



PROCEEDING

8.7 &
8.8

9 November 2013

Industrial Engineering Conference 2013

"Perspektif Keilmuan Teknik Industri
Dalam Mendukung Masa Depan
Industri Minyak, Gas dan
Pertambangan
Yang Berkelanjutan"



Industrial Engineering Department
Faculty of Industrial Technology
Universitas Padjadjaran Nasional "Veteran"
Yogyakarta

ISBN 978-979-96854-5-2

Prosiding Seminar Nasional - Industrial Engineering Conference (IEC) 2013
"PERSPEKTIF KEILMUAN TEKNIK INDUSTRI DALAM Mendukung MASA DEPAN INDUSTRI MINYAK, GAS, DAN PERTAMBANGAN YANG BERKELANJUTAN"

Terbitan : November 2013

Tim Editor : Miftahol Arifin, S.T.,M.T.
Muhammad Faisal Amin

Reviewer : 1. Ir. Nur Indrianti, M.T., D.Eng.
2. Dr. Ir. Harry Budiharjo, M.T.
3. Moch. Chaeron, S.T., M.T.
4. Ir. Irwan Soejanto, M.T.

Desain Layout : Wikan Widya Kusuma, ST

Hak Cipta pada :
Jurusan Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri
UPN 'Veteran' Yogyakarta
Jl. SWK No. 4 (Lingkar Utara), Condongcatur, Yogyakarta.
Telp : (0274) 486369, Fax : (0274) 486369
E-mail : iec.ti@upnyk.ac.id

ISBN. 978 - 979 - 96854 - 5 - 2

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun, tanpa izin tertulis dari Penerbit

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahamtullah Wabarakatuh

Puji Syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT atas berkat Rahmat dan Hidayah-Nya kami dapat menyelesaikan Prosiding Seminar Nasional *Industrial Engineering Conference 2013* dengan tema "*Perspektif Keilmuan Teknik Industri dalam Mendukung Masa Depan Industri Minyak, Gas dan Pertambangan yang Berkelanjutan*" yang diselenggarakan oleh Jurusan Teknik Industri FTI UPN "Veteran" Yogyakarta pada hari Sabtu, 9 November 2013 bertempat di Gedung Patimura II Babarsari 2 - Tambakbayan, Yogyakarta 55281.

Seminar Nasional *Industrial Engineering Conference 2013* dengan tema "*Perspektif Keilmuan Teknik Industri dalam Mendukung Masa Depan Industri Minyak, Gas dan Pertambangan yang Berkelanjutan*" bertujuan untuk mengenalkan Peran Teknologi dan Inovasi dalam pembangunan berkelanjutan khususnya UKM, mengenalkan peran keikutsertaan Teknik Industri dalam mendukung masa depan industri minyak, gas dan pertambangan baik kepada mahasiswa dan khalayak umum khususnya yang mengikuti seminar ini. Makalah yang terkirim juga harus memenuhi standar penulisan dan disesuaikan dengan format yang telah ditentukan oleh panitia. Prosiding ini memuat makalah-makalah dikirimkan oleh para pemakalah, setelah direview dan diputuskan untuk diterbitkan. Secara keseluruhan terdapat 30 makalah yang dapat diterbitkan tim prosiding ini dan menjalani editing oleh Tim editor IEC 2013.

Tim editor menyampaikan ucapan terimakasih kepada Rektor UPN "Veteran" Yogyakarta, para Wakil Rektor, Dekan, Wakil Dekan FTI, para pejabat, pembicara, pemakalah, peserta seminar dan HMJ Teknik Industri FTI UPN "Veteran" Yogyakarta yang telah berpartisipasi dan membantu penyelenggaraan acara sehingga dapat tersusun prosiding ini. Harapan kami prosiding ini dapat memberikan sumbangan pemikiran dan manfaat bagi dunia industri dan masyarakat dalam rangka mewujudkan Indonesia yang peduli terhadap kelangsungan masa depan sumber daya energi.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 9 November 2013

Tim Editor



**SAMBUTAN KETUA PELAKSANA
SEMINAR NASIONAL – IEC 2013
JURUSAN TEKNIK INDUSTRI FTI UPN “VETERAN” YOGYAKARTA**

Assalamu'alaikum wr. Wb
Salam sejahtera untuk kita semua

Pertama-tama marilah puji dan syukur kita panjatkan kehadirat Allah s.w.t. Tuhan yang Maha Kuasa karena atas rahmat dan hidayah-Nya pada hari ini masih diberikan nikmat kesehatan dan kesempatan untuk menghadiri seminar ini.

Pada kesempatan ini saya atas nama panitia mengucapkan selamat datang dan terimakasih telah hadir di ruangan ini dalam acara seminar nasional (*Industrial Engineering Conference*) 2013 yang pada tahun ini mengambil tema "*Perspektif Keilmuan Teknik Industri dalam Mendukung Masa Depan Industri Minyak, Gas dan Pertambangan yang Berkelanjutan*"

Seminar ini merupakan rangkaian kegiatan dan agenda tahunan dari Jurusan Teknik Industri UPN "Veteran" Yogyakarta yang ditujukan untuk memberikan wahana kepada para peneliti, dosen, dan mahasiswa untuk berbagi informasi mengenai hasil-hasil penelitian, gagasan-gagasan baru yang inovatif untuk membuka perspektif dalam perkembangan dunia Teknik Industri.

