

**RANCANG BANGUN SIMULATOR FISIK
FASILITAS *PIGGING*
SERTA PEMODELAN DAN PENGUJIAN
KARAKTERISTIK *FOAM PIG***



**Tesis
untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S2**

Magister Teknik Kimia

**Nurchahyo
L4C008018**

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK KIMIA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2011**

TESIS

**RANCANG BANGUN SIMULATOR FISIK FASILITAS *PIGGING*
SERTA PEMODELAN DAN PENGUJIAN
KARAKTERISTIK *FOAM PIG***

disusun oleh

**Nurchahyo
L4C008018**

telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal 22 Maret 2011
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Menyetujui,

Pembimbing 1

Pembimbing 2

**Dr. Siswo Sumardiono, ST, MT
NIP. 19750915 200012 1 001**

**Dr. Istadi, ST, MT
NIP. 19710301 199702 1 001**

**Ketua Program Studi
Magister Teknik Kimia**

Ketua Tim Penguji

**Prof. Dr. Ir. Bambang Pramudono, M.S.
NIP 19520312 197501 1 004**

**DR. Ir. Setia Budi Sasongko, DEA
NIP. 19611226 198803 1 001**

**Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik**

**Ir. Bambang Pujianto, M.T.
NIP 19521205 198503 1 001**

Pernyataan

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan di dalamnya tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan lembaga pendidikan lainnya. Pengetahuan yang diperoleh dari hasil penerbitan maupun yang belum/tidak diterbitkan, sumbernya dijelaskan di dalam tulisan dan daftar pustaka.

Semarang, Maret 2011

Nurchahyo
NIM : L4C008018

RANCANG BANGUN SIMULATOR FISIK FASILITAS *PIGGING* SERTA PEMODELAN DAN PENGUJIAN KARAKTERISTIK *FOAM PIG*

Nurchahyo
Magister Teknik Kimia Universitas Diponegoro
Kampus Tembalang Semarang 50239

Abstrak

Proses pengolahan yang melibatkan fluida dalam industri kimia banyak melibatkan sistem perpipaan jarak panjang. Pada saat fluida mengalir, sering ditemui masalah berupa hambatan aliran yang berasal dari endapan padat, bekuan cairan berbentuk lilin, kondensat dalam aliran gas, serta gelembung dalam aliran cairan. Cara mengatasi masalah tersebut adalah dengan memasukkan benda padat yang dinamakan *pig* dan tindakan ini disebut *pigging*. Ada perbagai macam *pig*, salah satu diantaranya yang banyak dipakai adalah jenis *foam pig*. Gerak *foam pig* selama proses *pigging* belum banyak diamati. Untuk dapat melihat gerak *pig* dalam pipa ketika sedang melakukan tugasnya, dibuat rangkaian simulator untuk proses *pigging* berskala pilot. Dalam simulator ini udara dipakai fluida penggerak, sedangkan air digunakan untuk mensimulasikan masalah yang timbul dalam aliran gas melalui pipa. Gerak *pig* ketika meluncur dapat dimodelkan menjadi $X = 0,64 \cdot v_o \cdot t$. Selanjutnya kinerja *foam pig*, dengan tolok ukur fraksi air yang dibersihkan dapat dimodelkan sebagai:

$$K = 0,75 v_o^{-0,09} + 0,05 Z^{0,4} + 0,46 d^{0,5} - 0,91 A^{0,18} \text{ atau dalam bentuk tak berdimensi:}$$

$$K = 0,415 \cdot v_{rel}^{-0,18} + 0,09 \cdot Z_{rel}^{0,116} + 0,445 \cdot A^{-0,091}$$

sedang dengan tolok ukur kecepatan *pig* menyelesaikan jalannya dimodelkan sebagai:

$$v_{pig} = 2,05 + 0,64 v_o + 0,0038 Z - 0,78 d + 1,65 A. \text{ atau dalam bentuk tak berdimensi:}$$

$$v_{rel} = -0,20 + 5,82 \cdot Z_{rel} - 1,77 \cdot d_{os} + 0,75 \cdot A$$

Sesuai dengan bahan dan alat yang dipakai, model diatas berlaku untuk menggambarkan karakteristik *foam pig* yang beraksi dengan dorongan udara dalam pipa akrilik berdiameter 2 inci yang dikotori oleh air.

