



SKRIPSI - ME 141501

***ANALISA KARAKTERISTIK ALIRAN KEBOCORAN MINYAK
PADA PIPA MINYAK BAWAH LAUT***

Abdul Ghofur Ragil Insani
NRP 4212 100 014

Dosen Pembimbing :

- 1. Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng., Ph.D.**
- 2. Ir. Hari Prastowo, M.Sc.**

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



SKRIPSI - ME 141501

***ANALISA KARAKTERISTIK ALIRAN KEBOCORAN MINYAK
PADA PIPA MINYAK BAWAH LAUT***

Abdul Ghofur Ragil Insani
NRP 4212 100 014

Dosen Pembimbing :

- 1. Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng., Ph.D.**
- 2. Ir. Hari Prastowo, M.Sc**

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016**



FINAL PROJECT - ME 141501

***ANALYSIS OF OIL LEAKAGE FLOW CHARACTERISTIC ON
SUBSEA PIPELINE***

**Abdul Ghofur Ragil Insani
NRP 4212 100 014**

Dosen Pembimbing :

- 1. Sutopo Purwono Fitri, S.T., M.Eng., Ph.D.**
- 2. Ir. Hari Prastowo, M.Sc**

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA KARAKTERISTIK ALIRAN KEBOCORAN MINYAK PADA PIPA MINYAK BAWAH LAUT

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

pada

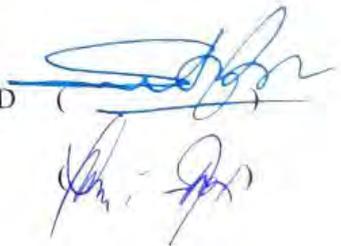
Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Abdul Ghofur Ragil Insani
NRP : 4212 100 014

Disetujui oleh Pembimbing Skripsi :

1. Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D
NIP. 1975 1006 2002 12 1003
2. Ir. Hari Prastowo, M.Sc
NIP. 1965 1030 1991 02 1001



SURABAYA
JULI 2016

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA KARAKTERISTIK ALIRAN KEBOCORAN MINYAK PADA PIPA MINYAK BAWAH LAUT

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

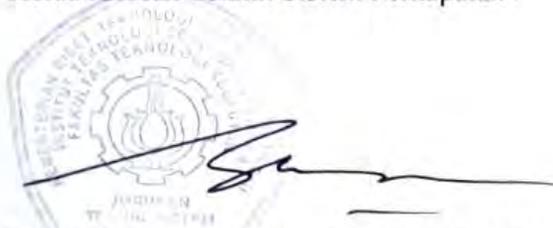
Oleh :

Abdul Ghofur Ragil Insani

NRP : 4212 100 014

Disetujui oleh

Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng Muhammad Badrus Zaman, S.T., M.T.

NIP. 1977 0802 2008 01 1007

ANALISA KARAKTERISTIK ALIRAN KEBOCORAN MINYAK PADA PIPA MINYAK BAWAH LAUT

Nama Mahasiswa : Abdul Ghofur Ragil Insani
NRP : 4212 100 014
DosenPembimbing 1 : Sutopo Purwono Fitri, ST, M.Eng, Ph.D
DosenPembimbing 2 : Ir. Hari Prastowo, M.Sc

ABSTRAK

Penggunaan pipabawah laut (subsea pipeline) dalam industri minyak dan gas bumi lepas pantai merupakan salah satu alternatif mode transportasi untuk memindahkan produk penambangan. Dengan menggunakan pipa sebagai sarana untuk menyalurkan atau memindahkan fluida (minyak) merupakan pilihan yang tepat dan efisien. Namun saat terjadi kegagalan pada sistem perpipaan seperti kebocoran akan mengganggu proses dari penyaluran fluida (minyak) itu sendiri. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran kebocoran minyak pada pipa minyak bawah laut dengan menganalisa hasil video atau gambar. Pada simulasi ini menggunakan minyak crude oil, sistem perpipaan menggunakan pipa pvc dan bertempat di Laboratory of Marine Machinery Fluid dengan menggunakan flow channel . Crude oil memiliki sifat penyebaran dan pergerakan yang lambat pada saat terjadi kebocoran dengan tekanan rendah dan berbentuk gelembung – gelembung kecil, namun akan menyebar dengan cepat pada saat terjadi kebocoran dengan tekanan yang tinggi dan bentuk tidak bergelembung. Hasil tersebut terlihat saat hasil video atau gambar dilakukan proses sketsa.

Kata kunci: Kebocoran minyak; crude oil; flow channel; sketsa

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALYSIS OF OIL LEAKAGE FLOW CHARACTERISTIC ON SUBSEA PIPELINE

Student Name : Abdul Ghofur Ragil Insani
NRP : 4212 100 014
Advisor 1 : Sutopo Purwono Fitri, ST, M.Eng, Ph.D
Advisor 2 : Ir. Hari Prastowo. M.Sc.

ABSTRACT

The use of subsea pipelines (subsea pipeline) in the oil and gas industry offshore is one alternative mode of transportation to mining products. By using the pipeline as a means to distribute or transfer fluid (oil) is the right choice and efficient. But when there is a failure in piping systems such as leakage would interfere with the process of channeling fluid (oil) itself. This simulation aims to determine the analysis of oil leakage flow characteristic on subsea pipeline by analyzing the results of video or images. In this simulation using crude oil, piping systems using pvc pipe and housed in the Laboratory of Marine Machinery Fluid using a flow channel. Crude oil has properties that slow the spread and movement in the event of leakage with low pressure and a bubble-shaped - small bubbles, but will spread quickly in the event of a leak at high pressure and not bubbly shape. Results are visible when the video or pictures do the sketch

Keywords: *oil leakage; crude oil; flow channel; sketch*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang selalu melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sampai penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul “Analisa Karakteristik Aliran Kebocoran Minyak Pada Pipa Minyak Bawah Laut”. Skripsi ini diajukan sebagai salah satu persyaratan kelulusan program sarjana strata 1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis telah mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan rasa terimakasih kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan nikmat sehat jasmani dan rohani kepada penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan penulisan skripsi.
2. Orangtua penulis, Alm. Bapak Asmuni dan Almh. Ibu Nur Chotim yang sudah mendidik penulis semasa hidupnya sehingga menjadi motivasi tersendiri bagi penulis.
3. Keluarga besar penulis, Mbak Anik, Mbak Hanifa, Mas Ahmad, Mbak Masnia, Mas Imam, Mas Ismail dan Pak De Samsul yang sudah member motivasi dan semangat serta dukungan biaya selama perkuliahan dan pengerjaan skripsi dan kuliah.
4. Bidik Misi yang sudah membiayai perkuliahan dan tambahan biaya hidup selama masa perkuliahan.
5. Bapak Bapak Sutopo Purwono Fitri, ST, M.Eng, Ph.D dan Ir. Hari Prastowo selaku dosen pembimbing yang memberi ilmu dan mengarahkan skripsi.

6. Bapak Ir. Amiadji.M.Sc selaku DosenWali yang senantiasa memberikan nasihat dan semangat dan membimbing penulis sampai akhir semester ini.
7. Seluruh bapak dan ibu dosen yang telah mengajarkan dan membimbing ilmu selama penulis menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.
8. Keluarga besar Bapak Hasan dan Ibu Purnama serta putrinya Desi Rahmawati yang memberikan dukungan moral dan senantiasa memberikan do'a.
9. Teman-teman yang membantu, yaitu Misbahul Munir, Dioba Dillianto, Dhaifina Suci Soraya, Faris Rahmadian dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Seluruh teman-teman yang mengambil skripsi di Laboratorium *Marine Machinery and System*, serta rekan-rekan satu angkatan BISMARCK'12 yang selalu memberi dukungan kepada penulis.
11. Seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, yang telah memberikan dukungan baik moral, biaya maupun yang lainnya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh Karen aitu saran sangat dibutuhkan untuk memperbaiki penyusunan skripsi ini. Akhir kata, semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca umumnya dan rekan-rekan mahasiswa khususnya.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
Abstrak	ix
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Subsea Pipeline.....	5
2.2 Arus Laut.....	9
2.3 Kebocoran Minyak.....	11
2.4 Jenis Fluida.....	13
2.4.1 Crude Oil.....	13
2.5 Pengertian Fluida dan Macamnya.....	14
2.6 Sifat – Sifat Fluida.....	15
2.7 Macam dan Aliran Fluida.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25

3.1 Alur Penelitian.....	25
3.2 Gambar Experimental Apparatus	28
3.2.1 Experimental Procedure.....	28
3.2.2 Draft Apparatus Penelitian.....	33
3.3 Pengujian Arus pada Flow Channel.....	40
3.4 Parameter – parameter percobaan.....	42
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Umum.....	43
4.2 Hasil Gambar atau Video.....	44
4.2.1 Apparatus Percobaan	44
4.2.2 Hasil Gambar dengan tanpa arus	48
4.2.3 Hasil Gambar dengan adanya Arus	57
4.3 Analisa Gambar atau Video.....	67
4.3.1 Analisa Hasil Gambar dengan tanpa Arus	67
4.3.2 Analisa Hasil Gambar dengan adanya Arus	75
4.4 Pengujian	86
4.4.1 Kecepatan pada titik Kebocoran	87
4.5 Bahan Analisa Komparasi	88
4.5.1 Jet Breakup	89
4.6 Analisa Skala dengan Hukum Similaritas	96
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	101
5.1 Kesimpulan.....	101
5.2 Saran.....	103
DAFTAR PUSTAKA.....	105
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Contoh analisa kebocoran minyak pada pipa bawah laut	12
Gambar 2.2 Perbandingan titik didih dan titik beku pada termometer	19
Gambar 2.3 Boundary Layer	23
Gambar 2.3 Reynold Number.....	24
Gambar 3.1 Alur Penelitian.....	25
Gambar 3.2 <i>Gambar Experimental Procedure</i>	28
Gambar 3.3 <i>Apparatus Penelitian Tampak Atas (Natural)</i>	34
Gambar 3.4 Spesifikasi Pompa.....	35
Gambar 3.5 <i>Apparatus</i> Penelitian Tampak Atas.....	37
Gambar 3.6 <i>Apparatus</i> Penelitian Tampak Samping	39
Gambar 3.7 <i>Apparatus</i> Penelitian Tampak Samping	39
Gambar 3.8 Pengukuran Arus pada <i>Flow Channel</i> dengan menggunakan <i>Current Meter</i>	40
Gambar 3.9 Pengukuran Arus pada <i>Flow Channel</i> dengan menggunakan <i>Current Meter</i>	41
Gambar 3.10 Pengukuran Arus pada <i>Flow Channel</i> dengan menggunakan <i>Current Meter</i>	41
Gambar 4.1 Sistem yang Akan Diuji	44
Gambar 4.2 Objek yang Akan Diamati	46
Gambar 4.3 Sistem yang Akan Diuji	47
Gambar 4.4 Sistem yang Akan Diuji	47
Gambar 4.5 Sistem yang Akan Diuji	48
Gambar 4.6 Kebocoran Minyak pada Saat Kondisi Natural	48
Gambar 4.7 Kebocoran Minyak pada Saat Kondisi Natural	49
Gambar 4.8 Kebocoran Minyak yang Pergerakannya Konstan	50
Gambar 4.9 Kebocoran Minyak pada saat Tekanannya 0.5 bar	51
Gambar 4.10 Kebocoran Minyak pada saat Tekanan 0.5 bar	52
Gambar 4.11 Kebocoran Minyak pada saat Tekanan 1 bar	52
Gambar 4.12 Kebocoran Minyak pada saat Tekanan 1 bar	53
Gambar 4.13 Kebocoran Minyak pada saat Tekanan 1 bar	54
Gambar 4.14 Kebocoran Minyak pada saat Tekanan 1.5 bar	55

