

# Seminar Nasional

Dalam Rangka Dies Natalis ke 51 UPN VY  
dan 10 Windu Prof. R. Bambang Soeroto



B.5

**MEMANTAPKAN PERAN UPN VY DALAM  
MENGEMBANGKAN IPTEK KEBUMIHAN UNTUK  
PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN**

## PROSIDING

Editor:  
Barlian Dwinagara  
Nur Ali Amri  
M. Th. Kristiati

**PENYELENGGARA :**

FTM UPN "VETERAN" YOGYAKARTA  
IA UPN VY - IAGEO - IKATA - IAMI  
2010

**Memantapkan Peran UPN "Veteran" Yogyakarta dalam Mengembangkan Iptek  
Kebumian untuk Pembangunan Berkelanjutan**

**KATA PENGANTAR**

*Pertama*, puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah swt., Tuhan Yang Maha Esa dan Kuasa, yang telah memperkenankan kami untuk menyelenggarakan Seminar Nasional Kebumian dengan sukses dan lancar, di Fakultas Teknologi Mineral UPN "Veteran" Yogyakarta.

*Kedua*, dalam kapasitas sebagai Ketua Panitia Seminar saya mengucapkan terimakasih kepada semua pihak – panelis, pemakalah, peserta, sponsor, serta UPN "Veteran" Yogyakarta yang telah berpartisipasi dalam mensukseskan perhelatan ini.

*Ketiga*, kami mengucapkan terimakasih kepada Dekan Fakultas Teknologi Mineral (FTM) UPN "Veteran" Yogyakarta atas kepercayaan yang diberikan kepada kami untuk menyelenggarakan Seminar Nasional Kebumian dalam rangka Dies Natalis ke 51 UPN "Veteran" Yogyakarta, sekaligus juga dalam rangka Ulang Tahun Prof. Drs. HR. Bambang Soeroto yang ke 80.

Secara khusus saya juga menyampaikan terimakasih kami kepada Panitia, yang dalam waktu relatif singkat – hanya sekitar satu bulan – mampu bersinergi melaksanakan tugas kepanitiaan dengan baik.

Tema seminar kali ini adalah "Memantapkan Peran UPN "Veteran" Yogyakarta dalam Mengembangkan Iptek Kebumian untuk Pembangunan Berkelanjutan", sebuah tema yang dilontarkan oleh Dekan – ketika akan membentuk kepanitiaan ini – sebagai bentuk keprihatinan sekaligus kepedulian beliau terhadap seberapa besar kontribusi yang mestinya disumbangsihkan oleh UPN "Veteran" Yogyakarta kepada bangsa dan negara, berkaitan dengan Iptek Kebumian, sebab realitas yang tak terbantahkan mengatakan bahwa UPN memiliki fakultas yang telah melahirkan tidak sedikit human resources yang berkiprah di berbagai lini pekerjaan, baik di level pemerintahan maupun swasta.

Akhir kata, kegiatan ini sudah terlaksana. Tinggal bagaimana selanjutnya dari berbagai gagasan dan hasil pemikiran yang berkembang pada acara ini dapat diimplementasikan UPN "Veteran" Yogyakarta dalam mengemban serta mewujudkan visi dan misinya ke depan.

Yogyakarta, Februari 2010

Ketua

**IR. D.P. WALOEJO ADJI, MT.**

**Memantapkan Peran UPN "Veteran" Yogyakarta dalam Mengembangkan Iptek  
Kebumian untuk Pembangunan Berkelanjutan**

**DAFTAR ISI**

	<b>JUDUL</b>	<b>HAL.</b>
	KATA PENGANTAR	i
	SAMBUTAN DEKAN FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL	ii
	DAFTAR ISI	iii-iv
1	Peran UPN "Veteran" dalam Mengembangkan Iptek Kebumian <i>Prof. Partanto Prodjosumarto</i>	1-4
2	Cukupkah Bekal Wawasan Pembangunan Berkelanjutan dari Para Alumni Kita? <i>Prof. Ir. Dahono Haryanto, MSc., Ph.D.</i>	5-12
3	Peran UPN "Veteran" dalam Mengembangkan Iptek Kebumian <i>Prof. Dr. Ir. C. Danisworo, MSc.</i>	13-15
4	Tantangan Rezim Hukum Sumberdaya Alam <i>Jauhari Thonthowi, Ph.D.</i>	16-17
5	Konservasi Sumber Daya Geologi dan Upaya Pelaksanaannya <i>Dr. Ir. Hadiyanto, MSc.</i>	18-21
6	CSR di Industri Pertambangan dan Isu Pengembangan Wilayah di Indonesia <i>Dr. Ir. S. Kosnaryo, MSc.</i>	22-27
7	Fenomena <i>Hang Up</i> Dalam Karakteristik Penyusutan Material Hasil Peledakan pada Metode <i>Shrinkage Stopping</i> <i>Barlian Dwinagara</i>	28-39
8	Motivasi "WIMAYA" pada Eksistensi Moralitas Keberpihakan terhadap Rakyat. <i>Nur Ali Anri</i>	40-49
9	Pembuatan Aplikasi Pemrograman Blending Batugamping Untuk Studi Kasus Pencampuran Batugamping Beda Kadar di Blok H - Blok OO PT. Semen Gresik Tbk Pabrik Tuban Jawa Timur Menggunakan Program Visual Basic 6.0 <i>Untung Sukanto, Nurkhamim, Victor Habib Avesina</i>	50-65

- 10 Sumberdaya Gas Metana Batubara di Cekungan Barito Berdasarkan Data Lapangan Tambang Terbuka di Daerah Tanjung, Tapin dan Binuang, Kalimantan Selatan. 66-74  
*Sugeng*
- 11 Identifikasi Bahan Galian Dalam Metode Eksplorasi Awal 75-83  
*Firdaus Maskuri*
- 12 Pemodelan Inversi Data Magnetotellurik 1-D Menggunakan Metoda Genetic Algorithm (GA) dengan Populasi Micro Genetic Algorithm Kasus 3 Layer dan 5 Layer 84-101  
*Nia Maharani*
- 13 Salinitas Sumur Injeksi Pembuangan Air W Lapangan D, Cekungan Sumatera Selatan 102-113  
*Bambang Triwibowo*
- 14 Perkiraan Awal Daerah Kritis Pada Pipa Transmisi Gas Akibat Proses Line Packing 114-129  
*Harry Budiharjo S.*
- 15 Kajian Teknis Re-Opening Sumur Tua Di Wilayah Jawa Tengah 130-144  
*Sayoga Heru Prayitno*
- 16 Estimasi Potensi Statik Lapangan Panasbumi "X " Menggunakan Simulasi Monte Carlo Untuk Pengembangan PLTP 145-155  
*M. Th. Kristiati, EA, Eko Widhi Pramudihadi, Bakhtiar Fauzi*
- 17 Analisis Terjadinya Water/Gas Cresting dengan Metode Analitis 156-170  
*Bambang Bintarto*
- 18 Analisa Test Pressure Build-Up Dengan Menggunakan Simulator Saphir V 3.20 171-179  
*Suranto, Anas Puji Santosa, Aulia Rahman*
- 19 Analisis Air Formasi untuk Identifikasi Scale pada Lapangan Panasbumi Dieng 180-189  
*Dyah Rini Ratnaningsih, Ekowidi, MTh. Kristiati, Fitri Andriani*
- 20 Studi Alterasi Hidrotermal Pada Sistem Epitermal Sulfidasi Tinggi Daerah Serinding, Desa Petai Patah, Kec. Sandai, Kab. Ketapang, Prop. Kalimantan Barat. 190-211  
*Suprpto*
- 21 Upaya Rehabilitasi Lahan Tailing Akibat Penambangan Bijih Tembaga 212-220  
*Waterman Sulistyana B., Daniel Bassang*

## PERKIRAAN AWAL DAERAH KRITIS PADA PIPA TRANSMISI GAS AKIBAT PROSES LINE PACKING

Harry Budiharjo S.