Lambang yang dipakai : X adalah jarak (meter), t waktu (detik), v_o kecepatan udara (m/det), K fraksi air yang dibersihkan (gr air hilang/gr air awal), Z massa air yang ditambahkan sebagai pengotor (gram), d diameter *pig* (cm), A daya serap *foam pig* terhadap air (gr air/gram *foam pig*). Selanjutnya $v_{rel} = v_{pig}/v_o$, $Z_{rel} = (\text{volume air dalam pipa})/\text{volume pipa sampling}$, $d_{os} = (d - d_{pipa})/d_{pipa}$ dengan d_{pipa} adalah diameter dinding dalam pipa (cm)

Kata kunci : *pig, pigging, foam pig, pig launcher, pipa.*

DESIGN AND MANUFACTURING OF PHISICAL PIGGING SIMULATOR FACILITIES FOLLOWED WITH MODELING AND CHARACTER EXAMINATIONS OF FOAM PIGS

Nurchahyo

Master Graduate of Chemical Engineering Department, Diponegoro University
Tembalang Campus-Semarang 50239

Abstract

Long distance pipelines are widely applied in the industrial chemical processings. When the fluid flows, they are some some obstruction that could be met, in the form of debris, wax, slug, and bubble. A kind of solid called pig is applied to solve this problem, and the action to run the pig is called pigging.

They are many kind of pig, and one of them is foam pig. The pigging process is not frequently examined. To know the dynamics of pigging, a series of pigging simulator were built in pilot plant scale. In this simulator, compressed air was used as propellant and domestic water was used as pollutant. The model to explain the motion of pig along pipe line was arrange as $X = 0,64.v_o.t$. Furthermore, the performance of *foam pig* as water removal was formulated as:

$$K = 0,75v_o^{-0,09} + 0,05Z^{0,4} + 0,46d^{0,5} - 0,91A^{0,18} \text{ and in dimensionless form become:}$$

$$K = 0,415.v_{rel}^{-0,18} + 0,09.Z_{rel}^{0,116} + 0,445.A^{-0,091}$$

while as the pig velocity could be formulated as:

$$v_{pig} = 2,05 + 0,64 v_o + 0,0038Z - 0,78d + 1,65A \text{ and in dimensionless form become:}$$

$$v_{rel} = -0,20 + 5,82.Z_{rel} - 1,77.d_{os} + 0,75.A.$$

According to the materials and equipments were used, these models are valid to describe the acts of foam pigs when move along 2" acrylic pipeline, pushed by air, while the water acts as slug.

Nomenclature : X as distance (meter), t time (second), v_o initial velocity of air (m/s), K fraction of water removed (gr water removed/gr initial water), Z mass of water as pollutant (gram), d pig diameter (cm), and A as foam absorptivity (gr water/gram foam pig). Whereas $v_{rel} = v_{pig}/v_o$, $Z_{rel} = (\text{volume of water in pipe})/\text{volume of sampling pipe}$, $d_{os} = (d - d_{pipe})/d_{pipe}$ with d_{pipe} is pipeline inside diameter (cm)

Keywords : *pig, pigging, foam pig, pig launcher, pipeline.*

Kata Pengantar

Atas pengalaman penulis dalam membantu industri minyak dan gas, ternyata diketahui bahwa masalah pembersihan bagian dalam jalur pipa menjadi hal serius yang harus dihadapi oleh para pelaku transportasi minyak dan gas melalui sistem perpipaan. Banyak tenaga terampil yang dibutuhkan oleh mereka, tetapi ternyata tidak ada satupun pendidikan tinggi di Indonesia yang dapat membekali mahasiswanya dengan keterampilan untuk melakukan tindakan yang merupakan salah satu bagian dari perawatan sistem perpipaan ini.

Bermodal informasi yang diperoleh selama beraktifitas di lapangan serta didasari oleh keinginan untuk memberi bekal kepada Mahasiswa agar mempunyai keterampilan yang unggul, maka disusunlah kegiatan untuk membangun simulator *pipeline pigging* sebagai tugas akhir yang dikerjakan oleh empat kelompok Mahasiswa. Peralatan yang digunakan dalam tesis ini dapat terbangun atas peran serta Mahasiswa peserta tugas akhir di Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Bandung. Untuk itu dalam kesempatan ini disampaikan terimakasih sebesar-besarnya kepada : Muhammad Rockefeller Wendi Putra, Rima Rachmawati, M. Sergap Jaswan, Chepy Irmansyah, Chairul Rizki Fitriadi, Getsha Nagista, CB Adi Nugroho, dan Hasnan Akromy.

