

STUDI ALIRAN MINYAK MENTAH DENGAN TEKNIK PERUNUT RADIOISOTOP

Sugiharto, Wibisono dan Syurhubel
Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN, Jakarta

ABSTRAK

STUDI ALIRAN MINYAK MENTAH DENGAN TEKNIK PERUNUT RADIOISOTOP.

Isotop Br-82 telah diinjeksikan ke dalam pipa baja karbon berdiameter 8 inci berisi minyak mentah yang diproduksi oleh sumur minyak di daerah Jurong provinsi Riau. Tujuan makalah ini adalah untuk menyelidiki pola aliran minyak mentah sepanjang 60 meter dari panjang pipa. Kurva distribusi waktu tinggal, *rtd-residence time distribution*, yang diperoleh dari titik-titik pengamatan 1 dan 2 diolah untuk mendapatkan informasi sifat-sifat aliran. Kecepatan aliran minyak mentah dihitung dengan metode *flow-velocity* adalah 6,49 meter/ menit. Parameter model, *n*, dihitung dengan persamaan varian kurva model adalah 3,29 dan 2,25 masing-masing untuk kurva rtd 1 dan kurva rtd 2. Hasil ini menunjukkan bahwa aliran minyak mentah adalah aliran turbulen disebabkan komponen-komponen lain yang ikut dihasilkan dari eksplorasi minyak didalam sumur yang sama seperti gas, air dan lumpur. Ketidakrataan permukaan dinding dalam pipa disebabkan oleh pergerakan dan korosi turut memberi kontribusi kepada pelebaran aliran minyak mentah.

ABSTRACT

STUDY ON FLOW OF CRUDE OIL BY MEANS OF RADIOISOTOPE TRACER

TECHNIQUE. Br-82 isotope has been injected into carbon steel pipe 8 inch of diameter containing crude oil produced by oil well at Jurong district of Riau province. The purpose of this experiment is to investigate flow pattern of crude oil along 60 meters of the pipe. The residence time distribution curves obtained at observation point 1 and 2 have been assessed to get information of flow properties. The flow velocity of crude oil calculated by flow velocity method was 6, 49 meter/minute. The model parameter, *n*, calculated by equation of variance of the model curve were 3,29 and 2, 25 for rtd curve 1 and rtd curve 2 respectively. This result indicates that the flow of crude oil was turbulent in character due to other components, which were also produced from oil exploration in the same well such as gas, water and sludge. The roughness of the inner wall of the pipe caused by scaling and corrosion may contribute to the divergence of the flow of crude oil.

PENDAHULUAN

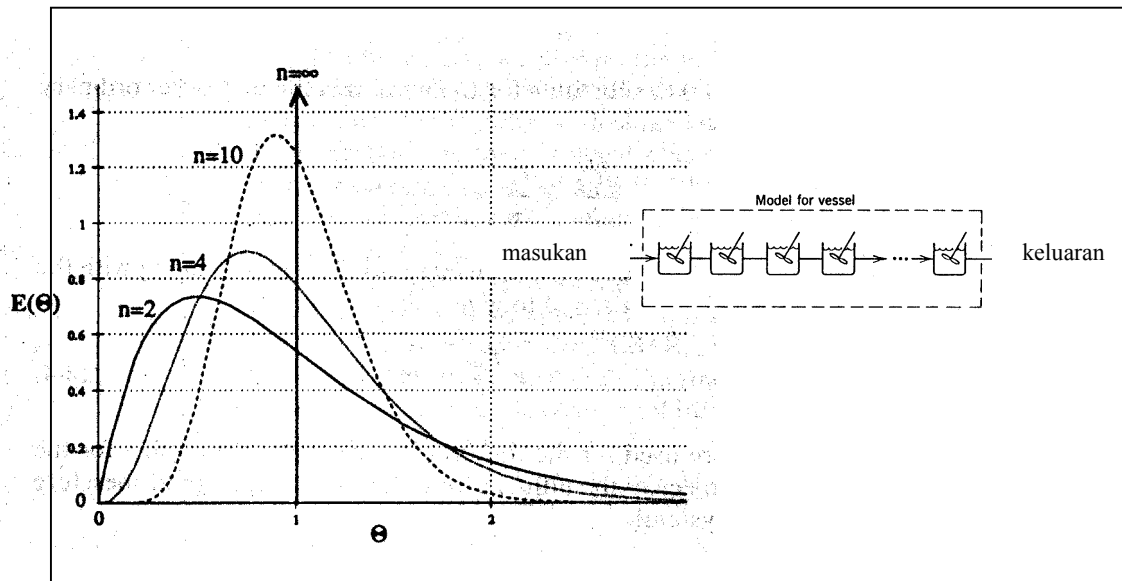
Produk yang dihasilkan dari suatu sumur minyak tidak hanya minyak mentah, melainkan ada produk ikutan lainnya seperti air, gas dan lumpur (*sludge*) [1, 2]. Sebelum diproses lebih lanjut di unit-unit pemrosesan minyak (*refinery*), minyak mentah dari berbagai sumur disimpan sementara di tangki-tangki penyimpanan melalui pipa penyalur dengan berbagai ukuran, sesuai dengan produk yang dihasilkan masing-masing sumur minyak.

