

## STUDI ALIRAN AIR PEMBILAS DALAM PIPA MINYAK 8 INCI DENGAN TEKNIK PERUNUT RADIOISOTOP.

Sugiharto, Wibisono dan Syurhubel

Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi - BATAN, Jakarta

### ABSTRAK

**STUDI ALIRAN AIR PEMBILAS DALAM PIPA MINYAK 8 INCI DENGAN TEKNIK PERUNUT RADIOISOTOP.** Isotop Br-82 dalam larutan *paradibromo benzene* telah diinjeksikan kedalam pipa minyak berdiameter 8 inci untuk menyelidiki pola aliran air pembilas didalam pipa tersebut. Dua buah detektor sintilasi telah ditempatkan diatas pipa masing-masing pada jarak 10,52 dan 39,7 meter dari titik injeksi untuk mendapatkan kurva distribusi waktu tinggal dari isotop yang diinjeksikan. Laju aliran air pembilas dihitung dengan nilai waktu tinggal rata-rata adalah 49,7 meter/menit. Nilai parameter model,  $n$ , telah dianalisis dengan menggunakan model bejana berderet untuk menentukan pola aliran air pembilas didalam pipa. Dari perhitungan diperoleh  $n = 10$  untuk kurva rtd pertama dan  $n = 9,17$  untuk kurva rtd kedua. Hasil ini menunjukkan bahwa pola aliran air pembilas didalam pipa minyak mengikuti pola aliran tercampur sempurna dengan tingkat turbulensi yang cukup tinggi disebabkan adanya pengerakan dan korosi sumur pada dinding pipa sebelah dalam.

### ABSTRACT

**STUDY ON FLOW OF FLUSHING WATER IN OIL PIPELINE OF DIAMETER 8 INCHES USING RADIOISOTOPE TRACER.** Br-82 isotope in the form of *paradibromo benzene* solution has been injected into oil pipeline of 8 inches in diameter to investigate flow pattern of flushing water inside the pipeline. Two scintillation detectors are put on the pipeline at the distance of 10,52 meter and 39,7 meters respectively from injection point to obtain residence time distribution curves of injected isotope. The flow-rate of flushing water that is calculated by utilizing the mean residence time is 49,7 meter/minute. The model parameter,  $n$ , has been analyzed by implementation of tanks-in series model in order to determine the flow pattern of the flushing water inside the pipeline. From this calculation, it is obtained that  $n = 10$  for the first rtd curve and  $n = 9,17$  for the second rtd curve. This result indicates that the characteristic of the flow pattern of flushing water is well mixed flow with quite high degree of turbulence due to the scaling and pit corrosion in the inner wall of the pipe.

### PENDAHULUAN

Pembuatan sumur minyak dimaksudkan untuk memproduksi minyak mentah yang terdapat dibawah permukaan tanah untuk dijadikan bahan bakar. Dalam kenyataannya sumur minyak tidak hanya memproduksi minyak mentah melainkan juga unsur-unsur ikutan lain seperti gas, lumpur dan air [1,2]. Dari sumur ini, minyak mentah dan ikutannya tersebut disalurkan melalui jaringan pipa dan disimpan didalam tangki-tangki penampungan sementara untuk selanjutnya diolah (*refined*) menjadi bahan bakar siap pakai untuk berbagai jenis keperluan.

Pipa-pipa saluran minyak tidak dapat dioperasikan terus menerus karena baik minyak mentah maupun unsur ikutannya dapat bereaksi secara kimia di dalam pipa sehingga dapat menimbulkan pengerakan (*scaling*) dan korosi. Oleh sebab itu pada waktu-waktur tertentu

produksi minyak mentah dihentikan sementara dan pipa saluran minyak dibilas dengan air menggunakan pompa. Dengan adanya pembilasan secara berkala akan menjamin kegunaan dan masa pakai pipa saluran minyak lebih lama.

Dalam dunia perminyakan adalah hal yang penting untuk mengetahui pola aliran fluida di dalam pipa yang secara ekstrim dapat digolongkan kedalam dua pola aliran ideal yaitu aliran laminar dan aliran turbulen [3-6]. Untuk mengetahui pola aliran air pembilas di dalam pipa minyak sepanjang  $\pm 40$  meter, isotop Br-82 telah diinjeksikan untuk mendapatkan kurva distribusi waktu tinggal (*rtd-residence time distribution*)-yang merupakan representasi dari pola aliran air pembilas di dalam pipa. Kurva rtd dianalisis dengan model bejana berderet untuk mendapatkan nilai parameter aliran,  $n$ .