Peralatan yang sudah dibuat ternyata dapat dikembangkan untuk memperdalam pengetahuan proses *pigging* lebih lanjut, dengan percobaan atas berbagai variabel yang mempengaruhinya. Bentuknya yang sesuai ukuran *pilot plant* membuat peralatan ini mudah dioperasikan. Bahan yang dipakai untuk melakukan penelitian sangatlah sederhana dan murah, tetapi informasi yang didapatkan cukup banyak.

Semoga karya ini dapat diaplikasikan lebih lanjut untuk membantu Mahasiswa memahami proses yang berlangsung, dan kelak dapat dikembangkan di dunia industri.

Semarang, Maret 2011

Penulis

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Masalah dalam Sistem Perpipaan	7
2.2 <i>Pig</i> dan <i>pigging</i>	8
2.3 Jenis-jenis <i>pig</i>	10
2.4 Alat Peluncur dan Penerima <i>Pig</i>	12
2.5 <i>Foam Pig</i>	15
2.5.1 Ciri Umum <i>Foam Pig</i>	15
2.5.2 Sejarah <i>Foam Pig</i>	15
2.5.3 Desain <i>Foam Pig</i>	16
2.5.4 Kelebihan <i>Foam Pig</i>	17
2.6 Karakteristik <i>Pig</i> dalam Menjalankan <i>pigging</i>	19
2.6.1 Kebocoran dan Penumpukan Cairan di Sekitar <i>Pig</i>	19
2.6.2 Kecepatan <i>Pig</i> Berjalan	22
2.6.3 Kemampuan <i>Foam</i> Menyerap Cairan	25
BAB III METODE PENELITIAN	26
3.1 Tahap Perancangan Alat Simulasi	27
3.1.1 Tahap perancangan <i>pig launcher</i>	28
3.1.2 Tahap perancangan segmen pipa lurus	31
3.1.3 Tahap perancangan pipa belok	33
3.1.4 Tahap perancangan <i>pig receiver</i>	34
3.2 Tahap Pembuatan dan Perangkaian Alat	35
3.3 Tahap Penyusunan Prosedur Pengamatan	37
3.3.1 Prosedur pengamatan dinamika <i>foam pig</i>	39
3.3.2 Prosedur pengamatan kinerja <i>foam pig</i>	41
3.3.2.1 Prosedur pengamatan pengaruh kecepatan awal udara	45
3.3.2.2 Prosedur pengamatan pengaruh kadar air bagian dalam pipa	46
3.3.2.3 Prosedur pengamatan pengaruh ukuran <i>pig</i>	46
3.3.2.4 Prosedur pengamatan pengaruh daya serap busa	47

3.4	Pemodelan Karakteristik <i>Foam Pig</i> pada Saat <i>Pigging</i>	47
3.4.1	Pemodelan Gerak <i>Foam Pig</i>	49
3.4.2	Pemodelan Pengaruh Beberapa Variabel terhadap Kinerja <i>Pig</i>	50
3.5	Alat dan Bahan Percobaan	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		51
4.1	Dinamika <i>Foam Pig</i>	51
4.2	Kinerja <i>Foam Pig</i>	53
4.2.1	Pengaruh Massa Air Awal terhadap Fraksi Air yang Dibersihkan	53
4.2.2	Pengaruh Kecepatan Awal Udara terhadap Fraksi Air yang Dibersihkan	55
4.2.3	Pengaruh Diameter <i>Pig</i> terhadap Fraksi Air yang Dibersihkan	58
4.2.4	Pengaruh Daya Serap <i>Foam Pig</i> terhadap Fraksi Air yang Dibersihkan	59
4.2.5	Pengaruh Massa Air Awal terhadap Kecepatan <i>Pig</i>	60
4.2.6	Pengaruh Kecepatan Awal Udara terhadap Kecepatan <i>Pig</i>	61
4.2.7	Pengaruh Diameter <i>Pig</i> terhadap Kecepatan <i>Pig</i>	62
4.2.8	Pengaruh Daya Serap <i>Foam Pig</i> terhadap Kecepatan <i>Pig</i>	63
4.3	Pemodelan Dinamika dan Kinerja <i>Foam Pig</i>	65
4.3.1	Pemodelan Gerak <i>Foam Pig</i>	65
4.3.2	Pemodelan Kemampuan <i>Foam Pig</i> Menghilangkan Air	65
4.3.3	Pemodelan Kecepatan <i>Foam Pig</i> Menempuh Jalur Pipa	67
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		68
5.1	Kesimpulan	68
5.1	Saran	69
DAFTAR PUSTAKA		70
RINGKASAN		72
LAMPIRAN		73