Isotop Br-82 telah diinjeksikan kedalam pipa penyalur minyak mentah yang diproduksi dari salah satu sumur di daerah Jurong, provinsi Riau. Pipa penyalur yang digunakan untuk menyalurkan minyak mentah dari sumur minyak ke tangki penyimpanan sementara, berjarak ± 60 km, adalah pipa baja karbon (*carbon steel*) berdiameter 8 inci. Sebagian kecil pipa penyalur berada dibawah permukaan tanah dan sebagian lagi menye-

berangi sungai Rokan. Aliran minyak mentah dianalisis dengan menggunakan model bejana berderet. Dalam makalah ini akan dilaporkan hasil analisis aliran minyak mentah pada segmen pipa sepanjang 60 meter yang terletak di atas permukaan tanah sebelum menyeberangi sungai Rokan.

TINJAUAN TEORI

Penerapan model matematika sangat membantu untuk menganalisis aliran minyak mentah didalam pipa. Salah satu model matematika yang biasa digunakan untuk memprediksi aliran fluida adalah model bejana berderet atau *tanks-in-series model*. Pada model bejana berderet, sistem yang diamati seolah-olah terdiri dari beberapa bejana dan tiap bejana mempunyai sifat mampu mencampurkan isotop dalam waktu yang sangat singkat (*well-mixed*).



Gambar 1. Respon keluaran model bejana berderet untuk nilai n yang berbeda-beda. (diadopsi dari ref. 3 dan 4).

Dalam model bejana berderet diasumsikan isotop yang diinjeksikan berjalan dari satu bejana ke bejana lain secara berurutan. Untuk menganalisis aliran fluida didalam pipa, isotop yang diinjeksikan haruslah berbentuk pulsa. Injeksi pulsa dapat direalisasikan asalkan isotop yang diinjeksikan hanya sedikit dan waktu injeksinya sangat singkat. Penjelasan mengenai model bejana berderet dapat dijumpai pada referensi yang diacu dalam makalah ini [3-6].

Parameter model pada model bejana berderet adalah n. Isotop yang diinjeksikan pada titik injeksi akan memberikan respon pada bejana ke n, dinyatakan dalam [3-6] :

$$C(\theta) = \frac{n(n\theta)^{n-1}e^{-n\theta}}{(n-1)!} \quad (1)$$

- dengan
- C(θ) adalah konsentrasi isotop dalam θ, tidak berdimensi
 - n adalah parameter model, tidak berdimensi
 - θ = t/τ adalah waktu tereduksi, tidak berdimensi
 - t adalah waktu cacahan, dalam detik
 - τ adalah waktu tinggal rata-rata, dalam detik

Jika persamaan (1) diplotkan dalam bentuk kurva untuk nilai n yang berbeda-beda maka akan diperoleh kurva-kurva model seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1. Sifat dari parameter model, n adalah :

jika $n \rightarrow \infty$ aliran minyak mentah mengikuti aliran *plug*, sedangkan

jika $n \rightarrow 0$ aliran minyak mentah mengikuti aliran tercampur sempurna (*well-mixed*).