**TEORI**

Konsep pola aliran ideal yaitu model aliran piston (*plug flow*) dan model aliran tercampur sempurna (*well mixed flow*) hanya ada dalam pemikiran teoritis. Dalam kenyataannya aliran fluida didalam sistem proses memperlihatkan pola aliran antara kedua pola aliran ekstrim ideal tersebut. Dengan kata lain pola aliran fluida didalam sistem proses adalah pola aliran tidak ideal (*non-ideal flow*) [3,4].

Salah satu model matematika yang digunakan untuk menganalisis pola aliran dalam suatu sistem proses adalah model bejana berderet [3-6]. Dalam model ini diasumsikan bahwa aliran fluida mengalir dari satu bejana proses ke bejana proses berikutnya secara berurutan. Bejana proses dalam model ini adalah bejana proses ideal yang mempunyai kemampuan dapat mencampuradukkan isotop dengan fluida secara merata didalam bejana ideal tersebut dalam waktu yang sangat singkat. Dengan demikian selama fluida mengalir dari satu bejana ke bejana lain, isotop akan mengalami pencampuran. Jika isotop diinjeksikan kedalam *input* suatu sistem proses dengan waktu yang sangat singkat sehingga mengikuti fungsi Dirac,  $\delta$ , maka konsentrasi isotop pada *output* sistem proses dinyatakan dalam persamaan (1).

$$E(\theta) = \frac{n(n-1)\dots(n-1)\exp(-n\theta)}{(n-1)!} \quad (1)$$

dimana :  $E(\theta)$  adalah konsentrasi campuran isotop pada bejana ke  $n$ , tidak berdimensi

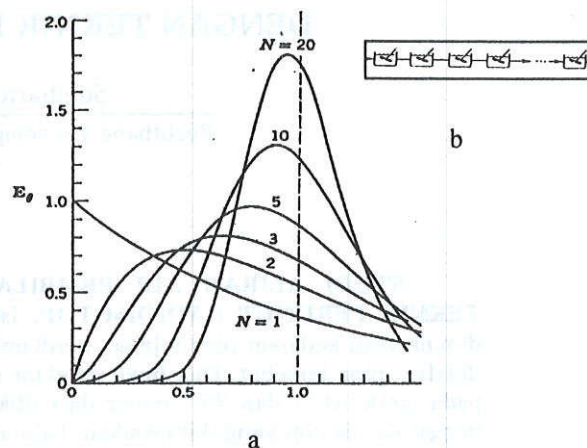
$n$  adalah nilai bejana yang diperoleh dari perhitungan model, tidak berdimensi

$\theta = t/\tau$  adalah waktu tereduksi, tidak berdimensi

$t$  adalah waktu cacahan data, dalam detik.

$\tau$  adalah waktu tinggal rata-rata (*mrt - mean residence time*), dalam detik.

Jika  $n$  dengan nilai yang berbeda-beda dimasukkan kedalam persamaan (1) diatas maka akan diperoleh kurva-kurva rtd seperti yang diperlihatkan pada gambar 1. Dari persamaan (1), jika nilai  $n \rightarrow 0$  maka aliran fluida mengikuti aliran tercampuir sempurna (*well mixed*) dan jika nilai  $n \rightarrow \infty$  maka aliran fluida didalam bejana proses mengikuti aliran piston (*plug flow*). Gambar 1 memperlihatkan model bejana berderet dan kurva rtd untuk nilai  $n$  yang berbeda-beda.