Bapak, ibu, dan para mahasiswa peserta seminar, pada kesempatan ini perkenankan dari panitia pelaksana untuk melaporkan tentang pelaksanaan seminar kali ini, sebagai berikut :

1. Seminar nasional IEC 2013 ini diikuti oleh kurang lebih 225 peserta yang terdiri dari para mahasiswa dan peneliti di berbagai perguruan tinggi dari berbagai wilayah, Jawa Timur, Jawa Tengah, dan DIY dan mahasiswa dari berbagai jurusan di UPN "Veteran" Yogyakarta.
2. Seminar ini akan terbagi menjadi dua sesi yang terdiri dari pemaparan makalah utama oleh para pembicara utama dilanjutkan dengan sesi pemaparan makalah hasil-hasil penelitian di sesi kedua setelah istirahat. Makalah yang masuk kepanitia setelah melalui *review* dan *editing* sebanyak 30 makalah.

Selanjutnya saya mengucapkan terimakasih atas dukungan dan kerjasama dari seluruh rekan-rekan panitia untuk mempersiapkan acara ini. Dan beberapa pihak memberikan dukungan dan partisipasinya saya juga mengucapkan terimakasih dan merupakan penghargaan yang tak ternilai bagi kami. Harapan kami dalam penyelenggaraan seminar ini dapat memberikan pelayanan yang sebaik-baiknya kepada seluruh hadirin, tetapi betapa sempurnanya persiapan yang dilakukan, kami merasakan masih banyak terdapat hal-hal yang kurang berkenan. Atas nama panitia saya mohon maaf atas kesalahan, kekurangan, kekilafan, dan ketidaknyamanan yang dirasakan hadirin semua.

Akhirnya kepada para peserta, saya mengucapkan selamat mengikuti seminar, semoga seminar ini memberikan manfaat bagi para hadirin semua dan perkembangan Teknik Industri pada umumnya.

Terimakasih
Wassalamu'alaikum wr.wb.

Yogyakarta, 9 November 2013
Ketua Pelaksana

Miftahul Arifin, S.T., M.T.
NPY. 2 7207 97 0140 1



SAMBUTAN REKTOR
Dalam Acara

SEMINAR NASIONAL TEKNIK INDUSTRI 2013
"PERSPEKTIF KEILMUAN TEKNIK INDUSTRI DALAM Mendukung MASA DEPAN
INDUSTRI MINYAK, GAS, DAN PERTAMBANGAN YANG BERKELANJUTAN"
Gedung Pattimura UPN "Veteran" Yogyakarta
Sabtu, 9 November 2013

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Selamat pagi, dan salam sejahtera untuk kita semua.

Pada kesempatan ini marilah kita bersyukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya kita dapat menghadiri seminar nasional Teknik Industri 2013 dengan tema "*Perspektif Keilmuan Teknik Industri dalam Mendukung Masa Depan Industri Minyak, Gas dan Pertambangan yang Berkelanjutan*"

Saya selaku pimpinan Universitas Pembangunan Nasional Yogyakarta mengucapkan selamat datang dan terima kasih kepada semua pihak yang telah hadir dan ikut berpartisipasi dalam menyukseskan acara seminar nasional Teknik industri 2013 di UPN "Veteran" Yogyakarta ini. Semoga kerjasama kita dapat terus terjalin dengan positif sebagai bagian dari upaya memajukan dunia pendidikan dan teknologi di Indonesia.

Saudara-saudara Yang Saya Hormati.

Berbicara mengenai sumber daya energi, tak lepas dari bahan bakar baik berupa gas, minyak dan barang tambang. Ketiga hal tersebut merupakan hal yang sangat penting bagi kelangsungan hidup manusia. Sebagai sebuah program studi yang konsen dalam sistem, Teknik Industri merupakan program studi yang mempunyai pesan dalam pengelolaan sumber daya energi tersebut agar dapat digunakan secara efektif dan efisien. Dengan penggunaan yang efektif dan efisien, maka sumber daya dapat dihemat untuk kelangsungan hidup manusia.

Seminar nasional Industrial Engineering Conference 2013 bertajuk "*Perspektif Keilmuan Teknik Industri dalam Mendukung Masa Depan Industri Minyak, Gas dan Pertambangan yang Berkelanjutan*" bertujuan untuk menggali hasil penelitian dan karya ilmiah baik metode dan teknologi baru dalam kerangka pengelolaan industri minyak, gas dan pertambangan.

Berkaitan dengan hal tersebut di atas saya menyambut gembira dengan diselenggarakannya seminar pada hari ini dengan mendatangkan nara sumber yang berkompeten dibidangnya. Semoga materi yang disampaikan memberikan semangat kepada kita semua untuk ikut berperan serta dalam pembangunan berkelanjutan.

Akhir kata, saya mengucapkan terima kasih atas kehadiran, kontribusi, dan kerja sama Saudara-saudara sekalian, juga kepada panitia yang sudah bekerja keras mempersiapkan terselenggaranya acara ini. Dengan mengucap *Bismillahirrohmanirrohim* seminar nasional *Industrial engineering conference 2013* dengan tema "*Perspektif Keilmuan Teknik Industri dalam*

Melalui Masa Depan Industri Minyak, Gas dan Pertambangan yang Berkelanjutan' dengan resmi saya nyatakan dibuka.

Demikian yang dapat saya sampaikan, marilah kita panjatkan doa ke pada Tuhan yang maha Esa semoga Tuhan Yang maha Esa senantiasa memberikan petunjuk dan kekuatan kepada kita semua.

Selamat melaksanakan seminar, terima kasih Wassalamu'alaikum Wt. Wb.