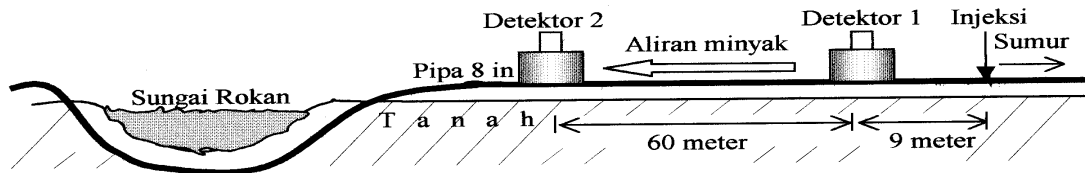
Jumlah tangki, n, dihitung dari persamaan *variance* model yang diperoleh dari injeksi perunut radioaktif [3, 4], yaitu :

$$\sigma_{\theta}^2 = \int_0^{\infty} \theta^2 E(\theta) d\theta = 1/n \quad (2)$$

BAHAN DAN METODE

Bahan dan alat. (a) Isotop Br-82 dalam senyawa C_6H_5-Br , aktivitas 740 MBq diperoleh dari Pusat Produksi Radioisotop dan Radiofarmaka-Serpong; (b) Detektor sintilasi dan rate-meter Minekin 9302; (c) Injektor isotop ; (d) Kolimator; (e) Sepatu lapangan, sarung tangan karet, kacamata *goggle*, jas lab, (f) Komputer laptop Toshiba Tecra; (g) Power supply-UPS; (h) Survey-meter, *film badge*; dan (i) Alat tulis kantor.

Injeksi isotop dan monitoring. Skema injeksi isotop ke dalam pipa 8 inci dan monitoring cacahan radiasi pada titik-titik pengamatan diperlihatkan pada Gambar 2. Isotop Br-82 diinjeksikan pada tempat injeksi yang telah ditentukan, ± 110 meter dari sungai Rokan ke arah sumur minyak. Agar kurva distribusi waktu tinggal

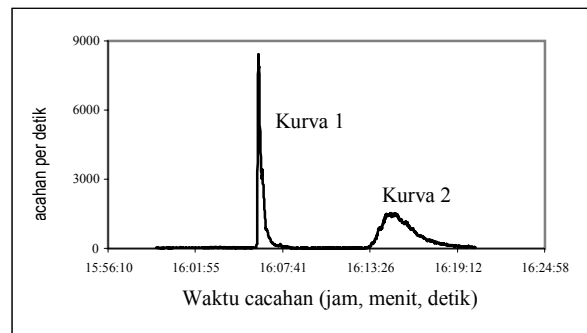


Gambar 2. Skema injeksi isotop ke dalam pipa 8 inci dan monitoring cacahan radiasi pada titik-titik pengamatan. Jarak antara detektor 1 dan 2 adalah 60 meter.

(*Residence Time Distribution*-selanjutnya disebut *rtd*) dapat dianalisis dengan model bejana berderet maka isotop yang diinjeksikan haruslah *instantaneous* sehingga membentuk pulsa. Untuk memenuhi kriteria tersebut isotop yang diinjeksikan sedikit saja dan dilakukan dalam waktu yang sangat singkat. Isotop dimasukkan ke dalam injektor yang terhubung dengan tabung gas bertekanan. Tekanan gas di dalam tabung (± 700 psi) harus lebih besar dibandingkan tekanan fluida di dalam pipa. Ujung injektor dimasukkan ke dalam pipa melalui *tap* sambungan 3/4 inci. Detektor sintilasi yang telah terhubung dengan *rate-meter* Minekin 9302 dipasang pada titik pengamatan 1 yang berjarak ± 9 meter dari titik injeksi. Setelah dilakukan pencacahan latar belakang, isotop segera diinjeksikan ke dalam pipa. Selanjutnya isotop akan mengikuti aliran minyak mentah di dalam pipa. Saat isotop melewati tempat dimana dipasang detektor, detektor akan mencatat cacahan radiasi. Pada saat isotop mengalir di dalam pipa, detektor dipindahkan ke titik pengamatan 2 yang berada pada jarak ± 69 meter dari titik injeksi. Selanjutnya data cacahan ini diolah untuk keperluan analisis aliran minyak mentah di dalam pipa. Kurva cacahan yang diperoleh pada titik pengamatan 1 dan titik pengamatan 2 masing-masing disebut sebagai kurva 1 dan kurva 2, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.