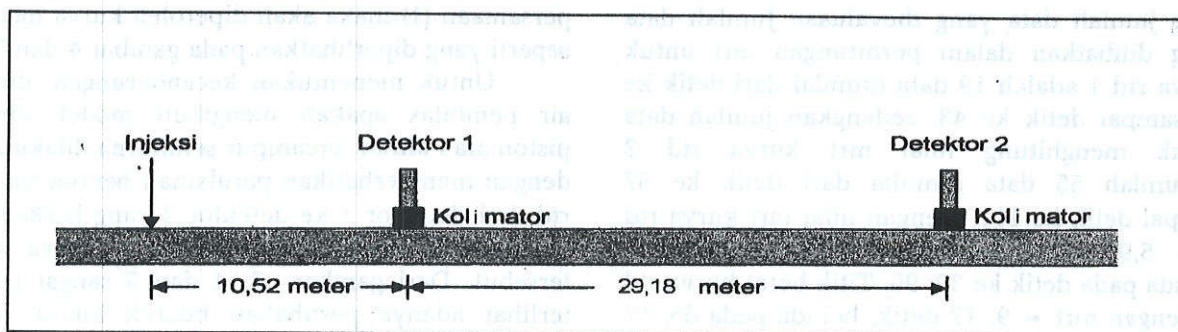


Gambar 1. Respon kurva-kurva rtd bejana berderet terhadap input Dirac,  $\delta$ , untuk nilai  $n$  yang berbeda beda. (b) gambaran model bejana berderet (diadopsi dari pustaka no 4)

**BAHAN DAN METODE**

**Bahan dan Alat.** Isotop yang digunakan adalah isotop Br-82, pemancar sinar  $\gamma$  dalam senyawa *paradibromo benzene* (waktu paro : 35,4 jam, energi : 550 - 1480 keV dan nilai MPC :  $8 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ ). Injeksi isotop kedalam pipa menggunakan injektor buatan ANSTO dibantu gas bertekanan 200 bar. Detektor sintilasi yang dibungkus kolimator dan *data-logger* Ludlum yang dihubungkan ke komputer laptop digunakan untuk akuisisi data cacahan radiasi. Selama injeksi personil memakai dosimeter saku dan *film badge*. Surveymeter digunakan untuk mendeteksi cacahan lingkungan.

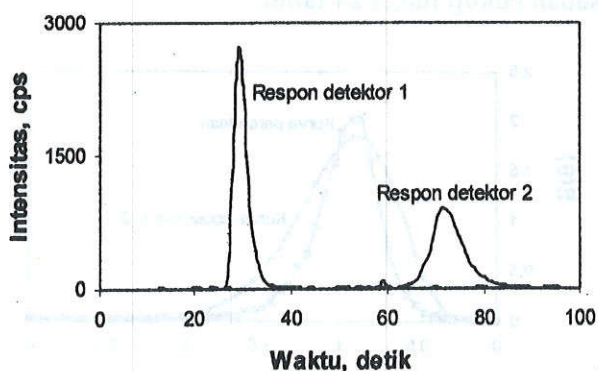
**Percobaan.** Injeksi isotop dilakukan pada pipa minyak mentah berdiameter 8 inci untuk menyalurkan minyak mentah dari sumur Jurong ke Bekasap, provinsi Riau. Skema injeksi diperlihatkan pada gambar 2. Injeksi isotop dan monitoring cacahan radiasi dilakukan sebagai berikut: (a) Dua buah detektor sintilasi, yang sudah terhubung dengan *data-logger* dan komputer *laptop*, dipasang diatas pipa masing-masing berjarak 10,52 meter dan 39,7 meter dari titik injeksi. (b). Setelah dilakukan pencacahan latar belakang, isotop Br-82 segera diinjeksikan dengan cepat kedalam pipa dengan bantuan injektor dan gas  $\text{N}_2$ . Selanjutnya isotop akan mengikuti aliran air. Saat isotop melewati tempat dimana dipasang detektor, detektor akan mencatat data cacahan radiasi. Selanjutnya data cacahan ini diolah untuk keperluan analisis aliran fluida didalam pipa.



Gambar 2. Skema injeksi isotop Br-82 kedalam pipa minyak mentah berdiameter 8 inci dan monitoring radiasi menggunakan detektor sintilasi. Jarak antara detektor 1 dan 2 adalah 29,18 meter.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil injeksi isotop Br-82 diperlihatkan pada kurva gambar 3. Kurva tersebut adalah data cacahan radiasi yang ditangkap oleh detektor dan diplotkan antara cacahan (dalam cps) terhadap waktu ( dalam detik). Kurva-kurva semacam itu disebut sebagai kurva distribusi waktu tinggal (rtd-residence time distribution).



Gambar 3. Kurva distribusi waktu tinggal yang dihasilkan dari injeksi isotop Br-82. Monitoring cacahan radiasi dilakukan menggunakan detektor sintilasi yang ditempatkan pada jarak 10,52 meter (detektor 1) dan 39,70 meter (detektor 2) dari titik injeksi.