Gambar 4.15 Kebocoran Minyak pada saat Tekanan 2 bar	55
Gambar 4.16 Kebocoran Minyak pada saat Tekanan 2 bar	56
Gambar 4.17 Kebocoran Minyak pada saat Kondisi Natural	57
Gambar 4.18 Kebocoran Minyak pada saat Kondisi Natural	58
Gambar 4.19 Kebocoran Minyak pada saat Kondisi Natural	59
Gambar 4.20 Kebocoran Minyak pada saat Kondisi Natural	59
Gambar 4.21 Kebocoran Minyak pada saat Tekanan 0.5 bar	60
Gambar 4.22 Kebocoran Minyak pada saat Kondisi Natural	61
Gambar 4.23 Kebocoran Minyak pada saat Kondisi Natural	61
Gambar 4.24 Kebocoran Minyak pada saat Tekanan 1 bar	62
Gambar 4.25 Kebocoran Minyak pada saat Tekanan 1 bar	63
Gambar 4.26 Kebocoran Minyak pada saat Tekanan 1 bar	63
Gambar 4.27 Kebocoran Minyak pada saat Tekanan 1.5 bar	64
Gambar 4.28 Kebocoran Minyak pada saat Tekanan 1.5 bar	65
Gambar 4.29 Kebocoran Minyak pada saat Tekanan 2 bar	66
Gambar 4.30 Sketsa Kebocoran Minyak pada saat Kondisi Natural	67
Gambar 4.31 Sketsa kebocoran minyak pada saat kondisi natural	68
Gambar 4.32 Sketsa kebocoran minyak yang pergerakannya konstan	69
Gambar 4.33 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 0.5 bar	69
Gambar 4.34 Kebocoran minyak pada saat tekanan 0.5 bar	70
Gambar 4.35 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 1 bar	71
Gambar 4.36 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 1 bar	72
Gambar 4.37 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 1.5 bar	72
Gambar 4.38 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 1.5 bar	73
Gambar 4.39 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 2 bar	74
Gambar 4.40 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 2 bar	75
Gambar 4.41 Sketsa kebocoran minyak pada saat kondisi natural	75

Gambar 4.42 Sketsa kebocoran minyak pada saat kondisi natural	76
Gambar 4.43 Sketsa kebocoran minyak pada saat kondisi natural	77
Gambar 4.44 Sketsa kebocoran minyak pada saat kondisi natural	78
Gambar 4.45 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 0.5 bar	78
Gambar 4.46 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 0.5 bar	80
Gambar 4.47 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 0.5 bar	80
Gambar 4.48 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 1 bar	81
Gambar 4.49 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 1 bar	82
Gambar 4.50 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 1 bar	82
Gambar 4.51 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 1.5 bar	83
Gambar 4.52 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 1.5 bar	84
Gambar 4.53 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 2 bar	85
Gambar 4.54 Grafik perbandingan antara P_1 dengan Q_1	87
Gambar 4.55 Grafik perbandingan antara Q dengan	88
Gambar 4.56 Percobaan	90
Gambar 4.57 Variasi panjang Jet Breakup dengan kecepatan	92
Gambar 4.58 Panjang <i>jet breakup</i> dan ukuran <i>droplet</i> dengan fungsi dari kecepatan untuk fluida (air).....	93
Gambar 4.59 Variasi panjang jet breakup pada kondisi pengujian	94

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Parameter – parameter percobaan	42
Tabel 4.1 Karakteristik fisik (<i>physical characterization</i>) crude oil	43
Tabel 4.2 Hasil pengujian sistem pada flow channel	86
Tabel 4.3 Hasil perhitungan kecepatan pada kebocoran	87
Tabel 4.4 Uji periksa dalam percobaan jet perpisahan	89
Tabel 4.5 Panjang jet breakup untuk empat jenis crude oil	94
Tabel 4.6 Parameter untuk similaritas	99

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan dan hasil analisa serta pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada kondisi tanpa arus kebocoran minyak yang terjadi tanpa adanya tekanan (natural) bentuk kebocorannya gelembung dan pergerakannya lambat. Penyebaran kebocoran minyak sempit (tidak luas). Namun pada saat ada arus, aliran kebocoran mulai berubah dan bentuk kebocorannya masih gelembung. Cara penanggulangannya yakni dibersihkan di bagian permukaan ketika kebocoran sudah sampai permukaan.
2. Kebocoran minyak yang terjadi setelah diberi tekanan 0.5 bar bentuk kebocorannya tidak bergelembung melainkan menyebar. Pada saat tekanan 0.5 bar, Q nya didapatkan 7.229 lt/menit dan sudut *valve* 55° . Kecepatan pada titik kebocorannya adalah 238.485 m/menit. Cara penanggulangannya yakni dengan cara incubator sehingga minyak yang keluar dari lubang kebocoran tidak menyebar lebih luas karena faktor arus ataupun yang lainnya.
3. Kebocoran minyak yang terjadi setelah diberi tekanan 1 bar bentuk kebocorannya tidak bergelembung melainkan menyebar. Pada saat tekanan 1 bar, Q nya didapatkan 5.714 lt/menit dan sudut *valve* 65° . Kecepatan pada titik kebocorannya adalah 270.642

- m/menit. Cara penanggulangannya yakni dengan cara incubator sehingga minyak yang keluar dari lubang kebocoran tidak menyebar lebih luas karena factor arus ataupun yang lainnya.
4. Kebocoran minyak yang terjadi setelah diberi tekanan 1.5 bar bentuk kebocorannya tidak bergelembung melainkan menyebar. Pada saat tekanan 1.5 bar, Q nya didapatkan 3.429 lt/menit dan sudut *valve* 70° . Kecepatan pada titik kebocorannya adalah 319.171 m/menit. Cara penanggulangannya yakni dengan cara incubator sehingga minyak yang keluar dari lubang kebocoran tidak menyebar lebih luas karena factor arus ataupun yang lainnya.
 5. Kebocoran minyak yang terjadi setelah diberi tekanan 2 bar bentuk kebocorannya tidak bergelembung melainkan menyebar. Pada saat tekanan 2 bar, Q nya didapatkan 0.383 lt/menit dan sudut *valve* 80° . Kecepatan pada titik kebocorannya adalah 383.833 m/menit. Cara penanggulangannya yakni dengan cara incubator sehingga minyak yang keluar dari lubang kebocoran tidak menyebar lebih luas karena factor arus ataupun yang lainnya.
 6. Adanya arus yang terjadi menimbulkan pergerakan kebocoran minyak lebih mudah menyebar
 7. Dari nilai Q_{actual} yang didapat dari perhitungan dengan menggunakan hukum similaritas, bisa dibandingkan dengan hasil percobaan yang dilakukan. Jika flow rate kebocoran pada pemodelan $0.68 \text{ m}^3/\text{jam}$ dan diameter lubang kebocoran 1 mm didapatkan pada actual yakni dengan diameter

kebocoran 17mm, didapatkan flow rate yakni $3.64\text{m}^3/\text{jam}$.

5.2 Saran

Untuk memperbaiki ataupun menyempurnakan penelitian selanjutnya, maka penulis memberikan beberapa saran sebagai pertimbangan antara lain :

1. Ada perbandingan dengan minyak yang lain agar hasil yang didapat lebih akurat
2. Penelitian menggunakan analisa numerik
3. Flow channel dibersihkan setiap selesai percobaan, dikarenakan agar percobaan berikutnya hasil gambar lebih jelas
4. Pengambilan video atau gambar lebih diperhatikan
5. Proses hasil gambar diperbaiki agar lebih jelas
6. Pengaturan posisi sistem pada flow channel lebih dipertimbangkan
7. Pengujian laboratorium untuk properties minyak yang akan diuji
8. Pengaturan tata pencahayaan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

Agbakwuru Ahamefula Jasper. Gudmestad Tobias Ove. Bilstad Torleiv, “*Experimental Study of Oil Pipeline Leak Processes*”, Journal of Environmental Protection, 2012, 3, 597-604

Allisy, A., *Proceedings of the International School of Physics “Enrico Fermi,” Course LXVIII*, (A.F. Milone & P. Giacomo, eds.), North-Holland, Amsterdam (1980).

En-Na Yang.Chang-Ming Fu.Chen Dong.Shen Qu. Ji-Feng Tian. Zhe-Feng Zhang, “*Failure Analysis of a Leaked Oil Pipeline*”, Shenyang National Laboratory for Material Science, Institute of Metal Research.

Gorenz Paul, Nicola Herzog, Christoph Egbers. 2013. *Investigation of CO₂ Release Pressure in Pipeline Cracks. Department of Aerodynamic and Fluid Mechanics*, Brandenburg University of Technology Cottbus. Germany

Lindya Susanti, Nuki., Arum Rahardian, Yusrina. Studi Karakteristik dan Kestabilan Emulsi Minyak Mentah Indonesia. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.

Marina, Dirta. 2009. *Analisis Vibrasi Subsea Pipeline Akibat Aliran Internal dan Eksternal di Sisi Nubi Total Field E&P Indonesia*. Laporan Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kelautan. FTK-ITS

U.S. EPA Office of Air Quality Planning and Standards (OAQPS), “*Oil of Natural Gas Sector Leaks*”, April 2014.

Meang-Ik Cho, Cheol Huh, Seong-Gil Kang, Jong-Hwa Baek. 2014. *Experimental Study on Corrosion Characteristic of CO₂ Pipeline for Offshore Transport and Geological Storage*. Energy Procedia. Republic of Korea

Pond, S., and G.L. Pickard, 1983: *Introductory Dynamical Oceanography*. 2nd edition, Butterworth-Heinemann.