Yogyakarta, 9 November 2013
Rektor UPN "veteran" Yogyakarta

Ttd

Prof. Dr. H. Didit welly Udiyanto, M.S.
NIP. 19590620198603100

DAFTAR ISI

Cover Dalam	Hlm
ISBN	i
Kata Pengantar	ii
Sambutan Ketua Panitia	iii
Sambutan Rektor UPN "Veteran" Yogyakarta	iv
Daftar Isi	vi
	viii

MAKALAH:

NO	NAMA	JUDUL	HLM
1	Haryanto	Perspektif Teknik Industri pada Sistem Hubungan Industrial: Suatu Usulan Bagaimana Memahami Fenomena Industrial	01-07
2	Rachmad Hidayat	Environmental Performance With Green Productivity	08-13
3	Intan Istiqomah	Penentuan Harga Produk UKM dengan Memperhatikan Proyeksi Keuntungan, Persepsi Konsumen, dan Harga Kompetitor Menggunakan Pendekatan Fuzzy Logic Bertingkat	14-20
4	Kurnia Nurmalasari, Agus Ristono, dan Laila Nafisah	Pemilihan Supplier Menggunakan Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluation Dengan Pembobotan Analytical Hierarchy Process (Studi Kasus di Satria Sejahtera, Yogyakarta)	21-27
5	Anita Indrasari	Model Sistem Perencanaan Paket Perjalanan Wisata Wilayah Ex-Karesidenan Surakarta Dengan Menggunakan Semantic Web	28-35
6	Sugeng Purwoko	Perancangan Tata Letak Fasilitas dengan Pendekatan Rank Order Clustering	36-40
7	Muhammad Aslam Mafruhi	Perancangan Ulang Stasiun Kerja Produksi Berdasarkan Aspek Pencahayaan dengan Memanfaatkan Cahaya Alami	41-48
8	Wuri Pratiwi	Analisis Pengendalian Persediaan Bahan Baku dengan Pendekatan Eoq Probabilistic dikombinasikan Dengan algoritma Genetik guna Meminimasi Biaya Inventory	49-55

9	Andi Farid Hidayanto	Persepsi Konsumen Kota Samarinda Terhadap Rancang Bangun Desain Eksterior Toyota Grand New Kijang Innova	56-61
10	Miftahol Arifin	Penjadwalan Job Shop dengan Artificial Immune System	62-71
11	Ong Andre W.R	Algoritma Ant Colony Optimization untuk Optimasi Multi-tujuan pada Penjadwalan Pekerjaan Flow Shop	72-81
12	A.I. Iladiyah	Penentuan Harga Pokok Produksi Untuk Sistem Manufaktur Kompleks (Studi Kasus Di Sentra Industri Kerajinan Perak Pampang)	82-88
13	F Hernina	Penentuan Safety Stock Dan Jumlah Pesanan Untuk meminimalisasi Biaya Persediaan Pada Lokal Chain Store berbasis Logika Kabur	89-97
14	Annie Purwani	Aplikasi Model Objective Matrix untuk Mengukur dan Menganalisis Produktivitas	98-107
15	P.Wisnu Anggoro	Rancang Bangun Prototype Sepeda Motor Khusus Kaum Difabel	108-118
16	Ghea Mastika	Production Learning dengan Pendekatan Activity Based Costing	119-126
17	Bambang Gastomo	Disain Dan Implementasi Prototipe PLC Simulator Dan SCADA Sebagai Media Pembelajaran Otomatisasi Industri	127-134
18	Harry Budiharjo S	Injeksi Mikroba Sebagai Usaha Peningkatan Perolehan Minyak	135-142
19	P.Wisnu Anggoro	Optimalisasi Strategy Pemesinan Pada Proses Pengerjaan Produk Freed Mirror Cover Honda Freed	143-157
20	Jaka Purwanta	Upaya Pengelolaan Lingkungan Hidup Di IPAL Sewon Kabupaten Bantul Melalui Kajian Biaya Pemantauan Dan Pengendalian Kualitas Air Dan Lingkungan Sistem Jaringan Limbah	158-172
21	Harry Budiharjo S.	Model Aliran Gas pada Pipa Transmisi dengan Kondisi Line Packing untuk Berbagai Diameter	173-181
22	Ardhian Herlianto	Perancangan Alat Bantu Pengangkut Batako Yang Ergonomis Guna Mengurangi Resiko	182-192

23	Rakhmadi Sentosa	Pemetaan Proses Sebagai Langkah Awal Implementasi Konsep Lean Thinking	193-200
24	Suwito Tjokro	Pendekatan Fuzzy Integer Transportation Problem Pada Pendistribusian Air	201-205
25	Kurnia Nurmalasari	Pemilihan Supplier Menggunakan preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation dengan pembobotan Analytical Hierarchy process	206-212
26	Visita Dian Gitaya	Analisis Beban Kerja Fisiologis dan Pengaturan Waktu Istirahat Operator Tenis pada Departemen Weaving Unit I (Studi Kasus PT. Kusuma Sandang Mekarjaya)	213-217
27	Adhitya Arfiansyah	Penentuan Setting Parameter Optimal Untuk Memaksimalkan Kekuatan Lentur Dan Meminimalkan Susut Kering Badan Keramik Hias Menggunakan Metode Taguchi Multiresponse (Studi Kasus di Sentra Kerajinan Keramik Hias Kasongan, Yogyakarta)	218-227
28	Septiani Tri Rahayu	Evaluasi Supplier Untuk Meningkatkan Performansi Supplier Dengan Metode Data Envelopment Analysis (DEA)	228-235
29	Muhammad Yusuf	Strategi Pemasaran "KR" Berdasarkan Persepsi Konsumen	236-243
30	Rini Novia Sari, Laila Nafisah, Agus Ristono	Algorithm Hybrid untuk Menentukan Rute dan Jadwal Pengiriman Produk di PT Mitra Gas Abadi Karawang	244-250
31	Eko Nursubiyantoro	Perancangan Decision Support System (DSS) pada Manajemen Persediaan Bahan Baku	251-260

Model Aliran Gas Pada Pipa Transmisi Dengan Kondisi *Line Packing* Untuk Berbagai Diameter