Jurusan Teknik Perminyakan UPN "Veteran" Yogyakarta Email: [harry\\_hb@upnyk.ac.id](mailto:harry_hb@upnyk.ac.id)

### Abstrak

Pipa yang gunanya adalah untuk mengalirkan gas dari produsen ke konsumen, dapat juga dipakai sebagai tempat penyimpanan gas (gas storage) sementara dengan cara memampatkan gas tersebut di dalam pipa sampai tekanan tertentu yang tidak melebihi tekanan internal pipa maksimum yang diijinkan. Hal ini dimungkinkan karena sifat gas yang dapat dimampatkan. Teknik ini disebut dengan line packing. Tekanan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan dan kebocoran pada pipa. Lokasi dengan kondisi ini disebut dengan daerah kritis. Pada paper ini akan disimulasikan perilaku tekanan dan laju alir gas sepanjang pipa pada setiap waktu dan mendeteksi daerah-daerah kritis yang mungkin terjadi. Dengan diketahuinya titik-titik kritis sepanjang pipa maka kebocoran dan kerusakan pada pipa dapat diantisipasi lebih awal. Desain pada pipa baru pun dapat dilakukan lebih teliti dan optimal. Contoh kasus dengan diameter dan panjang berbeda yang ditampilkan akan menggambarkan keadaan tersebut.

*Kata kunci : Line packing, unsteady-state, daerah kritis.*

### Abstract

*A pipe line, besides can be used to transport natural gas from producers to consumers can also be used to provide short-term gas storage in which natural gas is compressed in transmission line under maximum allowable working pressure. Storing gas in pipe line may be performed because of compressibility of the gas. The technique is called Line Packing. Too high pressure in pipe line causes damaged or leak. Location of this condition is called critical point. In this paper, we simulate the pressure and rate of gas performance along pipe line at any time and detecting critical points may be occurred. By knowing critical points along pipe line, we can anticipate the leak and the damage earlier. The design of new pipe line can be done accurately and optimally. Here, we will show the cases with different diameter and length of pipe line to show thus performance.*

*Key words: Line packing, unsteady-state, critical point.*

## PENDAHULUAN

Kedudukan gas alam sebagai salah satu sumber energi alternatif masa depan menjadikannya sebagai pusat perhatian kalangan industri. Sifat gas yang tidak bisa disimpan lama serta jarak antara lokasi cadangan gas alam dengan konsumen yang tidak selalu berdekatan menjadikan pipa transmisi sebagai cara yang paling efektif untuk mendistribusikan gas alam. Selain untuk transmisi, pipa juga dapat digunakan sebagai tempat penyimpanan gas sementara yaitu dengan cara memampatkan gas yang ada dalam pipa.

Proses ini disebut dengan *line packing*. Proses *line packing* dapat menyebabkan terjadinya perubahan pada perilaku aliran dalam pipa, terutama tekanan. Tekanan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kebocoran pada pipa. Lokasi dengan tekanan tinggi ini disebut dengan daerah kritis. Pada penelitian ini akan disimulasikan perilaku aliran gas pada kondisi *line packing* untuk memperkirakan daerah-daerah kritis pada pipa.

### LANDASAN TEORI

Aliran gas pada pipa transmisi yang mengalami *line packing* cenderung akan berperilaku sebagai aliran *transient (unsteady)*. Hal ini disebabkan karena pada proses *line packing* terjadi perubahan parameter-parameter aliran terhadap waktu. Oleh karena itu model matematika yang dikembangkan untuk aliran gas pada kondisi *line packing* akan lebih sesuai apabila menggunakan model *transient* daripada model aliran *steady*. Ada tiga persamaan yang digunakan untuk mendesain model aliran *transient* gas pada pipa transmisi, yaitu persamaan kontinuitas, persamaan momentum, dan persamaan keadaan gas nyata<sup>7,8,12</sup>. Asumsi-asumsi yang digunakan antara lain adalah aliran *isothermal*, berlaku faktor gesekan kondisi *steady*, dan tidak terjadi ekspansi atau kontraksi pipa pada kondisi terbebani. Persamaan kontinuitas satu dimensi untuk aliran gas pada pipa dengan luas penampang konstan adalah :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

Persamaan momentum satu dimensi untuk aliran gas pada pipa horisontal dengan distribusi temperatur seragam sepanjang pipa adalah :

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{f_g \rho v^2}{2D} = 0 \quad (2)$$

Persamaan keadaan gas nyata adalah :

$$p = \frac{zRT}{M} \rho \quad (3)$$

Dengan mengasumsikan kondisi aliran dalam pipa adalah *isothermal* maka kecepatan gelombang suara dapat dihitung dengan persamaan :

$$c = \left( \frac{zRT}{M} \right)^{1/2} \quad (4)$$

Dengan mengambil  $m = \rho v$  dan mensubstitusikan persamaan (4) ke dalam persamaan (3), maka persamaan (1) dan (2) dapat disusun ulang dan menghasilkan persamaan diferensial parsial hiperbolik nonlinier orde pertama satu dimensi untuk aliran *transient* pada pipa transmisi gas horisontal sebagai berikut:

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{F}(\bar{U})}{\partial x} = \bar{r}(\bar{U}), \quad (5)$$

dimana,

$$\bar{U} = \begin{pmatrix} \rho \\ m \end{pmatrix}, \bar{F} = \begin{pmatrix} m \\ \frac{m^2}{\rho} + c^2 \rho \end{pmatrix}, \bar{r}(\bar{U}) = \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{f_w m |m|}{2D\rho} \end{pmatrix} \quad (6)$$

### Kondisi Awal

Untuk menyelesaikan persamaan (5) diperlukan data masukan berupa data densitas gas,  $\rho$  dan laju alir massa gas,  $m$  sepanjang pipa, yang dipengaruhi oleh perubahan kondisi pada *inlet* dan *outlet* pipa. Pada kondisi awal keadaan *steady* digunakan persamaan yang diusulkan oleh Zhou and Adewumi<sup>(1)</sup> sebagai berikut :

$$\frac{D}{f_w} \ln \left( \frac{\rho^2}{\rho_0^2} \right) - \frac{Dc^2}{f_w m_0^2} (\rho^2 - \rho_0^2) = L \quad (7)$$

dimana  $\rho_0$  adalah densitas gas di *inlet* dan  $\rho$  adalah densitas gas di *outlet* (misalnya pada  $x = L$ ).

Jika parameter-parameter seperti densitas gas di *inlet*, laju alir massa, faktor gesekan, kecepatan suara, diameter dan panjang pipa diketahui, maka densitas gas di *outlet* dapat diperoleh dari persamaan (7) dengan menggunakan *fixed-point algorithm*. Hal ini dimungkinkan karena faktor kompresibilitas gas diasumsikan tidak ada perubahan sepanjang segmen pipa.