<http://ascomp.ch/services/oil-gas/>

www.berpendidikan.com

<https://www.grc.nasa.gov>

Biodata Penulis



Penulis bernama Abdul Ghofur Ragil Insani, lahir di Lumajang, Jawa Timur pada tanggal 31 Maret 1994, merupakan anak terakhir dari 7 bersaudara dari pasangan Asmuni dan Nur Chotim. Riwayat pendidikan formal dari SDN Rogotrungan 02 Lumajang, SMPN 1 Sukodono, SMAN 1 Lumajang. Dan pada tahun 2012 penulis melanjutkan jenjang pendidikan S1 di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas

Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis mendapatkan bantuan BIDIK MISI dari Dikti selama masa perkuliahan. Dalam kegiatan akademik, penulis terdaftar sebagai member *Laboratory of Marine Machinery and System* (MMS). Dalam kegiatan non-akademik penulis terdaftar sebagai anggota Barunastra ITS dan menjuarai Best Design dan Fun Race tingkat Nasional pada tahun 2014, pada tahun 2014 terpilih sebagai finalis dalam kompetisi Nasional Technology Innovation Design Uinnovation Festival, anggota METIC, pada tahun 2016 menjadi juara III RC Boat Deconbotion tingkat Nasional, Kepala Divisi PSDM HIMASISKAL 2014/2015. Selain itu penulis juga pernah melakukan Kerja Praktik di PT. DKB Galangan I dan di PT. ASDP Ferry Indonesia.

Motto Hidup : *If you never try, you will never know*

Email : abdulghofurragilinsani@gmail.com

No.Hp : 083854486124

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan pipa bawah laut (*subsea pipeline*) dalam industri minyak dan gas bumi lepas pantai merupakan salah satu alternatif mode transportasi untuk memindahkan produk penambangan tersebut dari suatu tempat ke tempat pengumpul atau terminal, dari terminal ke fasilitas proses dan sebagainya. Instalasi pipa bawah laut sebagai sarana transportasi demikian itu, selain dari aspek ekonomis yang lebih murah daripada jenis moda transportasi yang lainnya, sarana ini harus dirancang dan dipasang sedemikian rupa hingga dapat menjamin proses transportasi yang aman, efisien dan handal. (Dirta Marina C, 2009)

Dalam beroperasinya sarana transportasi tersebut, kegiatan penggelaran pipa sangat penting untuk diperhatikan. Beragam diameter dan panjang jalur pipa sudah dipasang di berbagai daerah perairan dengan kedalaman yang berbeda – beda dan dengan menggunakan teknologi pemasangan yang beragam.

Kelebihan lain adalah biaya operasional yang murah, investasi mahal hanya pada saat penginstalan pertama dan bersifat jangka panjang. Apabila dengan menggunakan kapal tanker maka biaya sewa akan sangat mahal, belum lagi tidak beroperasinya kapal pada saat badai juga akan menyebabkan kenaikan biaya yang signifikan. Oleh karena itu, penggunaan pipa merupakan pilihan yang tepat dan efisien untuk investasi jangka panjang. Perencanaan dalam perancangan pipa bawah laut

harus matang agar pada saat beroperasi nanti tidak akan terjadi kegagalan akibat kesalahan perancangan.

Mengingat pentingnya suatu jaringan pipa agar dapat mengalirkan fluida maka diperlukan suatu strategi khusus sehingga jaringan pipa akan selalu dapat menjalankan fungsinya dengan baik dan aman. Ada beberapa metode yang digunakan agar suatu jaringan pipa tetap dapat mengalirkan fluida dengan baik dan aman antara lain pengawasan (*inspection*), pemeliharaan (*maintenance*) dan perbaikan (*repair*) jika dibutuhkan secara teratur. Hanya saja metode yang disebutkan di atas dilakukan tidak terintegrasi, baik data maupun informasi sehingga kegagalan pada jaringan pipa tetap saja terjadi.

Jaringan pipa ini berada pada perairan dengan alur transportasi kapal yang sangat padat. Kerusakan pada konstruksi pipa ini juga dapat terjadi. Salah satu kerusakan dapat berupa pipa penyok atau pipa mengalami kebocoran. Adanya kebocoran pada pipa menyebabkan fluida di dalam saluran pipa akan keluar sampai ke permukaan laut. Hal yang sering terjadi pada pipa bawah laut yakni kebocoran. Banyak faktor yang menyebabkan terjadinya kebocoran pada pipa bawah laut diantaranya karena korosi, tekanan aliran fluida, kejatuhan jangkar kapal, arus laut dan lain sebagainya. Masih belum banyak yang mengetahui ada atau tidaknya kebocoran pada pipa bawah laut. Apalagi untuk mengetahui karakteristik kebocoran fluida (minyak) pada pipa bawah laut.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan

Metode pengiriman minyak dan gas bumi lepas pantai dapat dengan menggunakan kapal tanker dan pipa bawah laut. Metode pengiriman dengan menggunakan pipa dianggap lebih handal dan murah. Keandalan metode ini salah satunya karena tidak terpengaruh cuaca, baik terjadi badai ataupun tidak, pengiriman minyak dan gas tidak akan mengalami gangguan.

Dengan menggunakan pipa sebagai sarana untuk menyalurkan atau memindahkan fluida (minyak) merupakan pilihan yang tepat dan efisien. Namun saat terjadi kegagalan pada sistem perpipaan seperti kebocoran akan mengganggu proses dari penyaluran fluida (minyak) itu sendiri.

Saat terjadi kebocoran pada instalasi pipa bawah laut, tentunya akan ada minyak yang keluar dari pipa dan menimbulkan dampak negatif di sekitar instalasi. Sehingga perlu dianalisa mengenai karakteristik kebocoran pada pipa tersebut seberapa besar dampak yang dihasilkan.

Pada percobaan yang dilakukan yakni dengan menggunakan fluida *Crude Oil*, sehingga rumusan masalah pada penelitian kali ini adalah :

Bagaimana karakteristik aliran kebocoran minyak pada pipa minyak bawah laut dengan perbedaan tekanan pada pipa untuk jenis minyak *Crude Oil*.

1.3 Batasan Masalah:

1. Tidak membahas tentang desain sistem jaringan pipa bawah laut secara mendetail
2. Tidak membahas mengenai penyebab kegagalan sistem jaringan pipa bawah laut atau penyebab kebocoran secara mendetail
3. Objek yang dikaji terbatas pada analisa karakteristik kebocoran minyak yang keluar dari pipa yang bocor
4. Percobaan yang dilakukan bertempat di *Laboratory of Marine Machinery Fluid* dengan menggunakan *flow channel*, sehingga kondisi lingkungan tidak seperti kondisi lingkungan yang sebenarnya.

1.4 Tujuan Penulisan Tugas Akhir

Tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui karakteristik aliran kebocoran minyak pada pipa minyak bawah laut untuk jenis minyak *Crude Oil*.

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan Tugas Akhir ini adalah

1. Mengetahui karakteristik aliran kebocoran minyak yang terjadi dengan jenis minyak yang akan diuji
2. Mengetahui penyebaran minyak yang terjadi dengan jenis minyak yang akan diuji

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Subsea Pipeline*

Penggunaan pipa bawah laut (*subsea pipeline*) dalam industri minyak dan gas bumi lepas pantai merupakan salah satu alternatif moda transportasi untuk memindahkan produk penambangan tersebut dari satu tempat ke tempat lainnya, mencakup dari sumur minyak atau gas ke tempat pengumpul, dari tempat pengumpul ke terminal, dari terminal ke fasilitas proses dan sebagainya. Instalasi pipa bawah laut sebagai sarana transportasi dari aspek ekonomis yang lebih murah daripada jenis moda transportasi yang lainnya, sarana ini harus dirancang dan dipasang demikian rupa hingga dapat menjamin proses transportasi yang aman, efisien dan handal.

Wilayah lautan Indonesia memiliki potensi sumber daya yang harus dapat dimanfaatkan dengan semaksimal mungkin untuk menunjang perekonomian Indonesia. Salah satu potensi sumber daya alamnya yaitu minyak bumi dan gas. Apabila keadaan ini dikaitkan perkembangan industri minyak dan gas di Indonesia yang semakin hari semakin mengalami peningkatan, maka permintaan akan minyak bumi dan gas juga mengalami peningkatan.

Oleh karena itu pemerintah harus membangun suatu sistem untuk pendistribusian minyak bumi dan gas secara efektif. Sistem tersebut berupa sarana transportasi yang efektif dan efisien untuk menunjang kelancaran pendistribusian minyak bumi dan gas. Kebutuhan akan sarana transportasi ini memerlukan informasi dan

teknologi yang dapat diandalkan dalam bidang kelautan. Pembangunan pipa bawah laut merupakan salah satu sarana transportasi yang efektif dan efisien untuk pendistribusian minyak bumi dan gas di laut. Jenis pipa yang digunakan tergantung kepada beberapa faktor diantaranya: Jumlah/volume fluida yang diangkut; jarak angkut; jenis fluida yang diangkut (cair atau gas, korosif atau tidak, dll); tekanan fluida yang diangkut; kekentalan (viskositas) fluida yang diangkut.

Untuk angkutan fluida melalui pipa ditetapkan beberapa standar yang diantaranya digunakan di Indonesia sebagai acuan dalam desain dan perencanaan angkutan fluida melalui pipa yang menyangkut bahan yang digunakan untuk membuat pipa, kekuatan pipa terhadap muatan yang diangkut serta tekanan pada dinding pipa, sambungan yang digunakan termasuk tata cara pengelasan pipa, ketahanan terhadap korosi khususnya untuk angkutan bahan kimia. Diantaranya standar mancanegara yang ditetapkan antara lain adalah :

- *AISI: American Iron and Steel Institute*
- *ANSI: American National Standards Institute*
- *API: American Petroleum Institute*
- *ASME: American Society of Mechanical Engineers*
- *ASTM: American Society for Testing Materials*
- *AWS: American Welding Society*
- *BSI: British Standards Institution*
- *DIN: Deutsches Institute for Normung*
- *ISO: International Organization for Standardization*
- *JIS: Japan Industrial Standards*
- *KS: Korean Industrial Standards*

- *MIL: Military Specifications and Standards*
- *NF: Norm Francaise*
- *SAE: Society of Automotive Engineers*
- *UL: Underwriters Laboratory*
- *UNS: Unified Numbering System*

Sedangkan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang sudah ditetapkan diantaranya meliputi:

- SNI 07-0068-1987 Pipa baja karbon untuk konstruksi umum
- SNI 07-0071-1987 Pipa baja las spiral
- SNI 07-0039-1987 Mutu dan cara uji pipa baja lapis seng
- SNI 06-0084-1987 Pipa PVC untuk saluran air minum

Dalam kegiatan pembangunan pipa bawah laut membutuhkan berbagai informasi yang akan mendukung proses pemasangan pipa bawah laut tersebut. Informasi yang dibutuhkan dalam pemasangan pipa bawah laut adalah :

1. Informasi kedalaman dasar laut di sepanjang koridor rencana survei rencana rute pipa bawah laut, berupa topografi bawah laut
2. Informasi pasang surut di sekitar area survei sebagai referensi kedalaman
3. Informasi arah dan kecepatan arus laut di sepanjang area survei rencana rute pipa
4. Informasi tentang jenis atau struktur batuan dan tanah di sepanjang koridor rencana rute pipa bawah laut.
5. Informasi tentang infrastruktur yang sudah terpasang sebelumnya di area survei seperti pipa dan kabel bawah laut.