Harry Budiharjo S.^{1,2)}

1. Prodi Teknik Perminyakan, Fakultas Teknologi Mineral

2. Program Pascasarjana

UPN "Veteran" Yogyakarta

Gedung, Jl. SWK. 104 (Lingkar Utara) Condong catur, Yogyakarta, 55283

e-mail : harry_hb@upnyk.ac.id

ABSTRAK

Jaringan transmisi pipa gas dari sumur ke konsumen biasanya sangat panjang karena letak sumur dan daerah konsumen berjauhan, sehingga menimbulkan permasalahan tersendiri. Masalah yang sangat mendasar tetapi sering diabaikan adalah sulitnya memperkirakan perilaku aliran gas sepanjang pipa. Kebanyakan model yang dikembangkan mengasumsikan aliran gas *steady state*, yaitu tidak ada perubahan kondisi terhadap waktu pada kondisi yang sama. Pada keadaan sebenarnya aliran gas dalam pipa sering terjadi kondisi *unsteady state* atau *transient*, yaitu terjadi perubahan kondisi terhadap waktu. Sehubungan dengan sifat gas yang kompresibel maka pipa yang dipakai untuk mengalirkan gas dapat juga dipakai sebagai tempat penyimpanan gas (*gas storage*) dengan cara memampatkan gas tersebut sampai tekanan tertentu yang tidak melebihi tekanan internal pipa maksimum yang diijinkan. Inilah yang disebut dengan istilah *line packing*.

Delam makalah ini akan disajikan tiga contoh kasus untuk menggambarkan perilaku aliran gas dalam pipa transmisi. Ketiga contoh tersebut sama-sama dilakukan operasi *line packing* dengan kondisi yang sama, perbedaan terletak pada diameter pipa yang digunakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar harga diameter, kehilangan tekanan sepanjang pipa semakin menurun sedangkan waktu yang dibutuhkan semakin besar. Proses *line packing* tidak merubah trend distribusi tekanan tetapi meningkatkan harga tekanan dalam pipa.

Kata Kunci : *Line packing, transient, unsteady state.*

1. PENDAHULUAN

Gas alam merupakan salah satu sumber energi alternatif yang mulai diperhatikan untuk menggantikan minyak bumi yang persediaannya semakin lama semakin menipis. Hal ini juga dikarenakan gas alam lebih ramah lingkungan bila dibandingkan dengan sumber energi yang lain seperti batu bara dan nuklir serta minyak bumi itu sendiri. Hal penting lainnya adalah cadangan gas alam saat ini jauh lebih melimpah bila dibandingkan dengan minyak bumi¹⁾. Berbeda dengan minyak bumi, gas alam sebelum diproduksi sudah harus jelas siapa pembelinya karena tidak bisa disimpan seperti halnya minyak bumi, sehingga pengiriman gas bumi dari lapangan penghasil gas ke lokasi konsumen menjadi masalah tersendiri yang memerlukan perhatian khusus, karena letak cadangan gas alam tidak selalu berdekatan dengan daerah konsumen.

Satu-satunya cara yang paling efisien adalah melalui jaringan pipa transmisi.

Seiring dengan perubahan jarak dan waktu sepanjang pipa, maka gas yang mengalir di dalamnya akan mengalami perubahan tekanan dan laju alir. Oleh karenanya kita tidak cukup dengan mempertimbangkan bahwa aliran yang terjadi dalam pipa adalah aliran *steady state*. Dalam hal ini kita harus mempertimbangkan respon aliran *unsteady state (transient)* yang terjadi di dalamnya. Oleh karenanya diperlukan suatu model atau metode untuk mengatasi hal tersebut.

Pada makalah ini dikembangkan suatu model yang menganalisa perubahan perilaku aliran gas pada pipa transmisi pada kondisi *line packing*. Analisa akan difokuskan pada perubahan tekanan dan laju alir gas selama operasi *line packing*. Tiga contoh kasus akan disajikan untuk menggambarkan perilaku tersebut untuk diameter pipa yang berbeda.



Penyelesaian persamaan *transient* dikembangkan dari tiga persamaan dasar, yaitu : persamaan kontinuitas, persamaan momentum, dan persamaan keadaan.

2. MODEL ALIRAN ALIRAN GAS DALAM PIPA

Aliran *steady state* dalam sistem transmisi pipa gas dalam kenyataannya jarang ditemui, karena aliran yang terjadi merupakan fungsi dari waktu. Jika gas yang mengalir dalam pipa itu *incompressible*, Newtonian, dan perubahan sepanjang pipa terjadi secara bersamaan dan besarnya sama pada tiap bagian pipa mulai dari ujung sampai ujung yang lainnya, maka persamaan *steady state* dapat digunakan. Tetapi yang terjadi tidaklah demikian, oleh karenanya diperlukan suatu model atau metode untuk mengatasi keadaan tersebut. Metode *transient* dalam aliran pipa telah diyakini dapat menyelesaikan kendala seperti yang disebutkan di atas. Untuk menyelesaikan persamaan metode tersebut kita harus menentukan kondisi awal dan kondisi batas sistem tersebut. Kondisi awal harus ditemukan untuk mendapatkan penyelesaian yang aplikatif terhadap persamaan diferensial yang diberikan. Kondisi awal ini diperlukan untuk menentukan tekanan awal, kecepatan, densitas, kompresibilitas dan sifat-sifat lainnya sebagai fungsi dari jarak (x) sepanjang pipa. Pada makalah ini kondisi awal ditentukan dengan mengasumsikan bahwa aliran yang terjadi adalah aliran *steady state* pada awal analisa *transient*, dimana $t = 0$. Kemudian menggunakan hubungan satu persamaan *steady state* untuk menghitung distribusi tekanan awal dalam pipa (untuk aliran *steady state* laju alir konstan). Kondisi batas harus ditentukan untuk mendapatkan penyelesaian tertentu, karena tiap kondisi batas memiliki persamaan-persamaan yang berbeda antara satu dengan lainnya. Paling tidak ada dua variabel yang harus ditentukan untuk mendapatkan penyelesaian khusus, dengan memilih diantara empat variabel, yaitu : tekanan yang masuk, laju alir yang masuk, tekanan yang keluar, dan laju alir yang keluar. Pada makalah ini kondisi batas ditentukan dimana tekanan yang keluar dipertahankan konstan seperti kondisi awal, sedangkan tekanan yang masuk dinaikkan sebesar dua kali dan dipertahankan pada harga tersebut.

