pompa yang tidak beroperasi karena pengaruh *head loss* yang sangat besar. Jika satu pompa tidak beroperasi, maka *head loss* berkurang. Berkurangnya *head loss* ini langsung membuat pompa lain yang masih beroperasi naik debitnya. Peningkatan debit ini dapat juga terlihat dari peningkatan efisiensi rata-rata pompa-pompa yang ada di lapangan C.

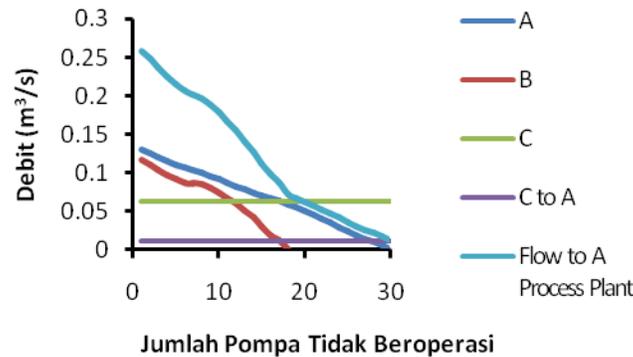


Gambar 10. Pengaruh tidak beroperasinya pompa di lapangan C terhadap debit setiap lapangan

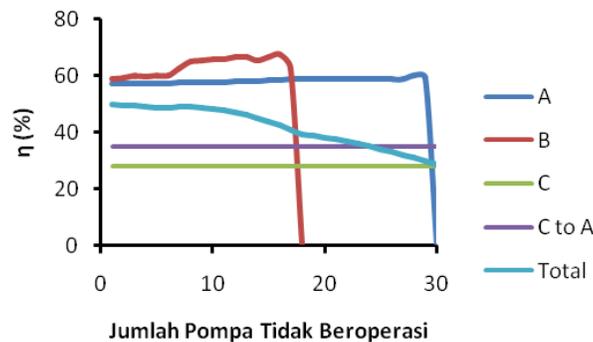


Gambar 11. Pengaruh tidak beroperasinya pompa di lapangan C terhadap efisiensi pompa setiap lapangan.

Gambar 12 dan 13 menunjukkan karakteristik debit dan efisiensi dengan pengurangan jumlah pompa yang beroperasi di lapangan A dan B. Debit lapangan A dan B turun ketika jumlah pompa yang tidak beroperasi bertambah. Laju penurunan debit terhadap pengurangan jumlah pompa yang beroperasi tidak sama untuk setiap lapangan. Perbedaan ini karena karakteristik instalasi pemipaan masing-masing lapangan berbeda. Efisiensi pompa-pompa di lapangan A dan B naik karena debit setiap pompa meningkat. Peningkatan ini disebabkan oleh pengurangan *head loss*.

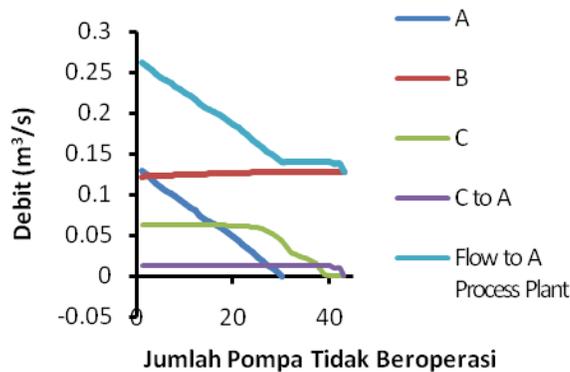


Gambar 12. Pengaruh tidak beroperasinya pompa di lapangan A dan B terhadap debit setiap lapangan.

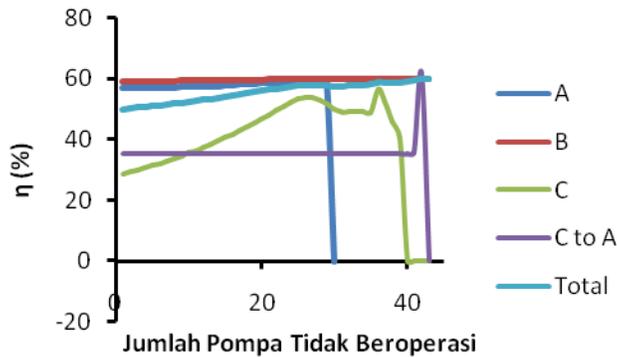


Gambar 13. Pengaruh tidak beroperasinya pompa di lapangan A dan B terhadap efisiensi pompa setiap lapangan.

Berikutnya, simulasi dilakukan pada saat ada pompa di lapangan A dan C tidak beroperasi. Hasil simulasi perangkat lunak pada saat ada pompa di lapangan A dan C tidak beroperasi dapat dilihat pada Gambar 14 dan 15. Pengaruh tidak beroperasinya pompa-pompa di lapangan A dan C terhadap debit dan efisiensi pompa-pompa di lapangan A, B, dan C sama dengan pengaruh tidak beroperasinya pompa di lapangan A saja atau B saja karena minyak mentah dari lapangan A dan B melewati pipa yang berbeda dengan minyak mentah dari lapangan C.

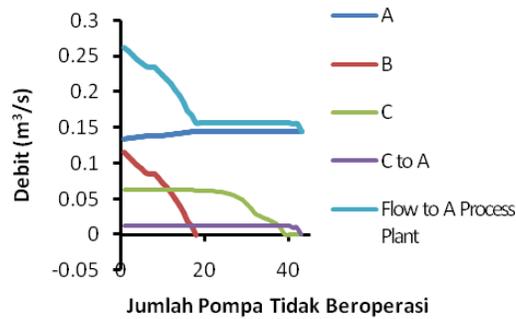


Gambar 14. Pengaruh tidak beroperasinya pompa di lapangan A dan C terhadap debit setiap lapangan.