Untuk mendistribusikan minyak atau gas dengan menggunakan pipa bawah laut juga harus diperhatikan mengenai material pipa yang digunakan. Pemilihan material menggunakan logam sudah mulai diterapkan secara umum sejak tahun 1950-an berdasarkan standar API 5L tentang pemilihan material pipa. Setiap tipe material mempunyai karakteristik zat dan material penyusun masing – masing. Spesifikasi material baja yang digunakan tergantung pada komposisi kimiawi, kekuatan material, dan toleransi pipa dalam industry dan manufaktur.

Beberapa material harus ditentukan untuk mendapatkan material pipa yang tepat sesuai kebutuhan sistem perpipaan. Kriteria – kriteria di bawah ini dapat digunakan dalam pemilihan material untuk pipa :

- *Mechanical properties*, termasuk ketahanan untuk menahan static load, dynamic load dan elastisitas dalam proses manufaktur
- *Weld ability*, kemudahan dan kekuatan material pipa dalam proses pengelasan
- *Corrothion restistance*, kemampuan material dalam menahan korosi
- *Cost*, berhubungan dengan biaya yang harus dikeluarkan persatuan ukuran material
- *Availability*, terkait dengan ketersediaan dan suplai material pada pasaran, sebagai pertimbangan untuk volume cadangan biaya

Material yang sering digunakan dalam dunia migas ada dua, yakni :

- *Carbon Steel*

Material pipa jenis ini adalah yang paling banyak digunakan, spesifikasinya banyak digunakan dalam ASTM (American Society of Testing and Materials) dan ASME (American Society of Mechanical Engineering)

- *Stainless Steel*

2.2 Arus Laut

Arus merupakan gerakan horizontal atau vertikal dari suatu massa air sehingga massa air tersebut mencapai kestabilan. Gerakan tersebut merupakan resultan dari beberapa gaya yang bekerja dan beberapa faktor yang mempengaruhinya. Terdapat dua gaya yang berperan dalam arus yaitu: gaya primer dan gaya sekunder. Gaya primer berperan dalam menggerakkan arus dan menentukan kecepatannya. Gaya primer ini terdiri dari gravitasi, gesekan angin (*wind stress*), gaya dorong ke atas dan ke bawah (*bouyancy*), serta tekanan atmosfer. Gaya sekunder mempengaruhi arah gerakan dan kondisi aliran arus. Gaya sekunder meliputi gaya Coriolis dan gesekan lapisan air laut itu sendiri (Pond and Pickard, 1983)

Berdasarkan gaya-gaya pembangkit arus, arus terbagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

- a. *Arus Ekman*, yaitu arus yang disebabkan oleh gesekan angin;
- b. *Arus Pasang Surut*, yaitu arus yang disebabkan oleh adanya gaya pembangkit pasang;
- c. *Arus Thermohaline*, yaitu arus yang disebabkan karena adanya perbedaan densitas air laut;
- d. *Arus Geostrofik*, yaitu arus yang disebabkan karena adanya gradien tekanan mendatar dan gaya coriolis;

- e. *Wind Driven Current*, yaitu arus yang dibangkitkan oleh angin, seperti sirkulasi sebagian besar samudera di lapisan atas, gelombang permukaan dan up-welling; serta
- f. *Arus Inersia*, yaitu suatu gerakan air dimana terjadi gesekan yang sangat kecil (diasumsikan nol) dan gaya yang masih bekerja hanya gaya coriolis sehingga menyerupai kurva. Arus inersia yang terjadi di sekitar garis lintang akan membentuk lingkaran (circular). Arah rotasi pada lingkaran inersia adalah searah jarum jam di belahan bumi utara dan berlawanan arah jarum jam di belahan bumi selatan (Pond dan Pickard, 1983).

Arus merupakan suatu besaran vektor yang memiliki arah dan kecepatan, dimana arah panah menunjukkan arah arus serta panjang anak panah menunjukkan besarnya kecepatan arus tersebut. Arah dan kecepatan arus merupakan resultan dari komponen arus Timur-Barat/zonal (u) dan komponen arus Utara-Selatan/meridional (v). Penamaan arus secara umum didasarkan pada nama tempat dimana arus tersebut melintas atau mengalir, berbeda dengan penamaan angin yang umumnya didasarkan pada tempat/arah dari mana angin tersebut bertiup.

Pengukuran arus secara insitu terdiri dari metode pengukuran pada titik tetap (*Euler*) dan metode *Lagrangian*, yaitu dengan benda hanyut (*drifter*) kemudian mengikuti gerakan aliran massa air laut. Alat yang digunakan untuk pengukuran arus dengan metode Euler dinamakan *Current Meter* dimana alat ini digunakan untuk pengukuran kecepatan dan arah arus laut. Cara kerja alat ini adalah bagian alat yang memiliki baling-baling diturunkan ke dalam perairan, selanjutnya

gerakan arus laut akan menyebabkan baling-baling bergerak berputar dan jumlah putaran persatuan waktu memiliki hubungan linear dengan kecepatan arus. Gerakan arus akan menyesuaikan posisi alat dengan arah arus tersebut, kecepatan dan arah arus yang terukur ditransmisikan melalui kabel ke perangkat tampilan di atas kapal sehingga kecepatan dan arah arus dapat dilihat melalui recorder baik analog maupun digital.

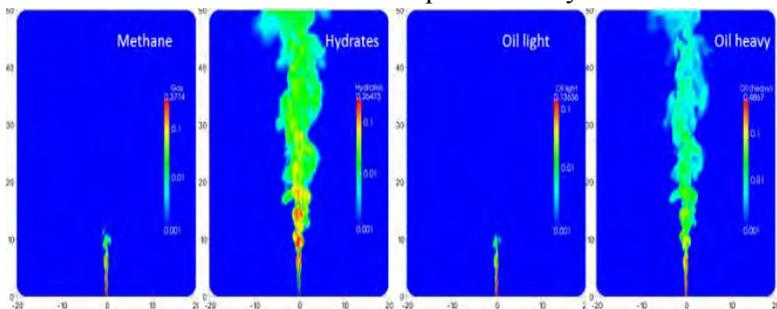
2.3 Kebocoran Minyak

Walaupun sudah memilih material pipa yang sudah sesuai, namun kerusakan pada pipa juga pasti terjadi seiring dengan berjalannya waktu. Dalam kegiatan eksplorasi minyak banyak melibatkan jaringan perpipaan sebagai tempat mengalirkan atau memindahkan fluida. Interaksi antara logam pipa dengan lingkungannya akan mengakibatkan terjadinya korosi. Dimana korosi tersebut dapat menjadi salah satu penyebab kebocoran pipa. Proses pemasangan dan berbagai kondisi lingkungan jaringan perpipaan yang berbeda akan berpengaruh terhadap korosi yang terjadi.

Berbagai upaya telah dilakukan dalam dua dekade terakhir untuk kebocoran pipa minyak dan gas, jenis cacat, laju korosi, jenis kegagalan, dan prediksi probabilitas kegagalan diterapkan kembali jaringan propagasi untuk memprediksi laju korosi pipa gas alam. Meskipun upaya yang dilakukan untuk memprediksi jenis kegagalan pipa minyak mempertimbangkan penyebab lain dari korosi, masih tidak ada model yang sebelumnya disebutkan dapat digunakan untuk menilai kondisi pipa. Sebenarnya, model seperti itu dimaksudkan untuk

memprediksi laju korosi, kebocoran pipa, atau jenis kegagalan / cacat sebagian besar berfokus pada faktor korosi terkait.

Setelah banyaknya analisa dari kondisi pipa yang sudah dilakukan oleh berbagai pihak dapat dipastikan kegagalan pada sistem jaringan pipa itu sudah pasti. Dari setiap penyebab kegagalan yang terjadi akan menimbulkan masalah salah satunya adalah kebocoran pada pipa bawah laut. Dari setiap jenis kebocoran yang ada pasti akan memiliki karakteristik yang berbeda terutama dampak penyebaran minyak akibat kebocoran – kebocoran yang terjadi. Kebocoran pipa minyak bawah laut mulai berbagai mekanisme yang mengarah ke penyebaran kebocoran minyak. Diantara mekanisme ini kebocoran minyak terjadi perbedaan berat jenis minyak dan air laut sulit untuk memperkirakannya.



Gambar 2.1 Contoh analisa kebocoran minyak pada pipa bawah laut

(Sumber : <http://ascomp.ch/services/oil-gas/>)

Banyak hal yang menyebabkan kebocoran pada pipa bawah laut. Namun yang pasti kebocoran yang terjadi akan menimbulkan dampak negative terhadap lingkungan sekitar. Dari setiap kebocoran minyak pada

pipa bawah laut yang terjadi memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Karakteristik inilah yang nantinya dapat diketahui nantinya dan mempermudah pada saat proses penanggulangannya.

2.4 Jenis Fluida

2.4.1 *Crude Oil*

Minyak mentah atau *Crude Oil* adalah cairan coklat kehijauan sampai hitam yang terutama terdiri dari karbon dan hidrogen. Teori yang paling umum digunakan untuk menjelaskan asal-usul minyak bumi adalah "*organic source materials*". Teori ini menyatakan bahwa minyak bumi merupakan produk perubahan secara alami dari zat-zat organik yang berasal dari sisa-sisa tumbuhan dan hewan yang mengendap selama ribuan sampai jutaan tahun. Akibat dari pengaruh tekanan, temperatur, kehadiran senyawa logam dan mineral serta letak geologis selama proses perubahan tersebut, maka minyak bumi akan mempunyai komposisi yang berbeda di tempat yang berbeda. Batasan maksimum atau minimum suatu parameter minyak bumi yang dikehendaki sebagai umpan proses pengolahan. Parameter itu meliputi sifat fisika dan kimia. Merupakan campuran kompleks dari senyawa hidrokarbon. Senyawa hidrokarbon yang ada antara lain : sulfur, nitrogen, oksigen, halogenida, dan logam sebagai senyawaan minor. Untuk single molekul utamanya terdiri dari : Parafin, Naften, dan Aromatik. Besarnya kandungan masing masing unsur tersebut akan berpengaruh terhadap sifat fisika dan kimia minyak bumi dan akan dinyatakan sebagai karakteristik minyak bumi. Besarnya kandungan masing masing unsur tersebut juga

akan memengaruhi sifat-sifat produk yang dihasilkan minyak bumi.

a. Komposisi Minyak Bumi

Komposisi dan karakteristik minyak bumi sangat beragam. Hal ini bergantung pada lokasi sumur di mana minyak mentah tersebut diambil. Pada sumur minyak yang sama pun komposisi dan karakteristiknya dapat berbeda jika diambil pada kedalaman yang berbeda. Kondisi yang demikian menyebabkan upaya karakterisasi minyak bumi menjadi sangat penting, mengingat setiap minyak bumi yang berbeda akan menghasilkan produk migas dengan kualitas dan kuantitas yang berbeda pula.