Di dalam pipa aliran yang terjadi akan menghasilkan faktor gesekan yang menggambarkan perubahan energi mekanik aliran menjadi energi panas selama proses aliran. Perubahan energi mekanik ini disebut sebagai kehilangan energi untuk menggambarkan semua kehilangan energi akibat proses *irreversible*. Pada aliran satu fasa dalam pipa proses *irreversible* merupakan proses yang menyebabkan kehilangan energi akibat adanya faktor gesekan. Kehilangan energi yang terjadi pada pipa dapat disebabkan karena gesekan, efek viskositas dan kekasaran bagian dalam pipa<sup>(2,5,7)</sup>. Faktor gesekan pada umumnya bergantung pada laju alir serta diameter dalam pipa. Untuk metode Blasius, Panhandle A, dan Panhandle B, faktor gesekan adalah fungsi dari bilangan Reynold. Bilangan Reynold adalah bilangan tak berdimensi yang didefinisikan sebagai :

$$N_{re} = \frac{Dv\rho}{\mu} \quad (8)$$

Jika besaran-besaran pada persamaan diatas dihitung pada satuan lapangan, maka Bilangan Reynold menjadi :

$$N_{Re} = \frac{20 Q SG}{\mu D} \quad (9)$$

Dalam penelitian ini persamaan friksi yang digunakan adalah persamaan Chen, yaitu :

$$\frac{1}{f} = -4 \log \left[ \frac{e}{3.7065 D} + \frac{5.0452}{N_{Re}} \log \left[ \frac{1}{2.8257} \left( \frac{e}{D} \right)^{1.1098} + \frac{5.8506}{N_{Re}^{0.0906}} \right] \right] \quad (10)$$

Sedangkan harga faktor kompresibilitas gas dihitung menggunakan metode Dranchuk, Purvis dan Robinson<sup>4)</sup>.

**Kondisi Batas**

Kondisi batas sistem dibuat sedemikian rupa sehingga memungkinkan untuk mencakup situasi di lapangan yang bervariasi. Secara umum kondisi batas sistem dapat dikelompokkan ke dalam dua batasan, yaitu<sup>12,13)</sup> :

1. Pada *inlet*,

a. Jika densitas atau tekanan dipertahankan konstan atau fungsi dari waktu, maka persamaan *finite difference* di *inlet* pipa dapat ditulis sebagai berikut :

$$m_0^{n+1} = m_0^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[ \left( \frac{(m_1^n)^2}{\rho_1^n} + c^2 \rho_1^n \right) - \left( \frac{(m_0^n)^2}{\rho_0^n} + c^2 \rho_0^n \right) \right] - \frac{f m_0^n |m_0^n|}{2D \rho_0^n} \Delta t \quad (11)$$

b. Jika laju alir massa atau laju alir gas dipertahankan konstan atau fungsi dari waktu, maka persamaan *finite difference* di *inlet* pipa dapat ditulis sebagai berikut :

$$\rho_0^{n+1} = \rho_0^n + \frac{\Delta t}{\Delta x} (m_0^n - m_1^n) \quad (12)$$

2. Pada *outlet*,

a. Jika densitas atau tekanan dipertahankan konstan atau fungsi dari waktu, maka persamaan *finite difference* di *outlet* pipa dapat ditulis sebagai berikut :

$$m_n^{n+1} = m_n^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[ \left( \frac{(m_n^n)^2}{\rho_n^n} + c^2 \rho_n^n \right) - \left( \frac{(m_{n-1}^n)^2}{\rho_{n-1}^n} + c^2 \rho_{n-1}^n \right) \right] - \frac{f m_n^n |m_n^n|}{2D \rho_n^n} \Delta t \quad (13)$$

b. Jika laju alir massa atau laju alir gas dipertahankan konstan atau fungsi dari waktu, maka persamaan *finite difference* di *outlet* pipa dapat ditulis sebagai berikut :

$$\rho_n^{n+1} = \rho_n^n + \frac{\Delta t}{\Delta x} (m_{n-1}^n - m_n^n) \quad (14)$$

Dimana subskrip 0 dan *nj* menunjukkan harga masing-masing pada titik 0 dan *nj*, yaitu di *inlet* dan *outlet* pipa.



## METODE

Pada penelitian ini untuk penyelesaian model matematikanya menggunakan skema numerik Godunov. Skema ini menggunakan metode beda hingga dan merupakan skema eksplisit dua langkah. Dengan metode beda hingga, nilai  $u$  pada  $x=i\Delta x$  dan  $t=(n+1)\Delta t$  didekati oleh  $u_i^{n+1}$ , atau dapat dituliskan  $u(i\Delta x, (n+1)\Delta t) = u_i^{n+1}$ . Skema numerik Godunov dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\bar{U}_{i+\frac{1}{2}}^{n+1} = \frac{1}{2}(\bar{U}_{i+1}^n + \bar{U}_i^n) - \frac{\Delta t}{\Delta x}(\bar{F}_{i+1}^n - \bar{F}_i^n) + \bar{r}(\bar{U}_i^n)\Delta t \quad (15)$$

dan,

$$\bar{U}_i^{n+1} = \bar{U}_i^n - \frac{\Delta t}{\Delta x}(\bar{F}_{i+\frac{1}{2}}^{n+1} - \bar{F}_{i-\frac{1}{2}}^{n+1}) + \bar{r}(\bar{U}_i^n)\Delta t \quad (16)$$

Langkah pertama diberikan oleh persamaan (15), hasilnya adalah  $\rho_{i+\frac{1}{2}}^{n+1}$  dan  $m_{i+\frac{1}{2}}^{n+1}$ , yaitu nilai  $\rho$  dan  $m$  pada titik  $i \pm \frac{1}{2}$ ,  $i=1 \dots (nj-1)$  pada step waktu  $(n+1)$ . Nilai ini akan diperbaiki pada langkah kedua yang diberikan oleh persamaan (16), sehingga akan didapatkan  $\rho_i^{n+1}$  dan  $m_i^{n+1}$ ,  $i=1 \dots (nj-1)$ . Sedangkan  $\rho_i^{n+1}$  dan  $m_i^{n+1}$  pada  $i=0, nj$  didapatkan dari kondisi batas. Karena skema ini eksplisit, maka nilai di tiap titik pada step waktu  $n$  akan digunakan untuk menghitung nilai tiap titik pada step waktu  $n+1$ .

## studi kasus

Untuk menganalisa daerah-daerah kritis sepanjang pipa pada kondisi *line packing* berikut diberikan beberapa contoh kasus menggunakan pipa tunggal dengan diameter dan panjang yang beragam. Pipa transmisi yang digunakan mempunyai kekasaran absolut 0,0243 dan dialiri gas alam dengan dengan *specific gravity* 0,65. Pada kondisi awal, dalam pipa terdapat aliran *steady* gas dengan laju alir sebesar 204 MMscf/D dan temperatur operasi sebesar 92°F. Pada  $t>0$ , tekanan di *inlet* dinaikkan menjadi 3000 psia dalam 10 menit secara eksponensial dan dijaga konstan sementara alir gas di *outlet* pipa mengalami perubahan seperti terlihat pada Tabel.1. Proses ini berhenti setelah berjalan selama 7 jam atau ketika tekanan di *outlet* mencapai 2800 psia.