* MPC adalah singkatan dari *Maximum Permissible Concentration* yaitu konsentrasi maksimum isotop Br-82 didalam air yang diperbolehkan.

Data. Kurva cacahan hasil injeksi isotop Br-82 yang ditangkap detektor di dua titik pengamatan diperlihatkan pada Gambar 3. Kurva-kurva seperti itu disebut sebagai kurva *rtd*, karena kurva-kurva tersebut menggambarkan distribusi isotop berada dalam 'daerah tangkapan' detektor. Seperti diperlihatkan pada Gambar 3, kurva *rtd* diplotkan antara intensitas radiasi, dalam cps, terhadap waktu cacahan, dalam jam : menit : detik. Selanjutnya masing-masing kurva *rtd*, kurva 1 dan kurva 2, ini dipisahkan dan dianalisis. Jumlah data yang dianalisis sangat tergantung pada bentuk kurva yang dihasilkan.



Gambar 3. Kurva cacahan yang diperoleh dari titik pengamatan 1 dan 2

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemilihan isotop. Pemilihan isotop didasarkan pada kesamaan sifat fisika-kimia isotop dengan minyak mentah yang mengalir di dalam pipa. Dari sekian banyak pilihan isotop yang ada, isotop Br-82 merupakan isotop yang paling tepat sebagai perunut untuk diinjeksikan. Isotop Br-82 mempunyai sifat-sifat sebagai berikut [5] :

Tabel 1. Sifat-sifat isotop Br-82 [5]

Isotop	Br-82
Waktu paro	35,4 jam
Radiasi	γ
Energi	550-1480 keV
Bentuk kimia	C_6H_5Br
MPC*	$8 \times 10^{-3} \mu Ci/cm^3$

Perhitungan kecepatan aliran. Laju aliran minyak mentah di dalam pipa dapat dihitung dengan metode *peak to peak* dan metode *flow velocity*. Perhitungan laju aliran dengan metode *peak to peak* akan akurat jika kurva *rtd* berbentuk simetris Gauss. Jika kurva *rtd* tidak simetris maka perhitungan laju aliran akan lebih baik dilakukan dengan menggunakan metode *flow velocity* dengan terlebih dahulu menghitung nilai waktu tinggal rata-rata (*mean residence time-mrt*) di masing-masing kurva *rtd* (kurva 1 dan kurva 2). MRT menunjukkan lamanya rata-rata isotop berada dalam 'daerah tangkapan' detektor. Nilai *mrt* dihitung berdasarkan persamaan :

$$\tau = \frac{\int t \cdot C(t) \cdot dt}{\int C(t) \cdot dt} \quad (3)$$

dengan: τ adalah waktu tinggal rata-rata, dalam detik
 t adalah waktu cacahan, dalam detik
 $C(t)$ adalah intensitas radiasi yang dicacah oleh detektor, dalam cps

Penyebut pada persamaan 3 menunjukkan daerah di bawah kurva. Persamaan (3) dapat diselesaikan secara numerik dengan metode Simpson [7]. Hasil perhitungan mrt untuk masing-masing kurva 1 dan 2 adalah sebagai berikut:

- Jarak pengukuran : 60 meter
- MRT kurva 1 : 23,03 detik (data : dari pk: 16:05:56 sampai 16:08:08; 132 data)
- MRT kurva 2 : 133,62 detik (data : dari pk: 16:13:20 sampai 16:20:23; 423 data)
- Waktu tempuh : (16:13:20 + 20,13) - (16:05:56 + 23,03) detik = 554,59 detik
- Kecepatan aliran minyak mentah = 60 meter / 554,59 detik = 6,49 meter/menit