Aliran gas pada pipa transmisi yang mengalami *line packing* cenderung akan berperilaku sebagai aliran *transient* (*unsteady state*). Hal ini disebabkan karena *line packing* sendiri merupakan proses dimana tekanan yang dikenakan pada gas berubah 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 *steady-state*. Ada tiga persamaan yang digunakan untuk mendesain model matematika aliran *transient* pada pipa transmisi gas, yaitu persamaan kontinuitas, persamaan momentum, dan persamaan keadaan gas [1]. Asumsi-asumsi yang biasanya dibuat adalah aliran *isothermal*, berlaku faktor gesekan kondisi *steady*, dan tidak terjadi ekspansi atau kontraksi pipa pada kondisi tersebut.

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 horizontal dengan distribusi temperatur seragam sepanjang pipa adalah :

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

Persamaan keadaan gas alam 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 horizontal sebagai berikut :

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

dengan :

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

2.1. Kondisi Awal

Untuk menyelesaikan persamaan (5) diperlukan data masukan berupa data densitas gas ρ dan laju alir massa gas m ($m = \rho u$) sepanjang



pipa, yang dipengaruhi oleh perubahan kondisi pada inlet dan outlet pipa. Pada kondisi awal keadaan steady digunakan persamaan yang diusulkan oleh Zhou and Adewumi⁷¹ sebagai berikut :

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

dengan : ρ_0 = densitas gas di inlet dan ρ = 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^{1,4,5}. 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 :

$$\frac{1}{f_f} = -4 \log \left\{ \frac{\epsilon}{3.7065D} - \frac{5.0452}{N_{RE}} \log \left[\frac{1}{2.8257} \left(\frac{\epsilon}{D} \right)^{1.1098} + \frac{5.8506}{N_{RE}^{0.8931}} \right] \right\} \quad (10)$$

Sedangkan harga faktor kompresibilitas gas dihitung menggunakan metode Dranchuk, Purvis dan Robinson⁴.

2.2. 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 :^{2,4,7)}

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 :

$$m_{i+1}^n - m_i^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[\left(\frac{m_i^n}{\rho_i^n} + c^2 \rho_i^n \right) - \left(\frac{m_i^n}{\rho_i^n} + c^2 \rho_i^n \right) \right] - \frac{m_i^n |m_i^n|}{2D\rho_i^n} \Delta t \quad (11)$$

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 :

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

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 :

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

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 n_j masing-masing menunjukkan harga pada titik Odan n_j , yaitu di inlet dan outlet pipa.

2.3. Skema Numerik

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 $x = i\Delta x, t = (n+1)\Delta t$ didekati oleh u_i^{n+1} , yaitu : $u(i\Delta x, (n+1)\Delta t) = u_i^{n+1}$. Skema Godunov dapat dituliskan sebagai berikut :

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

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



Langkah pertama diberikan oleh persamaan (15), hasilnya adalah $\rho_{i \pm \frac{1}{2}}^{n+1}$ dan $m_{i \pm \frac{1}{2}}^{n+1}$, yaitu nilai ρ 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 ρ_i^{n+1} dan $m_i^{n+1}, i = 1 \dots (nj - 1)$. Sedangkan ρ_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 $n+1$. Pada umumnya skema eksplisit *conditionally stable* yaitu stabil jika diberikan syarat tertentu.

3. CONTOH KASUS

Untuk menganalisa perilaku tekanan dan laju alir gas pada pipa transmisi dengan kondisi *line packing*, berikut akan diberikan 3 contoh kasus menggunakan data hipotetik sebagai berikut :
Pipa transmisi dengan panjang 100 km, dengan kekasaran pipa = 0,0243 dialirkan gas alam dengan dengan *specific gravity* 0,675, dengan kondisi awal *steady-state* pada tekanan 1500 psia dan laju alir (*flow rate*) konstan sebesar 150 MMscf/D, pada temperatur 90° F. Pada $t > 0$ tekanan *inlet* dinaikkan perlahan-lahan sampai mencapai 2 kali kondisi awal sementara laju alir di *outlet* dijaga konstan seperti kondisi awal. Dalam hal ini proses *line packing* mulai berlangsung. Pada kasus pertama digunakan pipa dengan ID = 15", kasus ke dua digunakan pipa dengan ID = 17" dan kasus ke tiga digunakan pipa dengan ID = 23". Hasil *running* program dengan menggunakan matlab dapat dilihat pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 10.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada gambar 1 adalah syarat batas yang dikenakan dalam kasus ini. Terlihat bahwa tekanan sebesar 1500 psia di inlet dinaikkan perlahan lahan sampai mencapai 3000 psia (2 kali tekanan semula). Waktu yang dibutuhkan adalah sekitar 4 menit, mulai saat itu tekanan dipertahankan konstan.