Kurva rtd yang dihasilkan dari injeksi isotop tidak dapat diprediksi dengan tepat menggunakan persamaan-persamaan matematik. Oleh sebab itu diperlukan suatu metode pendekatan yang dapat menggambarkan karakteristik kurva rtd tersebut. Metode yang biasa digunakan untuk mengevaluasi suatu kurva adalah metode numerik. Namun demikian perhitungan-perhitungan dengan metode numerik tidak memberikan hasil eksak melainkan hasil pendekatan dengan kesalahan yang dapat ditolerir. Beberapa pustaka telah

digunakan untuk mengevaluasi kurva rtd [2-5]. Karakteristik kurva rtd hasil injeksi isotop dapat dilihat dari nilai laju aliran, nilai waktu tinggal rata-rata yang berkaitan dengan pelebaran kurva rtd pada titik pengamatan dimana detektor ditempatkan, nilai parameter model,  $n$ , dan kedekatan *fitting* antara kurva rtd hasil injeksi dengan kurva model.

Secara teoritis ada dua cara untuk menghitung laju aliran fluida di dalam sistem proses yaitu metode *peak to peak* dan evaluasi nilai mrt suatu kurva rtd. Seperti diperlihatkan pada gambar 3, kurva rtd yang dihasilkan dari injeksi isotop tidak memperlihatkan kurva berbentuk gauss sempurna, maka perhitungan laju aliran akan lebih akurat bila dilakukan terlebih dahulu perhitungan nilai mrt di masing-masing kurva rtd tersebut. Alasannya adalah konsentrasi isotop didalam pipa sebanding dengan luas area dibawah kurva rtd dan hal ini berkaitan dengan titik berat dari kurva rtd tersebut. Perhitungan nilai mrt dilakukan dengan pendekatan numerik sebagai berikut:

$$\tau = \frac{\sum t \cdot C(t) \Delta t}{\sum C(t) \cdot \Delta t} \quad (2)$$

dimana  $\tau$  adalah nilai mrt, dalam detik  
 $t$  adalah waktu cacahan, dalam detik  
 $C(t)$  adalah nilai cacahan, dalam cps

Penyebut pada persamaan (2) adalah luas area dibawah kurva rtd. Persamaan (2) diatas dapat diselesaikan dengan menggunakan pendekatan Simpson [7]. Nilai mrt untuk kurva rtd 1 dan kurva rtd 2 masing masing adalah: 5,96 detik dan 17,35 detik. Masing-masing nilai mrt ini menggambarkan titik berat dari kurva-kurva rtd tersebut.

Seperti diperlihatkan pada gambar 2, jarak antara detektor 1 dan detektor 2 adalah 29,18 meter dan pada gambar 3 diperlihatkan masing-masing kurva rtd dari detektor tersebut. Perhitungan nilai mrt suatu kurva rtd didasarkan

pada jumlah data yang dievaluasi. Jumlah data yang dilibatkan dalam perhitungan mrt untuk kurva rtd 1 adalah 19 data dimulai dari detik ke 25 sampai detik ke 43, sedangkan jumlah data untuk menghitung nilai mrt kurva rtd 2 berjumlah 55 data dimulai dari detik ke 57 sampai detik ke 111. Dengan nilai mrt kurva rtd 1 = 5,96 detik maka titik berat kurva rtd 1 berada pada detik ke 30, 96. Titik berat kurva rtd 2, dengan mrt = 9, 17 detik, berada pada 66, 17 detik. Dengan demikian waktu tempuh dari detektor 1 ke detektor 2 adalah (39,7 - 10,52) meter/(66,17-30,96) detik = 49,7 meter/menit.

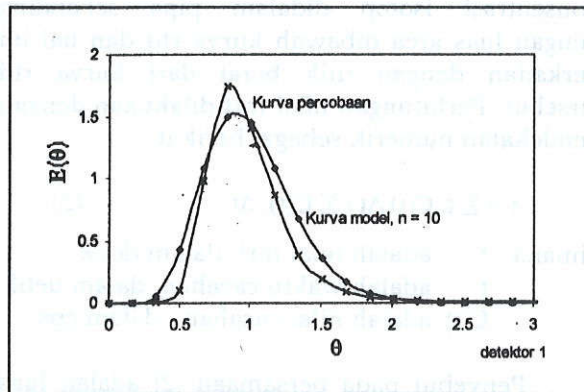
Untuk menghitung nilai parameter model,  $n$ , data-data yang digambarkan dalam kurva rtd dinormalisasikan sehingga integrasi dari luas area dibawah kurva rtd = 1 dan waktu cacahan,  $t$ , diubah kedalam waktu tereduksi,  $\theta = t/\tau$ . Konsekuensi dari perlakuan ini adalah pergerakan isotop seolah-olah merupakan gerakan partikel tunggal. Nilai parameter model,  $n$ , dapat dihitung dari nilai *variance* pada persamaan (3).