Prediksi aliran minyak mentah dengan model bejana berderet. Aliran minyak mentah di dalam pipa dianalisis dengan menggunakan model bejana berderet. Model ini merupakan model yang biasa digunakan untuk memprediksi aliran fluida di dalam suatu sistem. Dalam model ini diasumsikan fluida mengalir dari satu bejana ke bejana lain. Keluaran dari bejana ke 1 merupakan masukan untuk bejana ke 2. Keluaran bejana ke 2 adalah masukan untuk bejana ke 3, dan seterusnya. Sifat dari masing-masing bejana dalam model bejana berderet, adalah bejana tersebut seolah-olah berkelakuan sebagai 'bejana ideal' yang dapat mencampurkan secara sempurna isotop dengan fluida di dalam bejana dalam waktu yang sangat singkat. Keluaran dari satu bejana ideal dapat dinyatakan sebagai :

$$C_i = C_0 \exp - (t/\tau) \quad (4)$$

Dengan C_i adalah konsentrasi isotop pada bejana ke i , dalam cps
 C_0 adalah konsentrasi isotop yang diinjeksikan, dalam cps
 τ = mrt adalah waktu tinggal rata-rata, dalam detik

Jika isotop diinjeksikan pada masukan bejana ke 1 maka sesuai dengan persamaan (4) keluaran pada bejana ke n adalah sesuai dengan persamaan (1) di atas. Persamaan (1) dinyatakan dalam waktu tidak berdimensi, yaitu waktu tereduksi, $\theta = t/\tau$, dengan t dan τ masing-masing

adalah waktu cacahan, dalam detik, dan waktu tinggal rata-rata, dalam detik. Keuntungan menggunakan besaran waktu tak berdimensi adalah pola aliran fluida didalam sistem untuk nilai n yang berbeda-beda dapat diperbandingkan secara langsung [8].

Parameter model bejana berderet, yaitu n , dihitung berdasarkan *variance* yaitu persamaan (2) di atas dan hasilnya adalah sebagai berikut: nilai n untuk kurva 1 adalah 3,29 dan nilai n untuk kurva 2 adalah 2,25. Kurva model bejana berderet dibuat dengan memasukkan nilai n , yang telah diperoleh dari persamaan (2), ke dalam persamaan (1). Hasil perhitungan kurva model diperlihatkan pada Gambar 4 dan 5 masing masing untuk kurva 1 dan kurva 2.

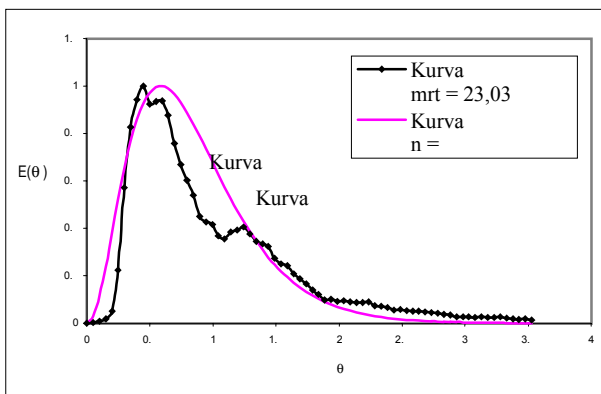
Pembahasan. Secara teoritis ada dua model aliran ideal di dalam suatu sistem yaitu aliran *plug* dan aliran tercampur sempurna. Aliran *plug* atau kadang-kadang disebut aliran *piston* dicirikan dengan tidak adanya perubahan dari bentuk kurva, artinya bentuk kurva yang diinjeksikan sama persis dengan bentuk kurva pada keluaran. Sebaliknya aliran tercampur sempurna atau aliran pada reaktor ideal, seperti dinyatakan dalam persamaan (4), dicirikan adanya perubahan bentuk kurva masukan dan keluaran. Jika pada reaktor ideal diinjeksikan isotop dengan pulsa yang sangat tajam maka pada keluaran reaktor ideal bentuk kurva yang dihasilkan berbentuk kurva eksponensial. Penjelasan tentang aliran ideal dapat dijumpai pada beberapa pustaka yang diacu dalam makalah ini [3-6]. Memang dalam kenyataannya, semua sistem proses tidak ada yang mengikuti pola aliran ideal, melainkan aliran diantara kedua aliran ideal tersebut di atas, seperti yang diperlihatkan baik pada Gambar 3 maupun pada Gambar 4 dan 5.