Pada Gambar 2 dan 3 diperlihatkan perilaku tekanan gas terhadap waktu pada pipa berdiameter 15", 17" dan 23 ". Pengamatan dilakukan pada tengah-tengah pipa (*mid point*) dan di ujung pipa (*outlet*). Pada saat $t = 0$ pengamatan di *mid point* berturut-turut harga tekanan untuk pipa dengan diameter 15", 17" dan 23" adalah 1200 psia, 1365 psia dan 1475 psia. Sedangkan pada titik pengamatan di *out let* pada saat $t = 0$ harga tekanan berturut-turut

untuk pipa berdiameter 15", 17" dan 23 adalah 600 psia, 1235 psia dan 1450 psia. Baik di *mid point* maupun di *out let* tekanan berangsur angsur naik sampai batas tertentu, untuk kemudian setelah mencapai waktu maksimalnya akan cenderung untuk *steady*. Hal ini dimungkinkan laju alir di *out let* dijaga konstan.

Pada Gambar 4 dan 5 diperlihatkan perilaku laju alir gas terhadap waktu pada pipa berdiameter 15", 17" dan 23". Pengamatan dilakukan di inlet dan *mid point*. Seiring dengan proses *line packing* dengan menaikkan tekanan secara perlahan-lahan pada $t > 0$ harga laju alir gas di inlet mula-mula tinggi (3500 MMscf/D), kemudian berangsur-angsur turun hingga mencapai 150 MMscf/D di *out let*nya. Sedangkan harga laju alir gas di *mid point* pada $t = 0$ masih 150 MMscf/D, seiring dengan bertambahnya waktu harganya naik sampai batas tertentu kemudian turun menjadi 150 MMscf/D di *outlet*nya.

Pada Gambar 6, 7 dan 8 diperlihatkan distribusi tekanan gas terhadap jarak pada saat $t = 0, t = 1$ jam dan $t = 5$ jam. Pada ketiga harga diameter terlihat bahwa penurunan tekanan terjadi secara linier. Pada $t = 0$, pipa dengan diameter 15" tekanan turun dari 1500 psia di inlet menjadi 800 psia di outlet. Pada pipa dengan diameter 17" tekanan turun dari 1500 psia menjadi 1200 psia dan pada pipa dengan diameter 23" tekanan turun dari 1500 psia menjadi 1450 psia. Pada saat $t = 1$ jam dan $t = 5$ jam proses *line packing* sudah berjalan, tekanan di inlet menjadi 3000 psia, lalu karena menempuh jarak sepanjang 100 km terjadi penurunan tekanan. Di sini terlihat bahwa semakin besar harga diameter pipa kehilangan tekanan di sepanjang pipa semakin kecil.

Pada Gambar 9 dan 10 diperlihatkan distribusi laju alir terhadap jarak pada saat $t = 1$ jam dan $t = 5$ jam. Harga laju alir gas di inlet pada saat $t = 1$ jam masing-masing untuk pipa dengan diameter 15" = 450 MMscf/D, pipa dengan diameter 17" = 600 MMscf/D dan pipa dengan diameter 23" = 1150 MMscf/D lalu mengalami penurunan menuju 150 MMscf/D di *outlet*nya. Sedangkan pada saat $t = 5$ jam, laju alir di inlet sudah mengalami penurunan secara signifikan yang akhirnya akan menjadi 150 MMscf/D di *outlet*nya. Yang menarik di sini adalah pada pipa dengan diameter 23" terlihat bahwa harga laju alir di inlet maupun di *out let* hampir sama. Berarti pada saat itu keadaan *steady* telah terjadi.



5. KESIMPULAN

Dari hasil analisa dan pembahasan beberapa contoh kasus di atas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kehilangan tekanan yang terjadi di sepanjang pipa pada kondisi *line packing* dipengaruhi oleh harga diameternya. Semakin besar harga diameter pipa semakin kecil kehilangan tekanan di sepanjang pipa. Proses *line packing* tidak merubah *trend* distribusi tekanan tetapi meningkatkan harga tekanan.
2. Semakin besar harga diameter pipa, semakin besar pula waktu yang dibutuhkan untuk proses *line packing*. Proses *line packing* berpengaruh pada *trend* distribusi laju alir gas yang semakin linier pada harga diameter yang semakin besar.

Daftar Istilah

c	= kecepatan suara, LT
D	= diameter dalam pipa, L
f_g	= faktor gesekan gas
g	= percepatan gravitasi, LT^2
L	= panjang total pipa, L
m	= laju alir massa, M/L^2T
m_0	= laju alir massa di inlet, M/L^2T
p	= tekanan, M/LT^2
T	= temperatur absolut gas
t	= waktu, T
v	= kecepatan gas, LT
x	= jarak, L
μ	= viskositas gas, M/LT
ρ	= densitas gas, M/L^3
ρ_0	= densitas gas di inlet, M/L^3
ε	= kekasaran pipa, L
ΔL	= jarak antar titik, L
Δx	= uniform grid size, L
Δt	= uniform time step, T

Subskrip : g = gas
 = kondisi di inlet.