Minyak bumi memiliki campuran senyawa hidrokarbon sebanyak 50-98% berat, sisanya terdiri atas zat-zat organik yang mengandung belerang, oksigen, dan nitrogen serta senyawa-senyawa anorganik seperti vanadium, nikel, natrium, besi, aluminium, kalsium, dan magnesium. Secara umum, komposisi minyak bumi terdiri dari Karbon (C) 84 – 87%, Hidrogen (H) 11 – 14%, Sulfur (S) 0 – 3%, Nitrogen (N) 0 – 1%, Oksigen (O) 0 – 2%.

Berdasarkan kandungan senyawanya, minyak bumi dapat dibagi menjadi golongan hidrokarbon dan non-hidrokarbon serta senyawa-senyawa logam.

2.5 Pengertian Fluida dan Macamnya

Fluida merupakan suatu zat yang dalam keadaan setimbang tak dapat menahan gaya atau tegangan geser (shear force). Definisi lain dari fluida adalah zat yang dapat mengalir yang mempunyai partikel yang mudah bergerak dan berubah bentuk tanpa pemisahan massa.

Ketahanan fluida terhadap perubahan bentuk sangat kecil sehingga fluida dapat dengan mudah mengikuti bentuk ruang. Berdasarkan wujudnya, fluida dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

1. Fluida gas, merupakan fluida dengan partikel yang renggang dimana gaya tarik antara molekul sejenis relatif lemah dan sangat ringan sehingga dapat melayang dengan bebas serta volumenya tidak menentu. Gas termasuk fluida termampatkan.
2. Fluida cair, merupakan fluida dengan partikel yang rapat dimana gaya tarik antara molekul sejenisnya sangat kuat dan mempunyai permukaan bebas serta cenderung untuk mempertahankan volumenya. Fluida cair merupakan fluida yang tidak termampatkan

2.6 Sifat-sifat Fluida

Semua fluida sejati mempunyai atau menunjukkan sifat-sifat atau karakteristik - karakteristik yang penting.

1. Massa Jenis

Massa jenis atau biasa yang disebut dengan *density* adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Massa jenis rata-rata setiap benda merupakan total massa dibagi dengan total volumenya. Sebuah benda yang memiliki massa jenis lebih tinggi (misalnya besi) akan memiliki volume yang lebih rendah daripada benda bermassa sama yang memiliki massa jenis lebih rendah (misalnya air). Massa jenis berfungsi untuk menentukan zat. Setiap zat memiliki massa jenis yang berbeda. Dan satu zat berapapun massanya berapapun volumenya akan

memiliki massa jenis yang sama. Dirumuskan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

dimana ;

ρ = massa jenis (kg/m^3)

m = massa benda (kg)

V = volume benda (m^3)

2. *Spesifik Gravity* (SG)

Berat jenis adalah salah satu sifat fisika hidrokarbon yang dalam Teknik Perminyakan umumnya dinyatakan dalam Specific Gravity (SG) atau dengan °API. Specific Gravity (SG) didefinisikan sebagai perbandingan antara densitas minyak dengan densitas air yang diukur pada tekanan dan temperature standart (60 °F dan 14,7 psia). Hubungan antara °API dengan Spesifik Gravity (SG) adalah

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141,4}{\text{SG}} - 131,5$$

Sedangkan penulisan SG adalah

$$\text{SG}_{\text{minyak}} = \frac{\text{MassaJenisMinyak}}{\text{MassaJenisAir}}$$

Penentuan berat jenis minyak (*Crude Oil*) dilakukan dengan alat *hydrometer*, dimana penunjuk *specific gravity* dapat dibaca langsung pada alat. Untuk temperatur yang lebih dari 60 °F, perlu dilakukan koreksi dengan menggunakan chart yang ada. Kualitas dari minyak (minyak berat maupun minyak ringan) ditentukan salah satunya oleh specific gravity. Temperatur minyak mentah juga dapat mempengaruhi viskositas atau

kekentalan minyak tersebut. Hal ini yang dijadikan dasar perlunya diadakan koreksi terhadap temperatur standart 60 °F.

Sedangkan untuk menentukan Specific Gravity (SG) gas, alat yang digunakan adalah effusiometer, dengan memasukkan gas kedalam alat tersebut dan menghitung waktunya saat menekan air keluar dalam alat tersebut setelah sampai batas yang ditentukan, gas dihentikan sedangkan perhitungan waktunya juga dilakukan untuk kembalinya air didalam alat tersebut. Kemudian melihat temperatur yang tertera di termometer. Untuk waktu yang tercatat T_1 dan T_2 dimasukkan rumus $T_1 / T_2 = T$ (true) dan temperatur °API. Kemudian mengkoreksi hingga menemukan SG-nya. Penentuan SG gas sangat diperlukan mengingat gas yang terkandung dalam minyak berbeda-beda.

Gas yang terkandung dalam minyak tersebut dapat mempengaruhi harga minyak tersebut.

Harga °API untuk berat jenis minyak mentah (*Crude Oil*) antara lain :

- Minyak berat = 10 – 20 °API
- Minyak sedang = 20 – 30 °API
- Minyak ringan ≥ 30 °API

4. Tekanan

Tekanan didefinisikan sebagai besarnya gaya (F) tiap satuan luas bidang yang dikenainya (A). Apabila suatu zat (padat, cair, dan gas) menerima gaya yang bekerja secara tegak lurus terhadap luas permukaan zat tersebut, maka dapat dirumuskan :

$$P = F \times A$$

dimana :

P = tekanan (N/m²)

F = gaya (N)

A = luas penampang (m²)

Satuan SI (Satuan Internasional) untuk tekanan adalah Pa (Pascal) turunan dari Newton/m². Dalam teknik memang lebih banyak digunakan satuan tekanan lain seperti psi (pound per square inch), bar, atm, kgf/m² atau dalam ketinggian kolom zat cair seperti cmHg. Apabila suatu titik (benda) berada pada kedalaman "h" tertentu di bawah permukaan cairan, maka berat benda membuat cairan tersebut mengeluarkan tekanan. Tekanan yang dipengaruhi oleh kedalaman zat cair ini disebut dengan tekanan hidrostatis. Tekanan ini terjadi karena adanya berat air yang membuat cairan tersebut mengeluarkan tekanan.

Tekanan Gauge adalah selisih antara tekanan yang tidak diketahui dengan tekanan atmosfer (tekanan udara luar). Nilai tekanan yang diukur oleh alat pengukur tekanan adalah tekanan gauge. Adapun tekanan sesungguhnya disebut dengan tekanan mutlak.

Tekanan mutlak = tekanan gauge + tekanan atmosfer

$$P = P_{\text{gauge}} + P_{\text{atm}}$$

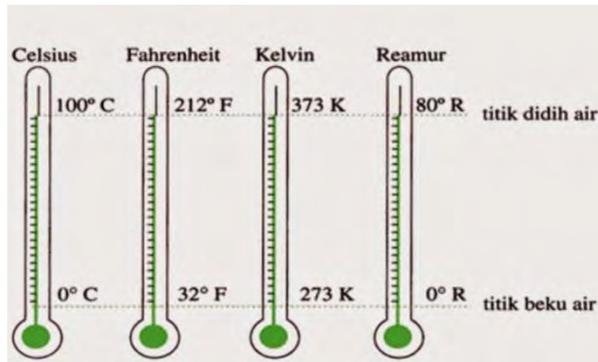
5. Temperatur

Temperatur berkaitan dengan tingkat energi internal dari suatu fluida. Setiap atom dalam suatu benda masing-masing bergerak, baik itu dalam bentuk perpindahan maupun gerakan di tempat berupa getaran.

Makin tingginya energi atom-atom penyusun benda, makin tinggi temperatur benda tersebut.

Temperatur diukur dengan alat termometer. Empat macam termometer yang paling dikenal adalah Celsius ($^{\circ}\text{C}$), Reamur ($^{\circ}\text{R}$), Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) dan Kelvin ($^{\circ}\text{K}$). Terdapat perbandingan skala dari tiap macam penunjuk suhu tersebut yakni :

$$\begin{array}{l} \text{C : R : F : K} \\ 5 : 4 : 9 : 5 \end{array}$$



Gambar 2.2 Perbandingan titik didih dan titik beku pada termometer

(sumber : www.berpendidikan.com)

6. Kekentalan

Kekentalan (viskositas) diartikan sebagai tahanan internal terhadap aliran, dan beberapa ahli dapat juga mendefinisikan sebagai gesekan dari fluida. Kekentalan adalah nilai yang diukur dari tahanan fluida yang berubah bentuk karena tegangan geser (*shear stress*) maupun tegangan tarik (*tensile stress*). Pengertian yang paling sederhana adalah bahwa semakin kecil nilai viskositas maka semakin mudah

suatu fluida untuk bergerak (lebih encer). Fluida ideal adalah fluida yang tidak memiliki tahanan gesekan terhadap tegangan geser, atau biasanya disebut juga dengan *inviscid fluid*, sedangkan fluida normal selalu mempunyai tahanan gesekan terhadap tegangan geser, yang disebut dengan *viskos fluid*.

Perbandingan antara viskositas dinamik dan kerapatan (density) disebut viskositas kinematik, yaitu: Kerapatan, viskositas kinematis dan viskositas dinamik suatu fluida sangat dipengaruhi oleh temperatur.

7. Persamaan Dasar Bernoulli

Fluida tak termampatkan (*incompressible*) yang mengalir melalui suatu penampang sebuah pipa dan saluran apabila aliran bersifat tunak (*steady state*) dan tanpa gesekan (*inviscid*) akan memenuhi hukum yang dirumuskan oleh Bernoulli.

2.7 Macam dan Aliran Fluida

Fluida yang bergerak dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori. Apakah alirannya steady atau unsteady, apakah fluidanya *compressible* (dapat mampat) atau *incompressible* (tak dapat mampat), apakah fluidanya viskos atau nonviskos, atau apakah aliran fluidanya laminar atau turbulen. Jika fluidanya steady, kecepatan partikel fluida pada setiap titik tetap terhadap waktu. Fluida pada berbagai bagian dapat mengalir dengan laju atau kecepatan yang berbeda, tetapi fluida pada satu lokasi selalu mengalir dengan laju atau kecepatan yang tetap.