DAFTAR TABEL

2.1 Ketentuan belokan pipa yang dapat dilewati pig	9
3.1 Ukuran <i>Pig Launcher</i> Hasil Proyeksi	28

DAFTAR GAMBAR

2.1 Gambaran kondisi pengaliran gas dengan pembentukan slug	7
2.2 Pig pada saat bekerja	8
2.3 Bentuk dasar <i>pig</i>	11
2.4 <i>Pig launcher</i>	12
2.5 Sistem perpipaan di sekitar <i>pig launcher</i>	13
2.6 <i>Pig signaller</i>	13
2.7 Pembagian zona cairan di sekitar <i>pig</i>	20
2.8. Pengaruh kecepatan <i>pig</i> terhadap besarnya zona cairan	20
2.9 Hubungan antara cairan yang dapat dihilangkan dengan besarnya <i>pig</i>	21
2.10 Gaya yang berperan dalam gerakan <i>pig</i>	22
2.11 Gambaran penurunan tekanan karena perubahan kecepatan	23
2.12 Kecepatan <i>pig</i> sepanjang waktu saat melewati jalur pipa gas	24
2.13 Dinamika <i>pig</i> menurut <i>Pipeline Research Limited</i>	24
2.14 Berkurangnya massa cairan karena penyerapan oleh <i>foam</i>	25
3.1 Rancangan awal rangkaian sistem perpipaan lengkap	27
3.2 Standar ANSI untuk <i>pig Launcher</i>	29
3.3 Skematik <i>Pig Launcher</i>	30
3.4 Rancangan dua dimensi pipa dan <i>flange</i>	32
3.5 Pipa Lurus dengan <i>Ball Valve</i>	32
3.6 Pipa lurus dengan <i>flange</i> serta pipa lurus dengan <i>union</i>	32
3.7 <i>Elbow 45°</i> , <i>Elbow 90°</i> dan <i>U turn</i>	33
3.8 Rangkaian Sistem Perpipaan Belok	33
3.9 <i>Pig Support</i> dalam <i>Pig Receiver</i>	34
3.10 Desain Tiga Dimensi <i>Pig Receiver</i>	34
3.11 Hasil pembuatan <i>pig launcher</i> beserta rangkaian perlengkapannya	35
3.12 Hasil perangkaian simulator fasilitas <i>pigging</i>	36
3.13 Skema pengatur aliran udara	37
3.13 Rancangan dasar alat pemantau gerak <i>pig</i>	40

3.14 Ruas pipa sampel yang diberi segmen untuk memantau gerak <i>pig</i>	40
3.15 Perlakuan bagian pipa yang digunakan untuk mengamati kinerja <i>foam pig</i>	43
3.16 Kondisi cairan yang terbentuk pada saat terjadi kondensasi	44
3.17 Gaya yang bekerja pada saat <i>foam pig</i> bergerak	48
4.1. Perkembangan jarak tempuh terhadap waktu	52
4.2. Pengaluran gradien kurva jarak tempuh vs waktu tempuh	53
4.3. Pengaruh massa air awal terhadap fraksi air yang dibersihkan	54
4.4. Bintik-bintik air yang terbentuk di dinding pipa sampel	55
4.5. Pengaruh kecepatan awal udara terhadap fraksi air yang dibersihkan	56
4.6. Pengaruh kecepatan awal udara terhadap mekanisme pembersihan air	57
4.7. Pengaruh diameter pig terhadap fraksi air yang dibersihkan	58
4.8. Pengaruh daya serap air oleh <i>pig</i> terhadap fraksi air yang dibersihkan	59
4.9. Pengaruh massa air awal terhadap kecepatan pig	61
4.10. Pengaruh kecepatan awal udara terhadap kecepatan pig	62
4.11. Pengaruh diameter pig terhadap kecepatan pig	62
4.12. Pengaruh daya serap air terhadap kecepatan pig	63
4.13. Perbandingan aluran grafik model dengan hasil percobaan pada K	66
4.14. Perbandingan aluran grafik model dengan hasil percobaan pada v	67