Kondisi awal:

Q = 204 MMscf/D

P = 1146 psia

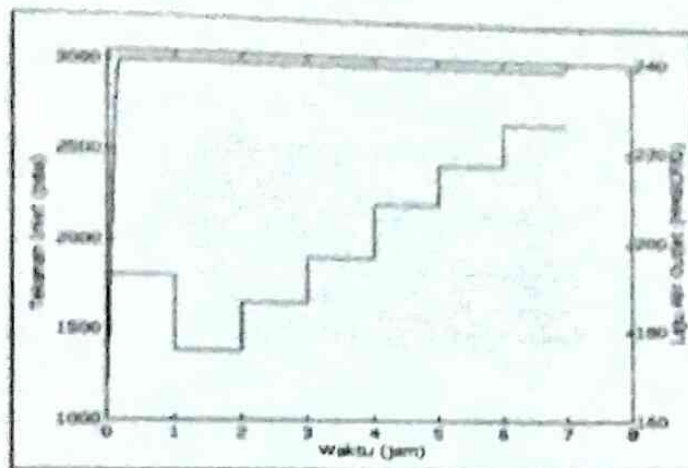
SG = 0,65

T = 92° F

Tabel 1: Data laju alir gas pada kondisi batas

Waktu, $t$ (jam)	$Q_{out}$ (MMscf/D)
0	204
0 - 1	191
1 - 2	175
2 - 3	186
3 - 4	196
4 - 5	208
5 - 6	217
6 - 7	226

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

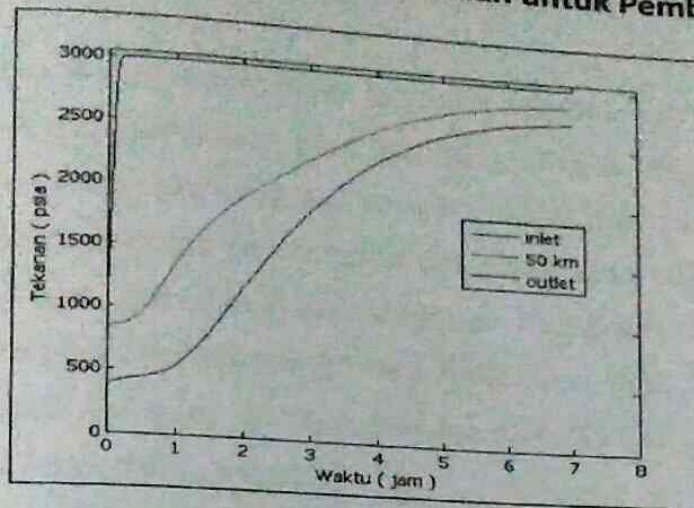


Gambar 1: Kondisi batas sistem

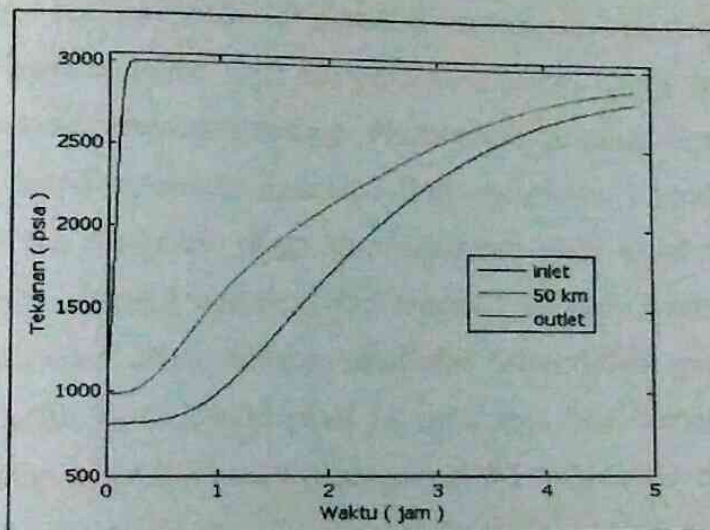
Pada Gambar.1 diperlihatkan perilaku tekanan di *inlet* dan laju alir gas di *outlet* pada batas sistem. Mula-mula gas mengalir secara *steady* dalam pipa dengan tekanan sebesar 1146 psia dan laju alir sebesar 204 MMscf/D. Pada  $t > 0$ , tekanan di *inlet* dinaikkan secara eksponensial menjadi 3000 psia dalam 10 menit dan dijaga konstan sementara laju alir gas di *outlet* pipa berfluktuasi mengikuti pola permintaan konsumen seperti yang terlihat pada Tabel 1.

### Kasus 1

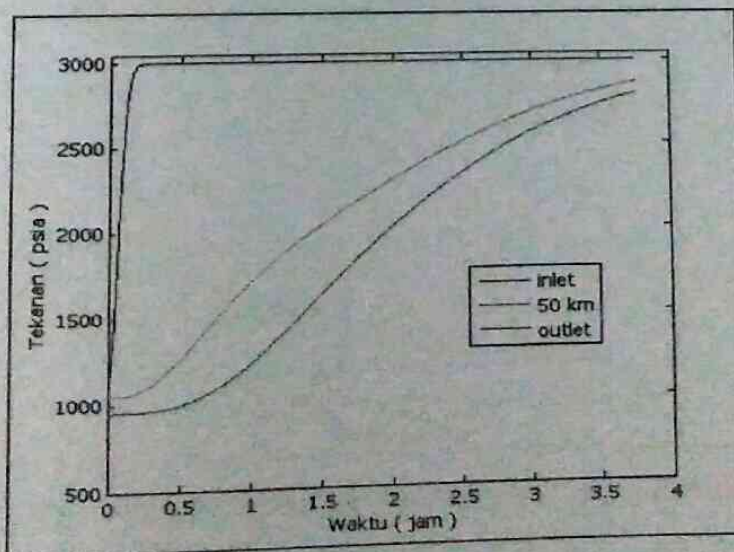
Pada kasus yang pertama, proses *line packing* berlangsung pada 3 pipa transmisi yang berbeda. Masing-masing pipa mempunyai panjang 100 km dengan tiga diameter yang berbeda yaitu 18, 20, dan 22 inci. Pada pipa berdiameter 18 inci, proses *line packing* berlangsung selama 7 jam, sedangkan pada pipa 20 inci proses berlangsung selama 4,8 jam dan pada pipa 22 inci selama 3,8 jam.



Gambar 2: Perilaku tekanan gas terhadap waktu pada pipa diameter 18 inci



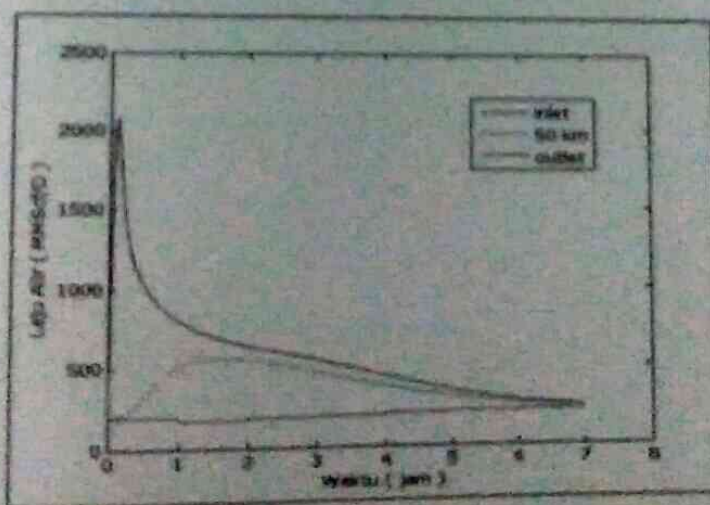
Gambar 3: Perilaku tekanan gas terhadap waktu pada pipa diameter 20 inci