$$\sigma^2 = 1/n = \sum\{\theta^2 \cdot E(\theta) \cdot \Delta\theta\} - 1 \quad (3)$$

dimana  $\sigma^2$  adalah *variance* dari kurva rtd, tidak berdimensi

$E(\theta)$  adalah konsentrasi isotop dalam waktu tereduksi, tidak berdimensi

$n$  = jumlah bejana ideal, adalah parameter model, tidak berdimensi

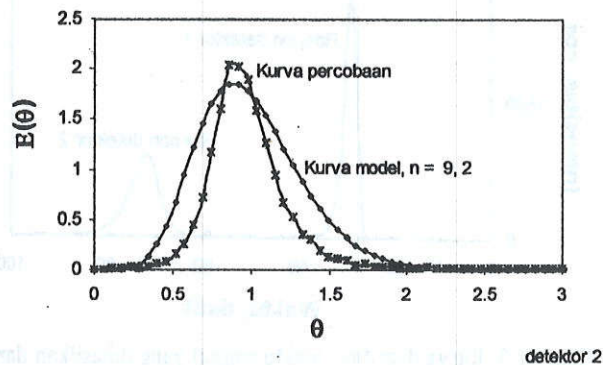


Gambar 4. *Fitting* kurva rtd hasil injeksi dengan kurva rtd model untuk  $n = 10$  di tempat pengamatan detektor 1, yang berjarak 10,52 meter dari titik injeksi.

Nilai  $n$  untuk kurva rtd 1 dan kurva rtd 2 yang dihitung dengan menggunakan persamaan (3) masing masing adalah 10 dan 9,2. Jika masing-masing dari nilai  $n$  ini dimasukkan kedalam

persamaan (1) maka akan diperoleh kurva model seperti yang diperlihatkan pada gambar 4 dan 5.

Untuk menentukan kecenderungan aliran air pembilas apakah mengikuti model aliran piston atau aliran tercampur sempurna dilakukan dengan memperhatikan perubahan bentuk kurva rtd dari detektor 1 ke detektor 2 yang berkaitan dengan nilai  $n$  di masing-masing kurva rtd tersebut. Dari gambar 3, 4 dan 5 sangat jelas terlihat adanya perubahan bentuk kurva dari detektor 1 ke detektor 2. Perubahan bentuk kurva disebabkan oleh mekanisme interaksi antara isotop dengan air pembilas didalam pipa sehingga terjadi percampuran antara kedua material ini. Intensitas radiasi yang diperlihatkan pada kurva rtd 2 lebih rendah dibandingkan dengan intensitas radiasi yang diperlihatkan kurva rtd 1. Hal ini menunjukkan bahwa makin jauh dari titik injeksi proses pencampuran yang terjadi makin besar atau dengan kata lain makin jauh dari titik injeksi isotop makin terdilusi. Proses pencampuran ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain adanya pergerakan (*scaling*) akibat reaksi kimia antara material didalam pipa dengan dinding dalam pipa [2] atau terdapat korosi berbentuk sumur (*pitting*) di dinding pipa [8] disamping usia pipa minyak yang sudah cukup tua,  $\pm 24$  tahun.



Gambar 5. *Fitting* kurva rtd hasil injeksi dengan kurva rtd model untuk  $n = 9,2$  di tempat pengamatan detektor 2, yang berjarak 39,7 meter dari titik injeksi.

Dengan memperhatikan perubahan kurva rtd dari detektor 1 ke detektor 2 yang sesuai dengan nilai  $n$  di masing-masing kurva rtd tersebut, maka terlihat bahwa aliran air pembilas didalam pipa minyak cenderung mengikuti aliran tercampur sempurna dengan tingkat turbulensi cukup tinggi. Namun demikian tingkat turbulensi yang dialami oleh aliran air pembilas tidak sebesar tingkat turbulensi aliran minyak mentah didalam pipa yang sama, seperti yang dilaporkan terdahulu [2]. Hal ini disebabkan ketika sumur minyak memproduksi minyak mentah, maka ada

unsur-unsur lain yang terbawa yaitu air, lumpur dan gas, sedangkan saat pipa dibilas dengan air maka yang ada hanyalah air pembilas itu sendiri sehingga turbulensi sebagian besar disebabkan oleh gesekan antara air pembilas dengan dinding pipa yang mengalami korosi atau pergerakan.