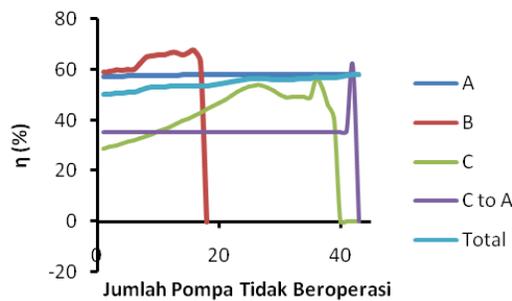


Gambar 15. Pengaruh tidak beroperasinya pompa di lapangan A dan C terhadap efisiensi pompa setiap lapangan.

Simulasi untuk kasus ada pompa di lapangan B dan C tidak beroperasi juga dilakukan. Hasil simulasi perangkat lunak pada saat ada pompa di lapangan B dan C yang tidak beroperasi dapat dilihat pada Gambar 16 dan 17. Pengaruh tidak beroperasinya pompa-pompa di lapangan B dan C terhadap debit dan efisiensi pompa-pompa di lapangan A, B, dan C sama dengan pengaruh tidak beroperasinya pompa di lapangan B saja atau C saja.

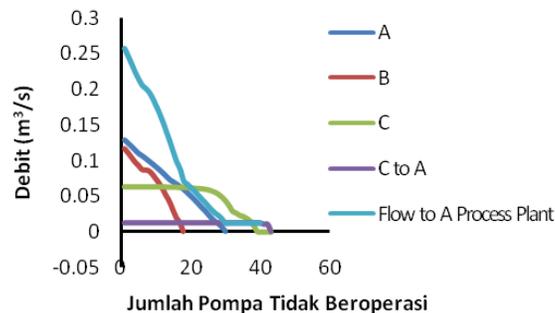


Gambar 16. Pengaruh tidak beroperasinya pompa di lapangan B dan C terhadap debit setiap lapangan.

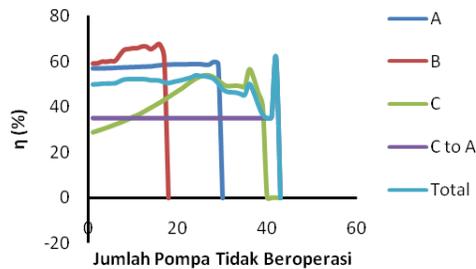


Gambar 17. Pengaruh tidak beroperasinya pompa di lapangan B dan C terhadap efisiensi pompa setiap lapangan.

Simulasi yang terakhir dilakukan pada saat ada pompa di lapangan A, B, dan C tidak beroperasi. Hasil simulasi perangkat lunak pada saat ada pompa di lapangan A, B, dan C tidak beroperasi dapat dilihat pada Gambar 18 dan 19. Pengaruh tidak beroperasinya pompa di lapangan A, B, dan C terhadap debit dan efisiensi pompa-pompa di lapangan A, B, dan C sama dengan pengaruh tidak beroperasinya pompa di lapangan A dan B saja atau C saja.



Gambar 18. Pengaruh tidak beroperasinya pompa di lapangan B dan C terhadap debit setiap lapangan.



Gambar 19. Pengaruh tidak beroperasinya pompa di lapangan B dan C terhadap efisiensi pompa setiap lapangan.

3. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

- Program komputer sebagai alat bantu untuk mengevaluasi sistem pemompaan campuran minyak mentah dan air pada lapangan yang diambil sebagai objek studi kasus telah dikembangkan.
- Hasil validasi perhitungan debit minyak mentah yang dipompakan dengan hasil pengukuran di lapangan saat semua pompa beroperasi menunjukkan kesalahan yang kecil (0,007%). Debit hasil pengukuran adalah $0,26744 \text{ m}^3/\text{s}$. Sedangkan hasil simulasi menunjukkan debit minyak mentah yang dikirim ke Kurau adalah $0,26726 \text{ m}^3/\text{s}$
- Efisiensi dan daya total hasil simulasi berturut-turut sebesar 49,94% dan 2566,18 kW pada saat semua pompa beroperasi.
- Perangkat lunak yang dikembangkan dapat pula dipakai untuk memperkirakan debit aliran minyak mentah pada saat satu atau beberapa pompa tidak beroperasi, termasuk perubahan karakteristik kinerja sistem.
- Hilangnya debit dari satu atau beberapa pompa menyebabkan debit dan efisiensi pompa lain naik karena berkurangnya *head loss* jika fluida pompa-pompa tersebut melewati pipa yang sama.

4. Referensi

- [1] Poesio Pietro, *Very-Viscous-Oil/Water/Air Flow Through Horizontal Pipes: Pressure Drop and Prediction*, Elsevier Ltd, Italy, 2008.
- [2] Rodriguez O.M.H., *Pressure Loss in Core Annular Flow: Modelling, Experimental, and Full Scale Experiments*, Engineering School of Sao Paulo, Brazil, 2007.
- [3] Stewart Maurice dan Arnold Ken, *Surface Production Operation*, Gulf Publishing Company, Houston, 1999.

SEMINAR NASIONAL TAHUNAN TEKNIK MESIN (SNTTM) - VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-14 Agustus 2009

- [4] Abdussalam Zaki, *Pengembangan Software untuk Menganalisis Sistem Pemompaan Minyak Mentah (Studi Kasus PT Kondur Petroleum Sungai Apit)*, Tugas Sarjana, Teknik Mesin FTMD ITB, Bandung, 2009.