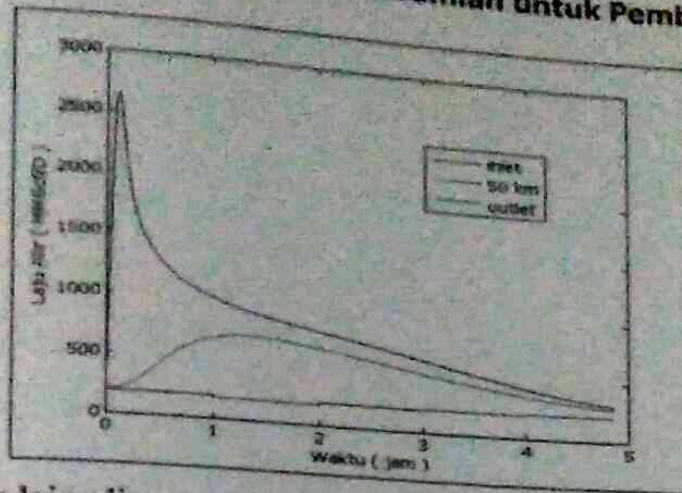
Gambar 4: Perilaku tekanan gas terhadap waktu pada pipa diameter 22 inci

Gambar 2, 3, dan 4 memperlihatkan perilaku tekanan gas terhadap waktu di *inlet*, *midpoint*, dan *outlet* pada masing-masing pipa. Perilaku tekanan ketiga pipa hampir serupa. Di *inlet*, tekanan dinaikkan secara eksponensial menjadi 3000 psia dalam 10 menit dan dijaga konstan. Sebagai akibatnya, tekanan di *midpoint* dan *outlet* ikut naik. Namun semakin besar diameter maka laju alir pun semakin besar sehingga mengakibatkan kenaikan tekanan di *midpoint* dan *outlet* pada pipa berdiameter 22 inci lebih cepat dari pipa 20 inci, dan kenaikan pada pipa berdiameter 22 inci lebih cepat dari pipa 18 inci. Hal ini menjelaskan mengapa waktu simulasi pada pipa berdiameter 22 inci paling cepat.

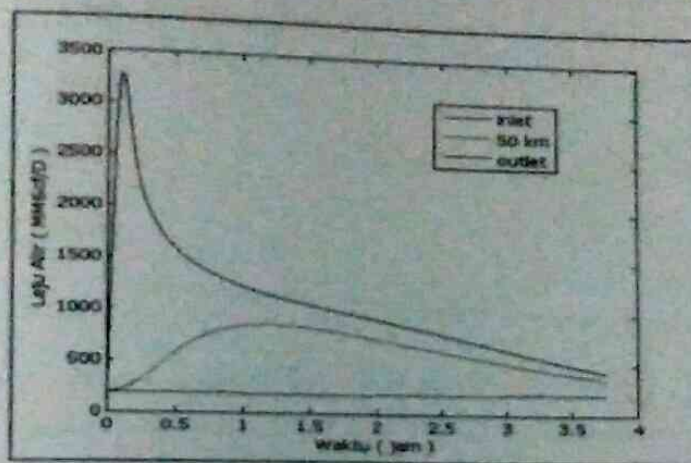
Gambar 5, 6, dan 7 memperlihatkan perilaku laju alir gas terhadap waktu di *inlet*, *midpoint*, dan *outlet* pada masing-masing pipa. Sama seperti perilaku tekanan, perilaku laju alir pada ketiga pipa juga serupa. Pada 10 menit pertama, di *inlet* terjadi lonjakan yang cukup besar. Hal ini terjadi karena pada saat itu *pressure drop* yang terjadi cukup besar (lihat gambar 2, 3, dan 4 untuk masing-masing diameter). Seiring dengan berjalannya waktu, *pressure drop* semakin kecil sehingga laju alir ikut menurun. Kenaikan laju alir di *midpoint* tidak sebesar *inlet*, karena *pressure drop* di *midpoint* lebih kecil dari *inlet*. Kenaikan ini mencapai puncaknya pada rentang waktu 0,75 sampai 1,25 jam, karena *pressure drop* terbesar terjadi pada rentang waktu ini. Pipa dengan diameter besar lebih cepat mencapai puncak dari pada pipa berdiameter lebih kecil. Pada pipa 18 inci, laju alir terbesar hanya mencapai 2100 MMscf/D, sedangkan pada pipa 20 inci mencapai 2700 MMscf/D dan pipa 22 inci mencapai 3300 MMscf/D.



Gambar 5: Perilaku laju alir gas terhadap waktu pada pipa diameter 18 inci

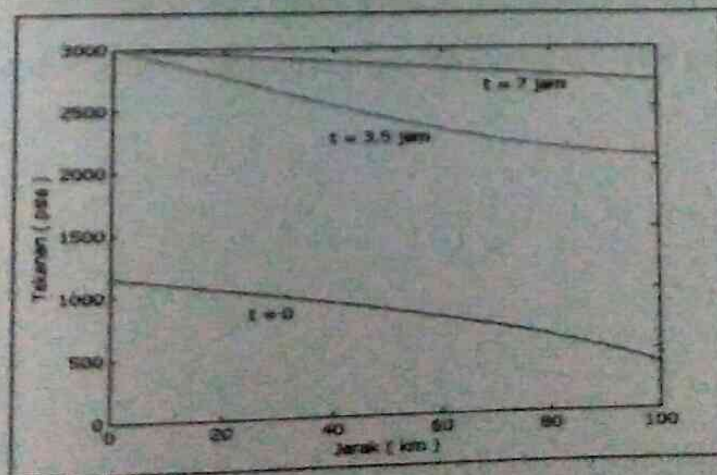


Gambar 6: Perilaku laju alir gas terhadap waktu pada pipa diameter 20 inci

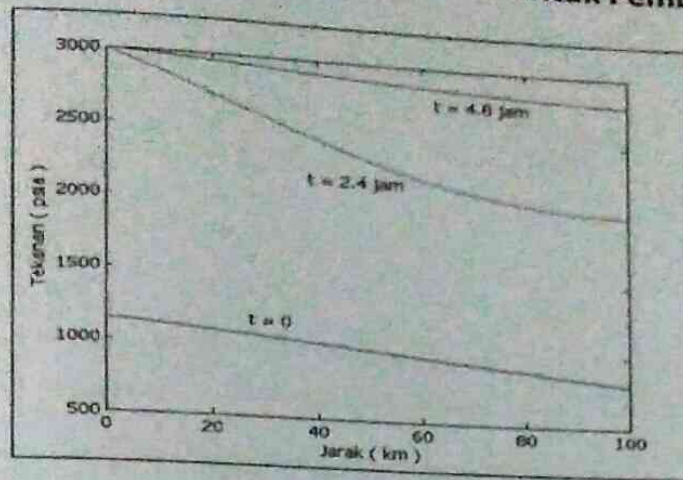


Gambar 7: Perilaku laju alir gas terhadap waktu pada pipa diameter 22 inci

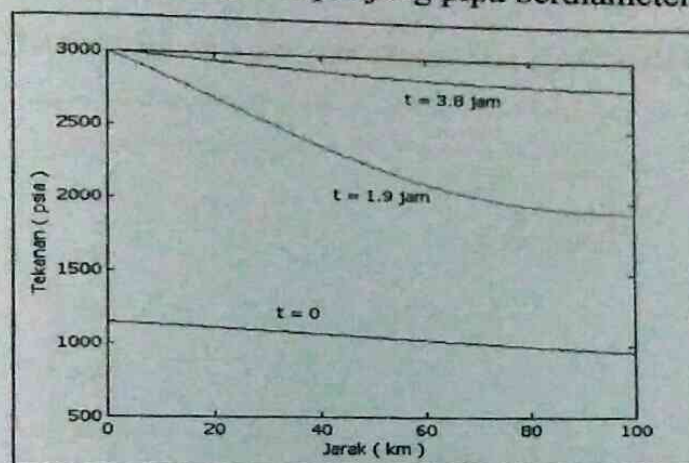
Gambar 8, 9, dan 10 menunjukkan distribusi tekanan gas dan Gambar 11, 12, dan 13 menunjukkan distribusi laju alir pada waktu simulasi tertentu dari masing-masing pipa. Distribusi tekanan pada ketiga pipa ini serupa, begitu pula dengan distribusi laju alir.