## KESIMPULAN

Dengan memperhatikan adanya perubahan kurva rtd yang dihasilkan dari injeksi isotop kedalam pipa minyak berisi air pembilas dan berdasarkan hasil perhitungan nilai parameter,  $n$ , di masing-masing kurva rtd tersebut, terlihat bahwa aliran air pembilas didalam pipa cenderung mengikuti pola aliran tercampur sempurna dengan tingkat turbulensi cukup tinggi. Tingkat turbulensi aliran air pembilas cukup tinggi disebabkan oleh kondisi pipa yang sudah relatif cukup tua dan adanya pergerakan maupun korosi sumur pada dinding dalam pipa minyak.

## UCAPAN TERIMA KASIH.

Para penulis mengucapkan terrima kasih yang sebesar-besarnya kepada PT. Caltex Pacific Indonsia, Riau dan PT. Koja Terramarin, Jakarta atas kerjasamanya sehingga injeksi isotop ini dapat terujud.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Komunikasi peibadi dengan PT. Caltex Pacific Indonesia, Duri-Riau
2. SUGIHARTO, WIBISONO dan SYURHUBEL, Studi Aliran Minyak Mentah dengan Teknik Perunut Radioisotop, dalam *Risalah Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 19-20 Februari 2003, Jakarta.
3. FOGLER, H.S, *Elements of Chemical Reaction Engineering*, 2<sup>nd</sup> edition, New York, Prentice-Hall Int, Inc, Cp 14.
4. LEVENSPIEL, O, 1972, *Chemical Reaction Engineering*, Wiley, New York, (1986), 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. HOMAS Jr, G.B and FINNEY, R.L, *Calculus and Analytic Geometry*, Addison- Wesley publishing Company, Massachusetts. (1984),
8. LIPI, Penetapan Kondisi Pipa Jurong 8" Shipping Line River Crossing dengan Teknik Uji Arus secara Komputerisasi, *Laporan Akhir*, Jakarta, (2003).

## DISKUSI

KRISNA LUMBANRAJA

Bagaimana dengan pengamatan dua titik injeksi dapat disimpulkan laju aliran dalam pipa keseluruhan ?.

SUGIHARTO

Data injeksi pada dua titik pengamatan dapat mewakili laju aliran didalam pipa secara keseluruhan karena air pembilas di dalam pipa yang mengalir pada titik pengamatan 1 sama dengan air pembilas yang mengalir pada titik pengamatan 2. Demikian halnya dengan kondisi lingkungan dan cuaca dikedua titik pengamatan tersebut adalah sama. 3. Tambahan lagi selama pekerja berlangsung, pompa dioperasikan konstan sehingga kecepatan aliranpun konstan. Dengan tiga macam alasan ini kemungkinan besar profile ketidak-rataan permukaan dinding dalam adalah sama, sehingga pola aliran di keseluruhan pipa dapat diwakili oleh data pengamatan pada dua titik.

DJIONO

Dengan diketahuinya nilai  $n = 10$  dan  $9,17$  bagaimana caranya Bapak mengetahui bahwa pola aliran yang berturbulensi tinggi dan adanya korosi adalah penyebabnya. Apakah korosinya juga diukur sampai Bapak pada kesimpulan tersebut? (Djiono)

SUGIHARTO

Cara yang paling mudah untuk menentukan kecenderungan pola aliran fluida didalam pipa adalah dengan cara membandingkan kurva hasil perhitungan model dengan kurva yang diberikan dalam referensi. Nilai  $n = 10$  dan  $9,17$  berarti nilai tersebut mendekati 0 (nol) dan jauh dari  $\infty$  (tak hingga), dimana teori mengatakan bahwa untuk  $n \rightarrow 0$  berarti pola aliran mengikuti pola aliran tercampur sempurna. Dengan demikian berdasarkan data nilai  $n$  ini maka dapat disimpulkan bahwa aliran air pembilas didalam pipa cenderung mengikuti pola aliran tercampur sempurna atau aliran berturbulensi tinggi. Penyebab turbulensi adalah adanya kerak (scaling) pada dinding dalam pipa dan korosi. Data korosi kami peroleh dari Puslitbang Metalurgi-LIPI yang mengukur ketebalan pipa tersebut.