Fluida inkompressibel adalah suatu fluida yang tak dapat dimampatkan. Sebagian besar cairan dapat dikatakan sebagai incompressible. Dengan mudah dapat dikatakan bahwa fluida gas adalah fluida compressible, karena dapat dimampatkan. Sedangkan fluida viskos adalah fluida yang tidak mengalir dengan mudah, seperti madu dan aspal. Sementara itu, fluida tak-viskos adalah fluida yang mengalir dengan mudah, seperti air.

Aliran fluida dapat dibedakan menjadi aliran laminar dan aliran turbulen, tergantung pada jenis garis alir yang dihasilkan oleh partikel-partikel fluida. Jika aliran dari seluruh partikel fluida bergerak sepanjang garis yang sejajar dengan arah aliran (atau sejajar dengan garis tengah pipa, jika fluida mengalir di dalam pipa), fluida yang seperti ini dikatakan laminar.

Kata laminar berasal dari bahasa latin lamina, yang berarti lapisan atau plat tipis. Sehingga, aliran laminar berarti aliran yang berlapis-lapis. Lapisan-lapisan fluida akan saling bertindihan satu sama lain tanpa bersilangan. Jika gerakan partikel fluida tidak lagi sejajar, mulai saling bersilangan satu sama lain sehingga terbentuk pusaran di dalam fluida, aliran yang seperti ini disebut dengan aliran turbulen.

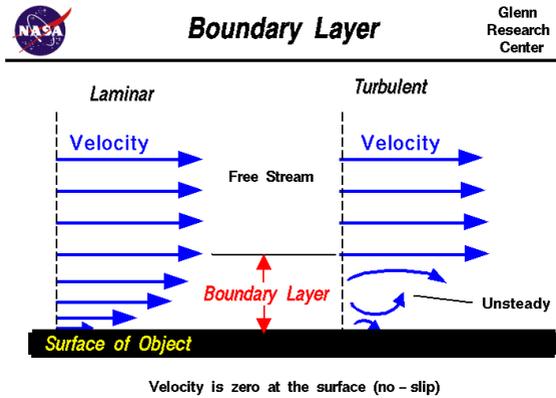
Karakteristik struktur aliran internal (dalam pipa) sangat tergantung dari kecepatan rata-rata aliran dalam pipa, densitas, viskositas dan diameter pipa. Aliran fluida (cairan atau gas) dalam pipa mungkin merupakan aliran laminar atau turbulen. Perbedaan antara aliran laminar dan turbulen secara eksperimen

pertama sekali dipaparkan oleh Osborne Reynolds pada tahun 1883.

Eksperimen itu dijalankan dengan menyuntikkan cairan berwarna ke dalam aliran air yang mengalir di dalam tabung kaca. Jika fluida bergerak dengan kecepatan cukup rendah, cairan berwarna akan mengalir di dalam sistem membentuk garis lurus tidak bercampur dengan aliran air.

Pada kondisi seperti ini, fluida masih mengalir secara laminar. Jadi pada prinsipnya, jika fluida mengalir cukup rendah seperti kondisi eksperimen ini, maka terdapat garis alir. Bila kecepatan fluida ditingkatkan, maka akan dicapai suatu kecepatan kritis. Fluida mencapai kecepatan kritis dapat ditandai dengan terbentuknya gelombang cairan warna. Artinya garis alir tidak lagi lurus, tetapi mulai bergelombang dan kemudian garis alir menghilang, karena cairan berwarna mulai menyebar secara seragam ke seluruh arah fluida air.

Perilaku ketika fluida mulai bergerak secara acak (tak menentu) dalam bentuk arus-silang dan pusaran, menunjukkan bahwa aliran air tidak lagi laminar. Pada kondisi seperti ini garis alir fluida tidak lagi lurus dan sejajar.



Gambar 2.3. Boundary Layer
(sumber : <https://www.grc.nasa.gov>)

Menurut Reynold, untuk membedakan apakah aliran itu turbulen atau laminar dapat menggunakan bilangan tak berdimensi yang disebut dengan Bilangan Reynold. Bilangan ini dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$Re : \frac{VxL}{\mu}$$

dimana;

Re = bilangan Reynold (tak berdimensi)

V = kecepatan rata-rata (ft/s atau m/s)

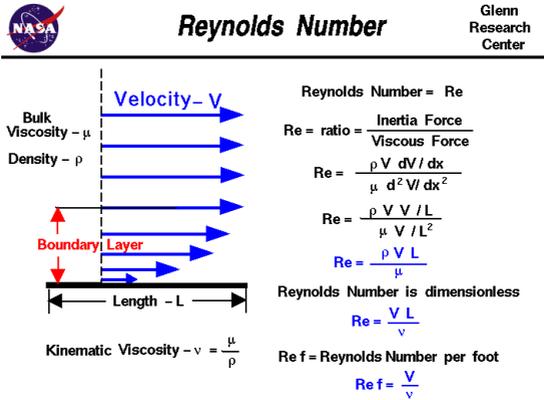
L = panjang (ft atau m)

μ = viskositas kinematik (m^2/s)

Pada $Re < 2300$, aliran bersifat laminar.

Pada $Re > 4000$, aliran bersifat turbulen.

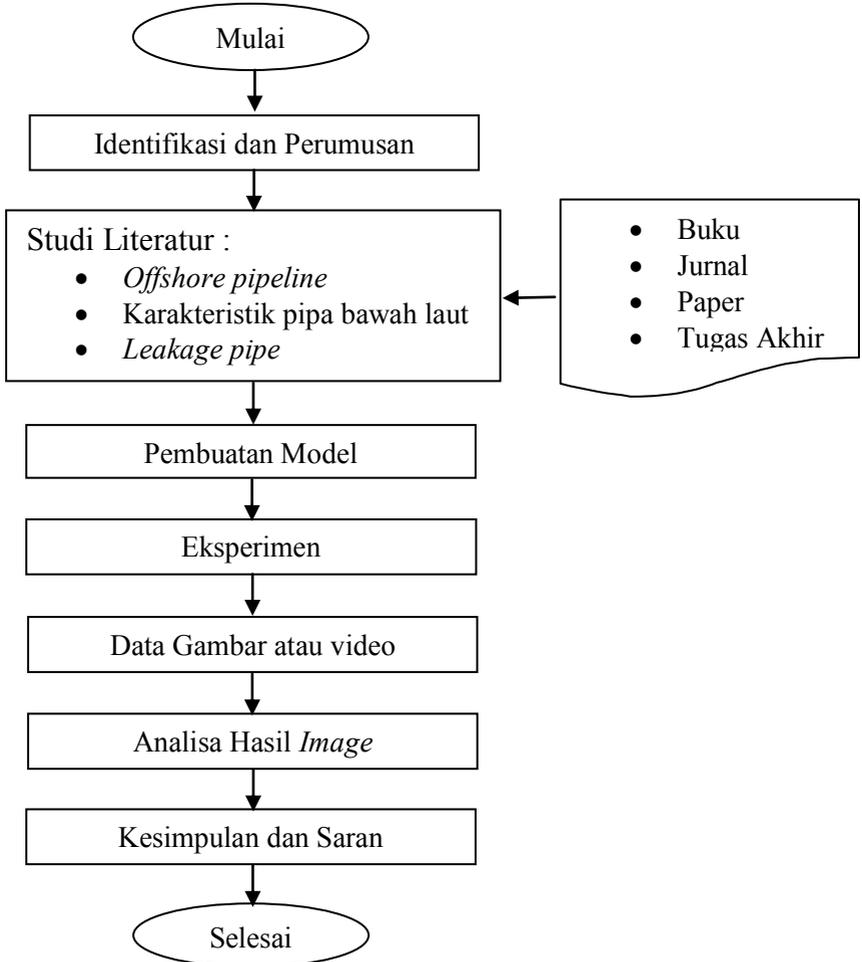
Pada $Re = 2300-4000$ terdapat daerah transisi



Gambar 2.4 Reynold Number
(sumber : <https://www.grc.nasa.gov>)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.

3.1 Alur Penelitian



Gambar. 3.1 Alur Penelitian

Untuk melakukan penelitian membutuhkan tahapan – tahapan sebagai berikut :

1. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Pada tahapan ini yakni mengidentifikasi dan merumuskan masalah dari penelitian guna menunjang tahapan berikutnya.

2. Studi Literatur

Pada studi literatur membutuhkan beberapa referensi dari buku, jurnal, *paper*, dan Tugas Akhir. Dengan mengumpulkan referensi maka dapat mempermudah proses penelitian dan mencari informasi yang terbaru mengenai penelitian yang sudah ada. Pada studi literatur dibutuhkan studi riset yang menjelaskan tentang *offshore pipeline*, karakteristik pipa bawah laut dan *leakage pipe*.

3. Pembuatan Model Eksperimen

Pembuatan konsep eksperimen atau tata letak dari masing – masing komponen yang dibutuhkan agar mendapat hasil data yang baik dan mengetahui komponen atau peralatan apa saja yang dibutuhkan untuk eksperimen.

4. Eksperimen

Percobaan yang akan dilakukan di *Laboratory Fluid Machinery and System* Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS dengan menggunakan flow channel dan kelengkapan yang lainnya. Jenis minyak yang akan digunakan adalah *Crude Oil*. Dengan variasi perbedaan tekanan pada masing – masing percobaan yang dilakukanakan diketahui karakteristik kebocoran minyak pada pipa.

5. Data gambar atau video

Setelah melakukan eksperimen maka data yang didapat adalah gambar atau foto hasil eksperimen. Hasil foto dari *Crude Oil* dan variasi tekanan pada pipa akan berbeda dan selanjutnya hasil gambar tersebut akan dianalisa.