Gambar 8: Distribusi tekanan gas sepanjang pipa berdiameter 18 inci

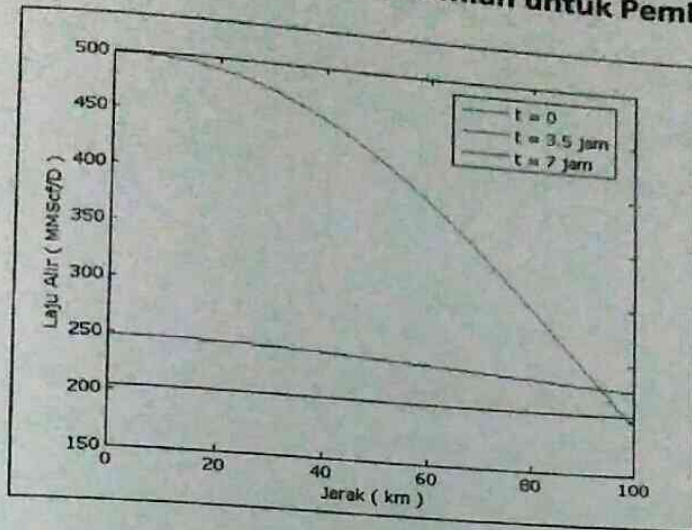


Gambar 9: Distribusi tekanan gas sepanjang pipa berdiameter 20 inci

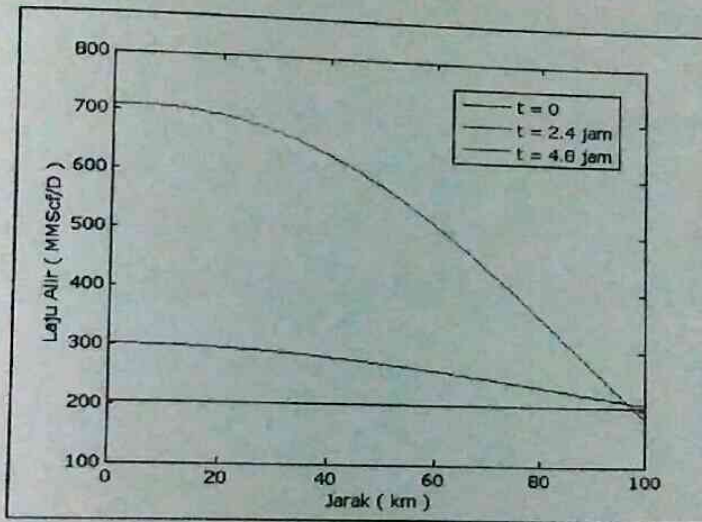


Gambar 10: Distribusi tekanan gas sepanjang pipa berdiameter 22 inci

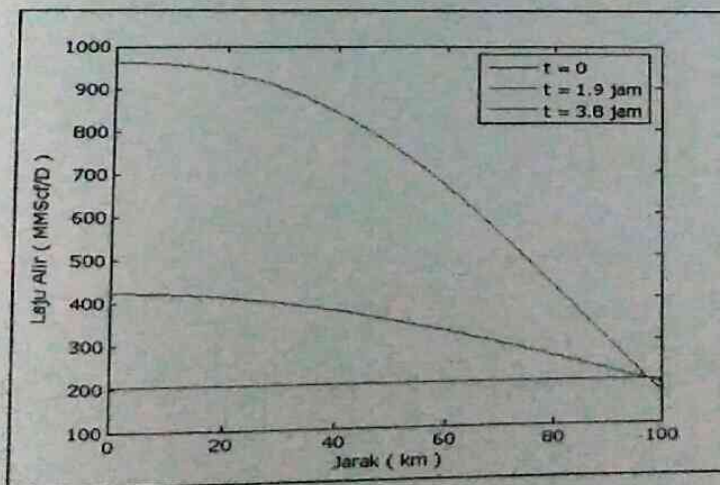
Dari gambar 8, 9, dan 10 dapat dilihat bahwa kondisi kritis yaitu saat tekanan mencapai tahap tertinggi dicapai pada akhir simulasi. Kondisi kritis pada pipa berdiameter besar lebih cepat tercapai daripada pipa berdiameter kecil. Hal ini disebabkan laju alir pada pipa berdiameter besar lebih tinggi dari pada pipa berdiameter kecil (lihat gambar 11, 12, dan 13 untuk masing-masing diameter) sehingga pipa lebih cepat terisi gas.



Gambar 11: Distribusi laju alir gas sepanjang pipa berdiameter 18 inci



Gambar 12: Distribusi laju alir gas sepanjang pipa berdiameter 20 inci



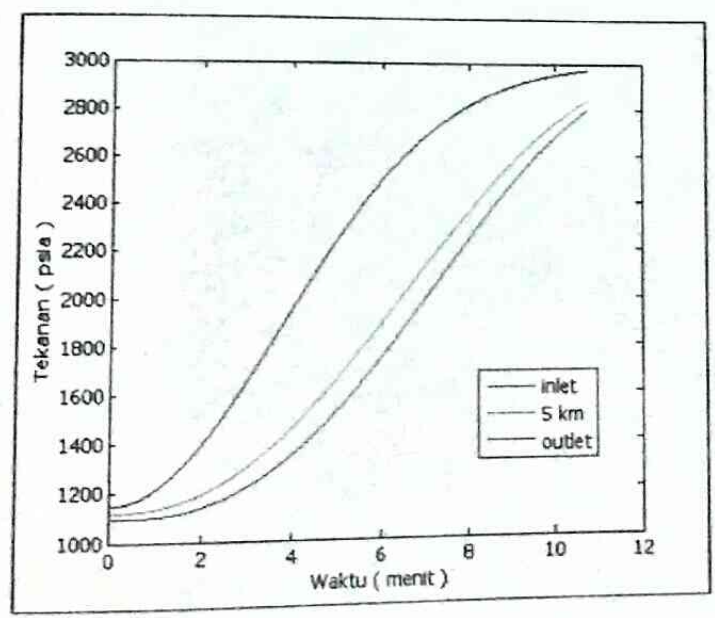
Gambar 13: Distribusi laju alir gas sepanjang pipa berdiameter 22 inci

Selain itu, pada ketiga pipa dapat kita lihat bahwa tekanan pada daerah sekitar *inlet* selalu lebih besar dari daerah lainnya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa daerah kritis untuk kondisi *line packing* ini adalah daerah sekitar inlet dimana kondisi ini lebih cepat tercapai pada pipa berdiameter besar.