Cara yang umum digunakan untuk menganalisis aliran fluida adalah dengan memperhatikan nilai parameter model, yaitu n , yang dihitung dari persamaan 2, nilai waktu tinggal rata-rata untuk masing-masing kurva rtd, dan dengan memperhatikan perubahan bentuk kurva rtd dari titik pengamatan 1 ke titik pengamatan 2 serta membandingkannya dengan kurva-kurva yang diperlihatkan pada Gambar 1.

Dari data cacahan, Gambar 3, terlihat adanya perubahan bentuk kurva dari titik pengamatan 1 (kurva 1) ke titik pengamatan 2 (kurva 2). Jumlah data yang dianalisis untuk menghitung nilai waktu tinggal rata-rata di kurva 1 dan kurva 2 masing-masing 132 data dan 423 data.

Jumlah data ini sesuai dengan luas area di masing-masing kurva 1 dan kurva 2. Adanya perubahan dari area kurva 1 ke area kurva 2 menunjukkan aliran minyak mentah di dalam pipa terdistribusi menyebar. Penyebaran ini disebabkan

kan adanya komponen-komponen lain selain minyak mentah di dalam pipa yaitu air, gas dan *sludge* [1, 2]. Karena masing-masing komponen ini mempunyai viskositas yang berbeda-beda maka masing-masing komponen ini bergerak dengan kecepatan yang berbeda-beda dan masing-masing komponen ini saling berinteraksi sehingga mempengaruhi aliran minyak mentah di dalam pipa. Akibatnya isotop yang diinjeksikan makin menyebar sesuai dengan aliran minyak mentah. Makin menjauh dari titik injeksi makin lebar kurva rtd yang dihasilkan. Disamping itu adanya ketidakrataan (*roughness*) dinding pipa sebelah dalam memberikan kontribusi terhadap penyebaran isotop di dalam pipa.

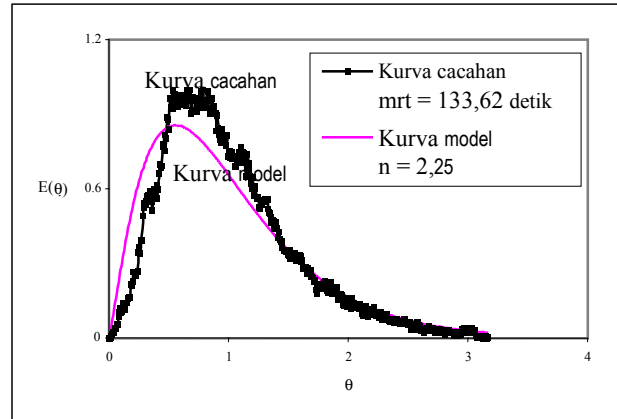


Gambar 4. Analisis aliran kurva 1 dengan model bejana berderet.

Pada Gambar 4 dan 5 diperlihatkan *fitting* kurva (*curve fitting*) antara kurva cacahan dan kurva model untuk nilai parameter model, n , yang diperoleh dari perhitungan *variance*, persamaan (2). Nilai n untuk kurva 1 lebih besar dari nilai n untuk kurva 2, disebabkan adanya perubahan bentuk kurva dari kurva 1 ke kurva 2. Dengan memperhatikan bentuk-bentuk kurva yang diperlihatkan pada Gambar 1, dan karakteristik dari nilai n untuk model bejana berderet, memperlihatkan bahwa nilai n yang semakin kecil menunjukkan aliran minyak mentah di dalam pipa makin tercampur disebabkan adanya komponen-komponen lain di dalam pipa yaitu air, gas dan *sludge*, seperti yang disebutkan di atas di samping ketidakrataan dinding pipa sebelah dalam. Dengan kata lain analisis aliran minyak mentah berdasarkan nilai n menunjukkan bahwa aliran minyak mentah di dalam pipa adalah aliran turbulen.

Hal lain yang perlu diperhatikan dalam menganalisis aliran adalah dengan memperhatikan fluktuasi kurva. Kurva 1 dan kurva 2 yang diperlihatkan pada Gambar 3, dipertegas lagi dengan Gambar 4 dan 5, adalah kurva-kurva yang tidak mulus, yaitu kurva-kurva yang ber-

fluktuasi. Fluktuasi ini disebabkan oleh ketidakrataan permukaan dinding pipa sebelah dalam. Ketidakteraturan ini kemungkinan disebabkan oleh adanya *scaling* dan korosi [9] yang memberi kontribusi aliran minyak mentah di dalam pipa.