$i-1, i, i+1$ = titik-titik ke $(i-1), i,$ dan $(i+1)$ pada pipa

Superskrip

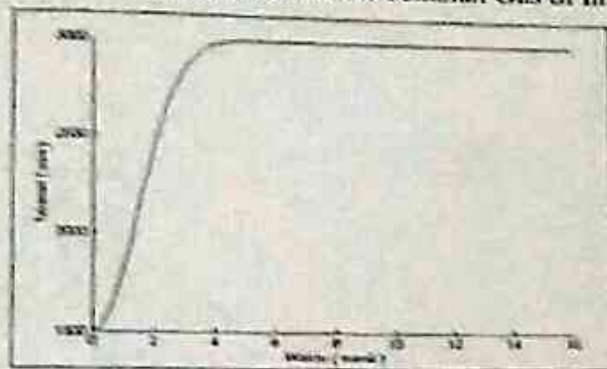
$n, n+1$ = tingkatan waktu ke $n, n+1$

DAFTAR PUSTAKA

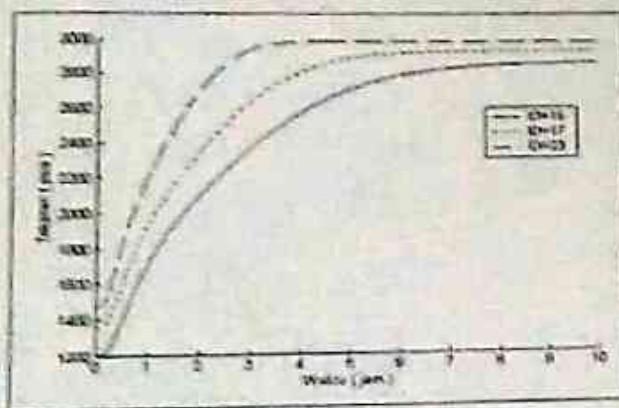
1. Harry Budiharjo S, 2003, "Pemodelan Aliran Gas Transient Untuk Kasus Line Packing Pada Jaringan Transmisi Pipa", Proposal Penelitian Program Doktor, Program Pascasarjana, ITB,.
2. Harry Budiharjo S., Leksono Mucharam, Septorotno Siregar, Edy Soewono, 2004, "Analisa Perilaku Tekanan dan Laju Alir Gas Pada Pipa Transmisi untuk Kasus Line Packing", Conference Proceeding Indonesian Pipeline Technology 2004. hal..20 : 1-16, Bandung.
3. Hoffman, Joe. D., 1993, "Numerical Methods for Engineers and Scientist", Mc.Graw-Hill International Editions, Printed in Singapore..
4. Ikoku, Chi.U., 16-18 October 2002, "Natural Gas Production Engineering", John Wiley & Sons Inc., Canada, 1984.
5. Leksono Mucharam : "Fundamental Aspect Fluid Flow in Pipe", Lecture notes Workshop on Gas, Oil and Geothermal Pipe Flow Simulation, ITB,.
6. Wylic, E.B., and Streeter, V.L., : "Fluid Transient", Copyright @ 1988 Mc.Graw-Hill Inc., New York.
7. Zhou, J., and Adewumi, M.A., 1995, "Simulation of Transient in Natural Pipeline", paper SPE #31024,.



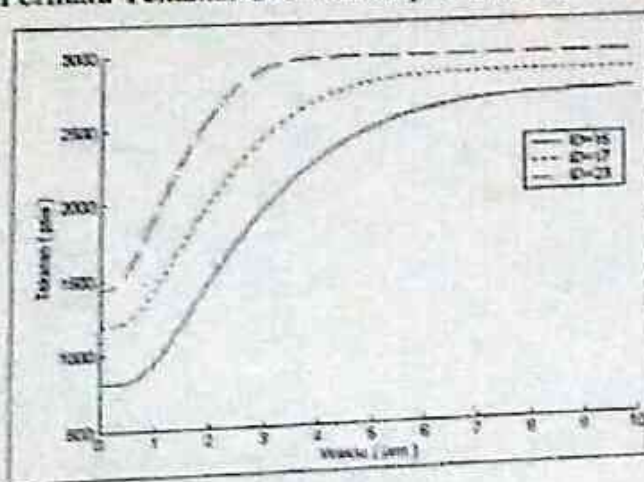
Gambar 1 : Syarat Batas untuk Tekanan Gas di Inlet



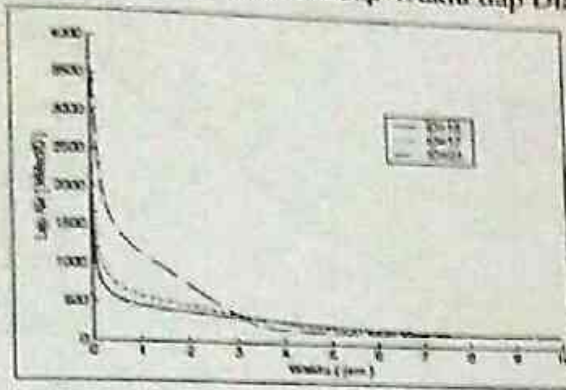
Gambar 2 : Perilaku Tekanan Gas Terhadap Waktu tiap Diameter di Midpoint



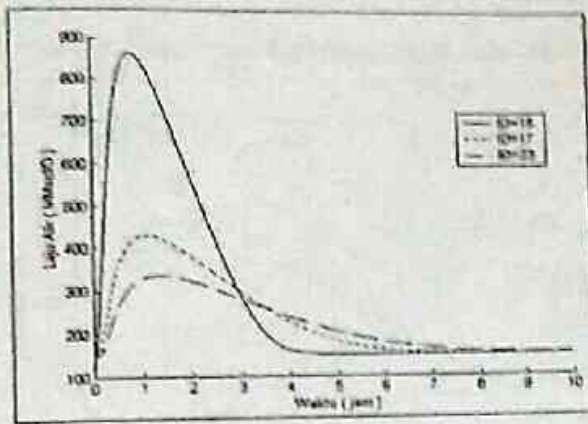
Gambar 3 : Perilaku Tekanan Gas Terhadap Waktu tiap Diameter di Outlet