**Kasus 2**

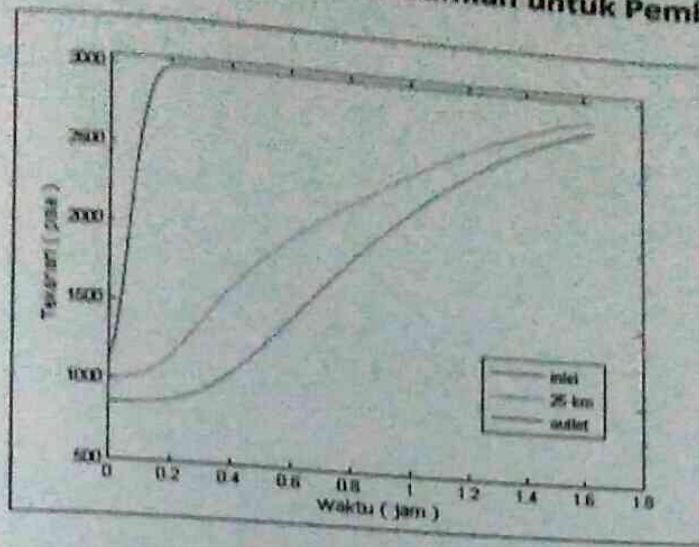
Pada kasus yang kedua, proses *line packing* berlangsung pada 2 pipa transmisi yang berbeda. Pipa ini berdiameter sama yaitu 18 inci dengan panjang yang berbeda yaitu masing-masing 10 dan 50 km. Pada pipa dengan panjang 10 km, proses *line packing* berlangsung selama 10,8 menit sedangkan pada pipa 50 km proses berlangsung selama 1,62 jam.

Gambar 14 dan 15 memperlihatkan perilaku tekanan gas terhadap waktu di *inlet*, *midpoint*, dan *outlet* pada masing-masing pipa. Di inlet, tekanan dinaikkan secara eksponensial menjadi 3000 psia dalam 10 menit dan dijaga konstan. Pada pipa pendek gas mencapai outlet lebih cepat dari pipa panjang. Oleh karena itu kenaikan tekanan pada pipa pendek baik di *midpoint* maupun di *outlet* jauh lebih cepat dari pipa panjang. Hal ini menjelaskan mengapa waktu silmulasi pada pipa dengan panjang 10 km paling cepat.



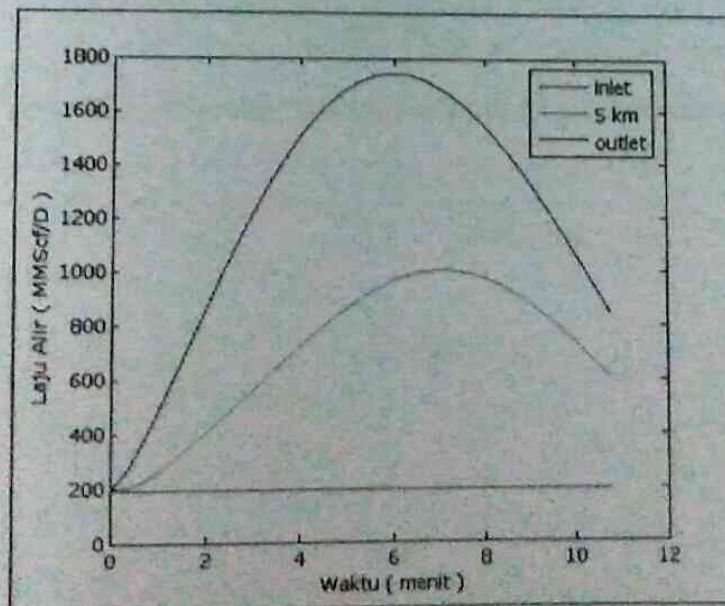
Gambar 14: Perilaku tekanan gas terhadap waktu pada pipa dengan panjang 10 km



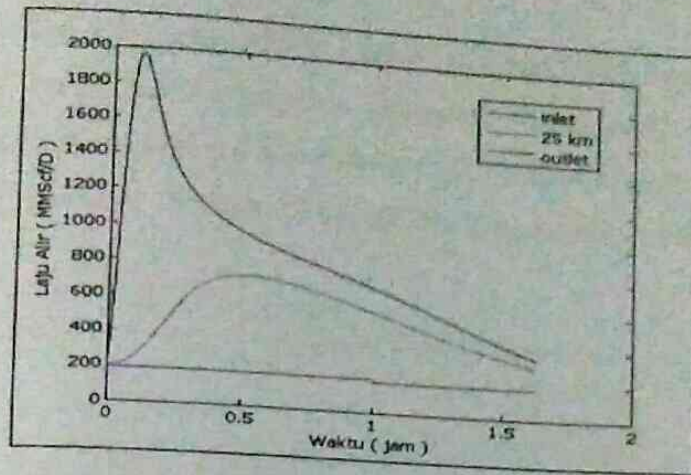


Gambar 15: Perilaku tekanan gas terhadap waktu pada pipa dengan panjang 50 km

Gambar 16 dan 17 memperlihatkan perilaku laju alir gas terhadap waktu di *inlet*, *midpoint*, dan *outlet* pada masing-masing pipa. Pada 10 menit pertama, di *inlet* terjadi lonjakan yang cukup besar. Hal ini terjadi karena pada saat itu *pressure drop* yang terjadi cukup besar (lihat gambar 14 dan 15 untuk masing-masing diameter). Seiring dengan berjalannya waktu, *pressure drop* semakin kecil sehingga laju alir ikut menurun. Kenaikan laju alir *inlet* pada pipa 10 km mencapai puncaknya pada 6 menit yaitu sebesar 1750 MMscf/D karena *pressure drop* terbesar terjadi pada waktu ini. Sementara pipa 50 km mencapai puncak pada waktu 20 menit sebesar 1900 MMscf/D. Kenaikan laju alir di *midpoint* tidak sebesar *inlet*, karena *pressure drop* di *midpoint* lebih kecil dari *inlet*.

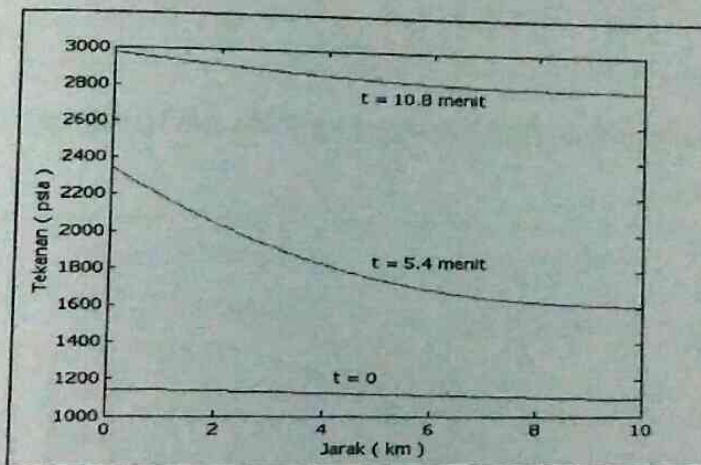


Gambar 16: Perilaku laju alir gas terhadap waktu pada pipa dengan panjang 10 km

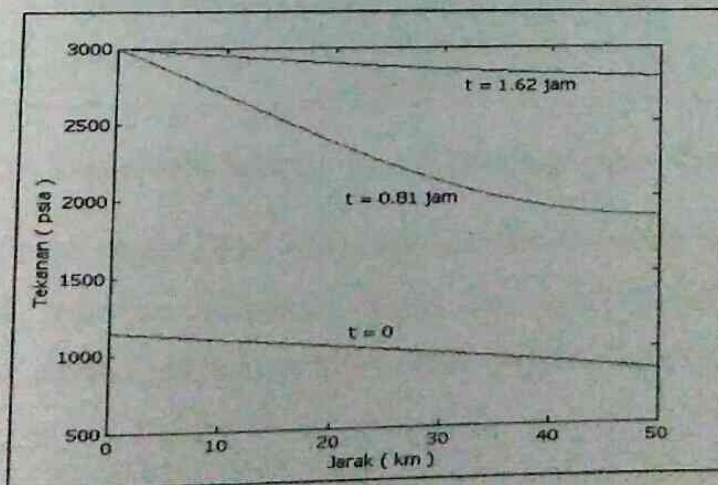


Gambar 17: Perilaku laju alir gas terhadap waktu pada pipa dengan panjang 50 km

Gambar 18 dan 19 menunjukkan distribusi tekanan gas dan gambar 20 dan 21 menunjukkan distribusi laju alir pada waktu simulasi tertentu dari masing-masing pipa.