6. Analisa Hasil *Image*

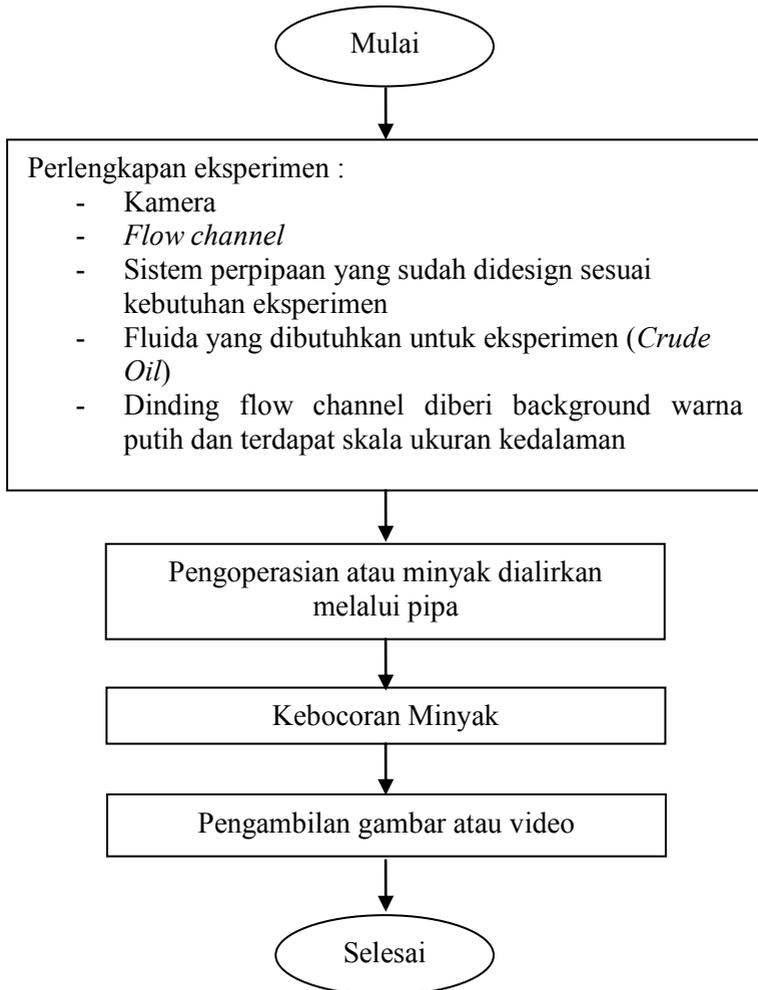
Setelah mengetahui dari karakteristik masing – masing kebocoran minyak tiap tekanan, maka dilakukan analisis mulai dari pola pergerakan minyak, penyebaran minyak ataupun yang lainnya.

7. Kesimpulan dan Saran

Dalam tahapan ini merupakan tahapan terakhir yang dilakukan dalam mengerjakan skripsi.

3.2 Gambar *Experimental Apparatus*

3.2.1 *Experimental Procedure*



Gambar. 3.2 Gambar *Experimental Procedure*

Untuk tahapan pada *experiment procedure* diantaranya :

1. Perlengkapan eksperimen

Sebelum melakukan eksperimen, perlu adanya tahapan untuk mempersiapkan segala peralatan yang akan digunakan. Untuk percobaan ini memerlukan kamera, *flow channel*, sistem perpipaan yang sudah didesign guna menunjang eksperimen yang dibutuhkan, fluida (*Crude Oil*) dan dinding *flow channel* diberi background dengan warna putih dan terdapat skala ukuran kedalaman guna mempermudah analisa. Tidak lupa juga, posisi kamera diposisikan dengan baik dan benar agar mendapatkan hasil gambar yang optimal.

1.1 Alat dan Bahan

No	Nama Alat	Gambar	Fungsi
1	Flow Channel		Tempat percobaan
2	Pompa (untuk pembuat arus)		Untuk mengalirkan air sebagai arus pada flow channel

3	Alat Pembuat Arus		Untuk membuat arus pada flow channel
4	<i>Current Meter</i>		Untuk mengetahui kecepatan arus yang ada di flow channel
5	Pompa (untuk pengujian)		Untuk mengalirkan bahan percobaan
6	Pipa $\frac{3}{4}$ "		Sebagai saran transportasi bahan percobaan

7	Pressure Gauge		Untuk mengetahui tekanan pada pipa
8	Valve		Untuk mengatur tekanan dengan bukaan sudut katup
9	Storage		Sebagai tangki penyimpan bahan percobaan
10	Background		Agar bahan yang diamati saat pengambilan gambar lebih jelas

11	Kamera		Untuk mengambil gambar atau video
13	Stopwatch		Untuk mengetahui jumlah fluida yang dialirkan dalam satuan waktu (kapasitas)
14	<i>Crude Oil</i>		Bahan Percobaan
15	Busur Derajat		Untuk mengukur derajat valve
16	Gelas Ukur		Untuk mengukur debit

2. Pengoperasian sistem

Setelah perlengkapan sudah siap dan lengkap, maka pengoperasian sistem dilakukan guna memnunjuk eksperimen untuk mengetahui minyak yang keluar dari pipa yang dilubangi (kebocoran) dan nantinya akan diambil gambar atau video dari kebocoran minyak tersebut. Dalam pengoperasian ini, nantinya akan diatur tekanan pada pipa guna mengetahui karakteristik minyak lebih detail.

3. Kebocoran Minyak

Ketika pengoperasian dimulai, kebocoran minyak akan terjadi yang nantinya kebocoran minyak yang terjadi akan diambil gambar atau video.

4. Pengambilan gambar atau video

Setelah terjadi kebocoran minyak saat eksperimen, maka diambil gambar atau video dari kebocoran minyak tersebut. Dimana hasil dari pengambilan gambar atau video ini akan diproses dan dianalisa.

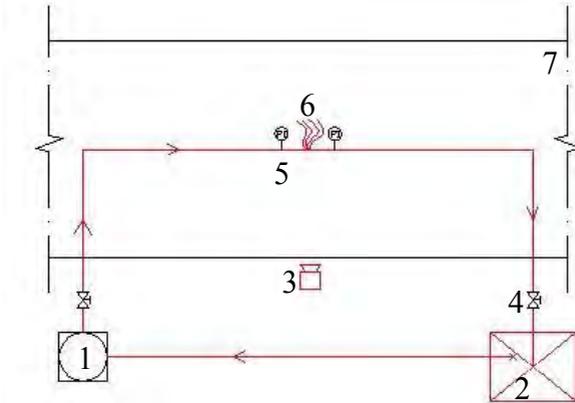
3.2.2Draft Apparatus Penelitian

Metode penelitian dengan melakukan percobaan pada sistem *apparatus* yang terdiri dari :

1. Natural

Dalam tahapan penelitian ini pada gambar 3.3, percobaan dilakukan dengan tidak mengoperasikan sistem atau dialirkannya fluida (minyak) oleh pompa. Dimana flow channel tidak ada arus dan fluida (minyak) yang dimaksud yakni yang ada di dalam pipa (pipa yang tercelup air pada *flow* channel). Jadi fluida (minyak) yang ada di dalam pipa (pipa yang tercelup air pada *flow*

channel) yang nantinya akan dilakukan analisa karakteristik aliran kebocoran minyak. Sehingga nantinya akan diketahui karakteristik aliran kebocoran minyak yang terjadi tanpa adanya tekanan dari pompa (natural) atau pompa tidak beroperasi. Di bawah ini adalah *apparatus* penelitian pada percobaan natural :



Gambar 3.3 Apparatus Penelitian Tampak Atas (Natural)

Keterangan gambar 3.3 :

1. Pompa

Pompa yang digunakan yakni pompa merk Shimizu model PS-128 bit dengan spesifikasi sebagai berikut :

Head (H) : 20 – 10 meter

Debit (Q) : 10 – 18 liter/menit



Gambar. 3.4 Spesifikasi Pompa
(sumber : dokumentasi pribadi)

2. Storage

Storage atau tempat penyimpanan *crude oil* yang digunakan penelitian

3. Kamera

Kamera yang digunakan yakni jenis *action camera*. Jadi bisa digunakan untuk mengambil video atau gambar dengan jangkauan yang luas dan bisa juga digunakan untuk mengambil gambar atau video di dalam air dengan tambahan komponen yakni *waterproof*.

4. Valve

Valve yang digunakan yakni jenis *ball valve*. Valve ini digunakan untuk mengatur bukaan katup sehingga nanti diketahui tekanan pada pipa dan sudut valve pada saat tekanan tersebut bisa diketahui. Selain itu juga digunakan untuk mengatur debit pada sistem pengujian.

5. Pressure Gauge

Pressure gauge yang digunakan yakni pressure gauge khusus untuk fluida minyak dengan range 0 – 7 bar.

6. Titik Kebocoran

Titik kebocoran pada pipa berada pada kedalaman 0.8 meter. Diameter kebocoran yakni 1 mm.

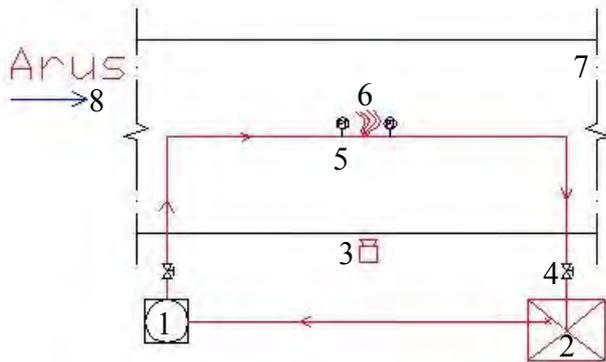
7. Flow Channel

Flow channel yang berada di *Laboratory of Marine Machinery Fluid* memiliki kedalaman 0.8 meter

2. Dengan melakukan variasi tekanan pada setiap percobaan Dalam tahapan penelitian ini pada gambar 3.4, percobaan dilakukan dengan mengoperasikan sistem atau dialirkannya fluida (minyak) oleh pompa. Sehingga nantinya akan diketahui karakteristik aliran kebocoran yang terjadi pada setiap variasi tekanan. Alur pengoperasian yang dilakukan yakni sebagai berikut :
 - Memastikan kelengkapan peralatan dan keberfungsian sistem
 - Kebocoran disumbat terlebih dahulu sebelum sistem dioperasikan guna mendapatkan hasil yang maksimal
 - Memastikan tata cahaya yang baik untuk mendukung pengambilan video atau gambar
 - Pompa dioperasikan dengan mengalirkan fluida (minyak) dari tangki minyak (*storage*)
 - Setelah pompa beroperasi, penutup kebocoran dilepas sehingga terdapat fluida (minyak) yang akan keluar dari pipa (bocor). Sebelum penutup kebocoran dilepas, terlebih dahulu diamati tekanan yang ada. Jika sudah sesuai, maka penutup kebocoran dilepas sehingga nantinya akan tahu tekanan yang terjadi saat adanya kebocoran (perbedaan tekanan antara tanpa bocor, dengan adanya kebocoran).

- Untuk variasi tekanan diatur dengan menggunakan *valve* yang terdapat pada sistem
- Tekanan yang divariasikan yakni 0.5 bar, 1 bar, 1.5 bar dan 2 bar
- Pengambilan video atau gambar dengan menggunakan kamera

Di bawah ini adalah *apparatus* penelitian pada percobaan dengan menggunakan variasi tekanan :



Gambar. 3.5 Apparatus Penelitian Tampak Atas

Keterangan gambar 3.5 :

1. Pompa

Pompa yang digunakan yakni pompa merk Shimizu model PS-128 bit dengan spesifikasi sebagai berikut :

Head (H) : 20 – 10 meter

Debit (Q) : 10 – 18 liter/menit

2. Storage

Storage atau tempat penyimpanan *crude oil* yang digunakan penelitian

3. Kamera

Kamera yang digunakan yakni jenis *action camera*. Jadi bisa digunakan untuk mengambil video atau gambar dengan jangkauan yang luas dan bisa juga digunakan untuk mengambil gambar atau video di dalam air dengan tambahan komponen yakni *waterproof*.