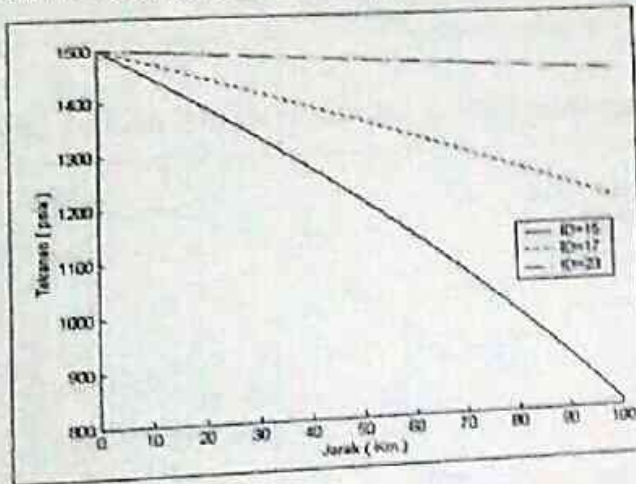
Gambar 4 : Perilaku Laju Alir Gas Terhadap Waktu tiap Diameter di Inlet



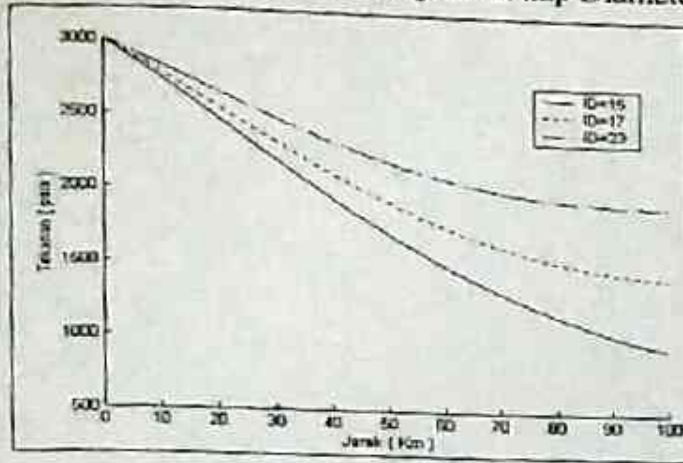
Gambar 5 : Perilaku Laju Alir Gas Terhadap Waktu tiap Diameter di Midpoint



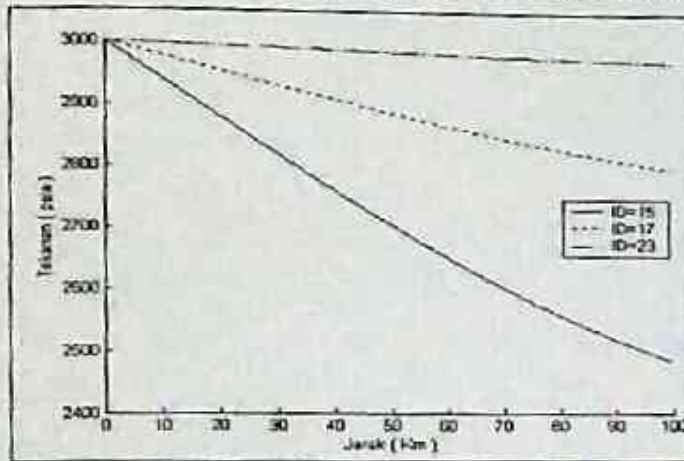
Gambar 6 : Distribusi Tekanan Gas Terhadap Jarak tiap Diameter saat awal, $t = 0$.



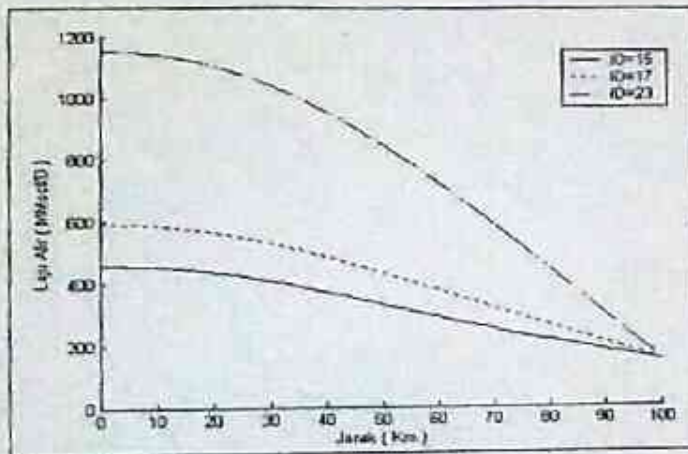
Gambar 7 : Distribusi Tekanan Gas Terhadap Jarak tiap Diameter saat $t = 1$ jam



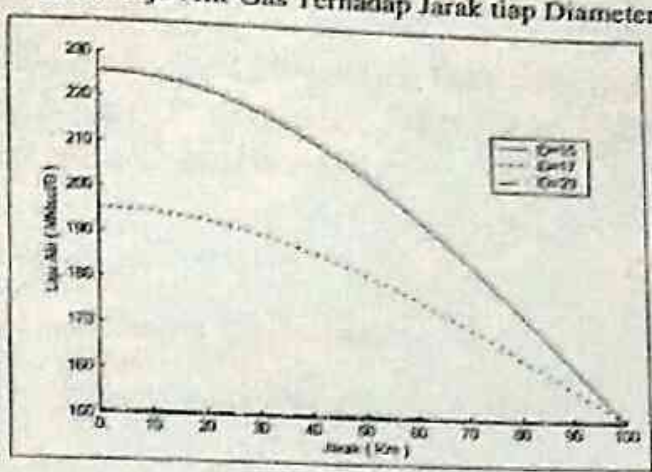
Gambar 8 : Distribusi Tekanan Gas Terhadap Jarak tiap Diameter saat $t = 5$ jam



Gambar 9 : Distribusi Laju Alir Gas Terhadap Jarak tiap Diameter saat $t = 1$ jam



Gambar 10 : Distribusi Laju Alir Gas Terhadap Jarak tiap Diameter saat $t = 5$ jam



- hbs-