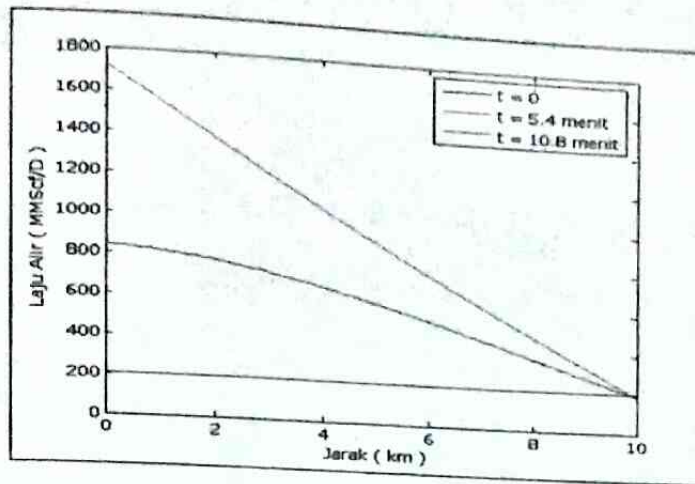


Gambar 18: Distribusi tekanan gas sepanjang pipa dengan panjang 10 km

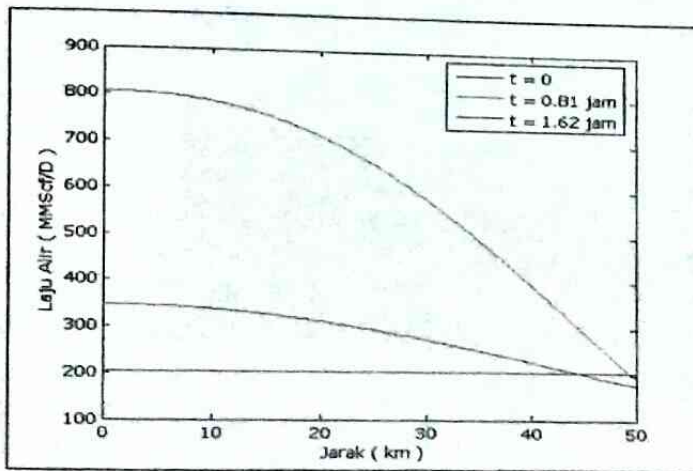


Gambar 19: Distribusi tekanan gas sepanjang pipa dengan panjang 50 km

Dari gambar 18 dan 19 dapat dilihat bahwa kondisi kritis yaitu saat tekanan mencapai tahap tertinggi dicapai pada akhir simulasi. Kondisi kritis pada pipa pendek lebih cepat tercapai daripada pipa panjang. Hal ini disebabkan laju alir pada pipa pendek lebih tinggi dari pada pipa panjang (lihat gambar 20 dan 21 untuk masing-masing panjang pipa) sehingga pipa lebih cepat terisi gas.



Gambar 20: Distribusi laju alir gas sepanjang pipa dengan panjang 10 km



Gambar. 21. Distribusi laju alir gas sepanjang pipa . Panjang 50 km

Selain itu, pada kedua pipa dapat kita lihat bahwa tekanan pada daerah sekitar inlet selalu lebih besar dari daerah lainnya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa daerah kritis untuk kondisi *line packing* ini adalah daerah sekitar inlet dimana kondisi ini lebih cepat tercapai pada pipa pendek.

## KESIMPULAN

Dari hasil simulasi di atas maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Daerah kritis pada kondisi *line packing* terdapat pada daerah sekitar inlet pipa.
2. Pada pipa dengan diameter relatif besar kondisi kritisnya semakin cepat tercapai dan berlangsung relatif lebih lama..
3. Pada pipa dengan diameter kecil kondisi kritisnya justru terjadi dengan waktu yang relatif pendek

## DAFTAR PUSTAKA

1. Hoffman, Joe. D., *Numerical Methods For Engineers and Scientists*, McGraw-Hill, Inc., 1993.
2. Ikoku, Chi. U., *Natural Gas Production Engineering*, John Willey & Sons Inc., Canada, 1984.
3. LeVeque, Randall. J, *Numerical Methods For Conservation Laws*, Birkhäuser, 1992.
4. McCain, William D., Jr., *The Properties of Petroleum Fluids, Second Edition*, PennWell Publishing Company, Tulso, Oklahoma, 1990.
5. Mucharam, L., Sukarno, P., *Aliran Multifasa dalam Pipa*, Penerbit ITB, Bandung, 2000.
6. Sod, G. A., *A Survey of Several Finite Difference Methods for System of Nonlinear Hyperbolic Conservation Laws*, Academic Press, Inc., New York, 1978.
7. Sulistyarto, H.B., *Pemodelan Aliran Gas Transient Untuk Kondisi Line Packing Pada Jaringan Transmisi Pipa*, Usulan Penelitian Disertasi Program Doktor, Program Pascasarjana, ITB, Bandung, 2003.
8. Sulistyarto, H.B., Mucharam, L., Siregar, S., Soewono, E., Darmadi, Saputra, I., Sinatra, C., *Analisa Perilaku Tekanan dan Laju Alir Gas Pada Pipa Transmisi Untuk Kasus Line Packing*, Conference Proceeding, p. 20:1-16, Presented at Indonesian Pipeline Technology Conference and Exhibition, Bandung, January 27-28, 2004.
9. Sulistyarto, H.B., Mucharam, L., Siregar, S., Soewono, E., Darmadi, Saputra, I., Sinatra, C., Udayana W.T., *Modeling Transient Gas Flow Under Line Packing Conditions*, Simposium Nasional dan Kongres VIII IATMI 2004, Jakarta, 29 November – 1 December 2004.
10. Sulistyarto, H.B., Siregar, S., Mucharam, L., Soewono, E., Darmadi, Saputra, I., Udayana W.T., *OPPINET's Software For Analyzing Gas Behavior Under Line Packing Condition*, Presented at Maintenance & Production Reliability Conference, Jakarta, May 10-12, 2005.
11. Zhou, Junyang and Adewumi, M.A., *The Development and Testing of a New Flow Equation*, Proceedings of PSIG Meeting, Houston, TX, 1995.
12. Zhou, J., Adewumi, M. A., *Simulation of Transients in Natural Gas Pipeline*, Paper SPE#31024, Presented at Offshore Technology Conference, Held in Houston, May 1-4, 1995.
13. Zhou, J., Adewumi, M. A., *Simulation of Transient Flow in Natural Gas Pipeline*, Paper PSIG #9508, Published in [www.psig.org](http://www.psig.org), 1995.