Gambar 5. Analisis kurva 2 dengan model bejana berderet.

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan mrt , kecepatan aliran dan nilai parameter model, n , untuk kurva 1 dan kurva 2, disimpulkan:

1. Kecepatan aliran minyak mentah di dalam pipa adalah 6,49 meter/menit.
2. Aliran minyak mentah di dalam pipa bersifat turbulensi disebabkan beberapa komponen lain seperti gas, air dan *sludge* yang turut dihasilkan dari sumur minyak. Turbulensi dapat juga disebabkan oleh ketidakrataan permukaan dinding pipa sebelah dalam karena *scaling* dan korosi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Indrojono yang telah membantu menginjeksikan isotop. Kebersamaan kami dengan beliau terasa sangat singkat karena beliau telah memasuki masa purna bakti sejak tahun 2002. Kami akan mengenang beliau selamanya dan pengabdian beliau di BATAN merupakan teladan bagi kami di kelompok industri - Bidang SDAL, BATAN.

DAFTAR PUSTAKA

1. SANDLER, P.L., *The Petroleum Programme, English for the Oil Industry*, BBC English by Radio and television, Gramedia, Jakarta, 1982, cp 4.

2. Komunikasi dengan PT. Caltec Pacific Indonesia.
3. FOGLER, H.S., *Elements of Chemical Reaction Engineering*, 2nd edition, New York, Prentice-Hall Int, Inc, 1986, cp 14.
4. LEVENSPIEL, O, *Chemical Reaction Engineering*, Wiley, New York, 1972, cp 10.
5. CHARLTON, J.S., *Radioisotope Techniques for Problem Solving in Industrial Process Plants*, Leonard Hill, London, 1986.
6. IAEA, *Guidebook on Radioisotope Tracers in Industry*, Tech. Doc. 316, Vienna, 1990.
7. THOMAS Jr, G.B and FINNEY, R.L., *Calculus and Analytic Geometry*, Addison-Wesley publishing Company, Massachusetts, 1984.
8. Komunikasi pribadi dengan Dr. Jovan The-reska, IAEA.
9. LUK, *Penetapan Kondisi Pipa Jurong 8" Shipping Line River Crossing dengan Teknik Uji Arus Secara Komputerisasi*, Laporan Akhir, 2002.

DISKUSI

NAZAROH

1. Kendala apa saja yang Anda jumpai dalam aplikasi teknik perunut di lapangan ?
2. Kelemahan apa dari metode perunut dibandingkan dengan teknik non nuklir serta kelebihanannya ?

WIBISONO

1. Biasanya teknik ini dilakukan di alam terbuka atau kilang-kilang industri, sehingga faktor alam dan cuaca sangat mempengaruhi pekerjaan perunut ini. Seringkali objek yang diteliti sulit diakses untuk menempatkan peralatan, sehingga perlu usaha ekstra untuk ini. Untuk kasus tertentu, ketidak-tersediaan sumber listrik di lapangan sangat mempengaruhi pekerjaan monitoring, sehingga kami membutuhkan peralatan yang dapat dioperasikan meng-

gunakan elemen kering, seperti batu baterai atau aki. Ketersediaan beberapa bahan kimia yang digunakan sebagai bahan perunut sangat terbatas karena bahan perunut yang diinjeksikan harus mempunyai sifat fisika-kimia yang sama dengan sistem yang dirunut. Di samping itu waktu pelaksanaan pekerjaan perunut sangat tergantung pada operasi reaktor yang memproduksi bahan perunut.

2. Kelemahan: bahan perunut radioisotop merupakan bahan berbahaya selama aktivitasnya di atas ambang batas, maka diperlukan peralatan teknis yang memadai serta operator dengan keterampilan khusus.
Kelebihan: bahan yang digunakan sangat sedikit serta dapat dilakukan secara on-line, sehingga tidak mengganggu produksi pabrik.