4. Valve

Valve yang digunakan yakni jenis *ball valve*. Valve ini digunakan untuk mengatur bukaan katup sehingga nanti diketahui tekanan pada pipa dan sudut valve pada saat tekanan tersebut bisa diketahui. Selain itu juga digunakan untuk mengatur debit pada sistem pengujian.

5. Pressure Gauge

Pressure gauge yang digunakan yakni pressure gauge khusus untuk fluida minyak dengan range 0 – 7 bar.

6. Titik Kebocoran

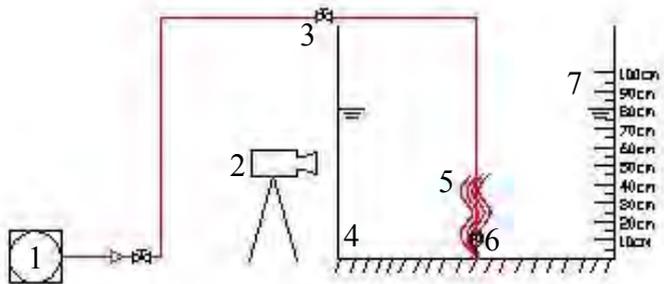
Titik kebocoran pada pipa berada pada kedalaman 0.8 meter. Diameter kebocoran yakni 1 mm.

7. Flow Channel

Flow channel yang berada di *Laboratory of Marine Machinery Fluid* memiliki kedalaman 0.8 meter

8. Arus

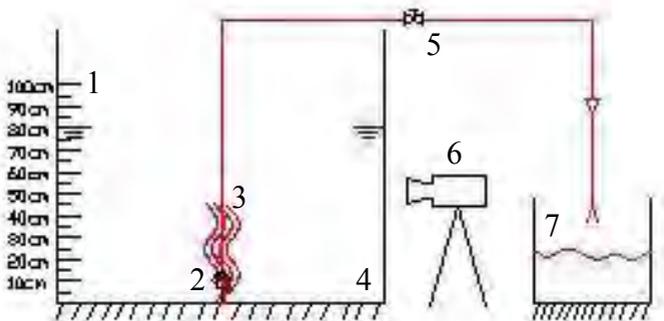
Arus yang dihasilkan oleh alat pembuat arus pada flow channel yakni 0.2 m/s. pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat yang biasa disebut dengan *Current Meter*.



Gambar. 3.6 Apparatus Penelitian Tampak Samping

Keterangan gambar 3.6 :

1. Pompa
2. Kamera
3. Valve
4. Flow Channel
5. Pressure Gauge
6. Kebocoran
7. Background (terdapat skala kedalaman)

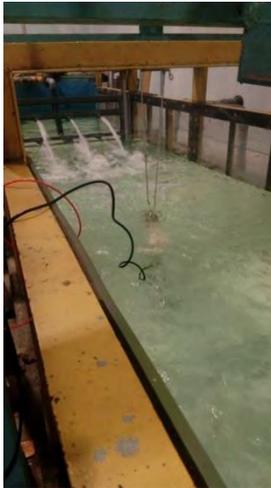


Gambar. 3.7 Apparatus Penelitian Tampak Samping

Keterangan gambar 3.7 :

1. Background (terdapat skala kedalaman)
2. Pressure Gauge
3. Kebocoran
4. Flow Channel
5. Valve
6. Kamera
7. Storage

3.3 Pengujian Arus pada Flow Channel



Gambar. 3.8 Pengukuran Arus pada *Flow Channel* dengan menggunakan *Current Meter*
(Sumber : Dokumentasi pribadi)



Gambar. 3.9 Pengukuran Arus pada *Flow Channel* dengan menggunakan *Current Meter*
(Sumber : Dokumentasi pribadi)



Gambar.3.10 Hasil Pengukuran Arus pada *Flow Channel* dengan menggunakan *Current Meter*
(Sumber : Dokumentasi pribadi)

3.4 Parameter – parameter percobaan

Dalam percobaan yang dilakukan dalam pengambilan data, terdapat beberapa parameter – parameter yang digunakan guna menunjang hasil yang diinginkan sesuai dengan tujuan penulisan tugas akhir ini. Parameter – parameter tersebut yakni seperti tabel 3.1 :

Tabel 3.1 Parameter – parameter percobaan

P1	Q1 (lt/mnt)	P2	ΔP	Q0-Q1 (lt/mnt)	Sudut
0,5 bar					
1 bar					
1,5 bar					
2 bar					

Parameter – parameter percobaan seperti tabel 3.1. P1 merupakan variasi tekanan yang dilakukan pada saat percobaan yakni : 0.5 bar; 1 bar; 1.5 bar; dan 2 bar. Pada parameter kapasitas (Q1) terdapat nilai yang harus didapat dari percobaan yakni Q1 atau kapasitas pada saat pipa diberi variasi tekanan (P1). Pada tiap – tiap tekanan akan memiliki kapasitas yang berbeda. P2 merupakan tekanan yang didapat pada saat lubang kebocoran pada pipa dibuka, sehingga nantinya diketahui nilai tekanan setelah kebocoran (P2) dan perbedaan tekanan (ΔP) yang terjadi pada saat terjadi kebocoran dengan tidak terjadi kebocoran. Yang dimaksud dengan perbedaan tekanan (ΔP) yakni P1-P2.

Untuk nilai Q0-Q1 adalah pengurangan kapasitas yang terjadi pada bagian discharge. Kemungkinan besar nilai ini adalah kapasitas *crude oil* yang keluar dari lubang kebocoran. Dan dari setiap variasi tekanan, nantinya akan dicari sudut valve yang terjadi.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Umum

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai apparatus penelitian yang dilakukan dan juga dijelaskan mengenai hasil percobaan yang nantinya akan diolah lagi dengan menganalisa hasil gambar atau video dari hasil percobaan yang telah dilakukan pada pengerjaan skripsi serta hasil yang didapat.

Dalam melakukan percobaan ini dengan menggunakan *Crude Oil* (minyak mentah) yang berasal dari Cepu. Berikut ini adalah spesifikasi dari *Crude Oil* yang dipakai untuk melakukan percobaan :

Tabel. 4.1 Karakteristik fisik (*physical characterization*) *Crude Oil*

	Blora	Cepu	Jambi	Riau
Spesific Gravity 60 °F	0,9297	0,8575	0,9329	0,8966
Viskositas kinematis 100 °F (Cst)	20,77	21,73	14,89	15,39
Tegangan muka (dyne/cm)	28,26	27,09	25,71	25,75

(Sumber : Lindya Susanti, Nuki., Arum Rahardian, Yusrina. Studi Karakteristik dan Kestabilan Emulsi Minyak Mentah Indonesia. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.)

4.2. Hasil Gambar atau Video

4.2.1 Apparatus Percobaan



Gambar. 4.1 Sistem yang akan diuji
(sumber : dokumentasi pribadi)

Keterangan Gambar 4.1 :

1. Pompa

Pompa yang digunakan yakni pompa merk Shimizu model PS-128 bit dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Head (H) : 20 – 10 meter
- Debit (Q) : 10 – 18 liter/menit

2. Storage

Storage atau tempat penyimpanan *crude oil* yang digunakan penelitian

3. Kamera

Kamera yang digunakan yakni jenis *action camera*. Jadi bisa digunakan untuk mengambil video atau gambar dengan jangkauan yang luas dan bisa juga digunakan untuk mengambil gambar atau video di dalam air dengan tambahan komponen yakni *waterproof*.

4. Valve

Valve yang digunakan yakni jenis *ball valve*. Valve ini digunakan untuk mengatur bukaan katup sehingga nanti diketahui tekanan pada pipa dan sudut valve pada saat tekanan tersebut bisa diketahui. Selain itu juga digunakan untuk mengatur debit pada sistem pengujian.

5. Pressure Gauge

Pressure gauge yang digunakan yakni pressure gauge khusus untuk fluida minyak dengan range 0 – 7 bar.

6. Titik Kebocoran

Titik kebocoran pada pipa berada pada kedalaman 0.8 meter. Diameter kebocoran yakni 1 mm.

7. Flow Channel

Flow channel yang berada di *Laboratory of Marine Machinery Fluid* memiliki kedalaman 0.8 meter

8. Arus

Arus yang dihasilkan oleh alat pembuat arus pada flow channel yakni 0.2 m/s. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat yang biasa disebut dengan *Current Meter*.

Gambar 4.1 merupakan susunan sistem yang dirancang sesuai dengan *apparatus* penelitian. Percobaan dilakukan di *Flow Channel* yang berada di *Laboratory of Marine Machinery Fluid* dengan tanpa arus dan arus. Dimana arus pada flow channel 0,2m/s.

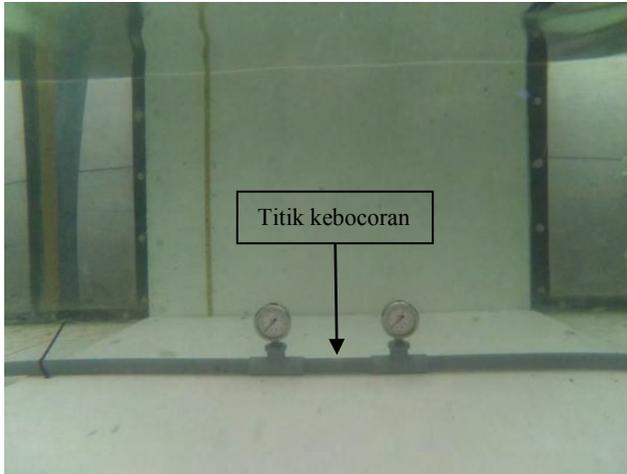
Kedalaman air pada flow channel yakni 0.8 meter, sehingga tekanan mutlakny adalah 1.08 bar.

Sistem yang akan diuji memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- Panjang pipa :
7.84 meter pada bagian discharge

0.81 meter pada bagian suction

- \varnothing pipa :
 $\frac{3}{4}$ " atau 0.75 inch
- Flow rate : 18 liter/menit



Gambar. 4.2 Objek yang diamati
(sumber : dokumentasi pribadi)

Gambar 4.2 merupakan objek yang akan diamati dalam percobaan yang dilakukan. Titik kebocoran pipa tepat berada di kedalaman 0.8 meter pada *flow channel*. Kebocoran tersebut memiliki diameter 1 mm.

Pengamatan yang dilakukan atau nilai – nilai yang harus didapat sesuai dengan parameter yang terdapat pada tabel 3.1.



Gambar. 4.3 Sistem yang akan diuji
(sumber : dokumentasi pribadi)

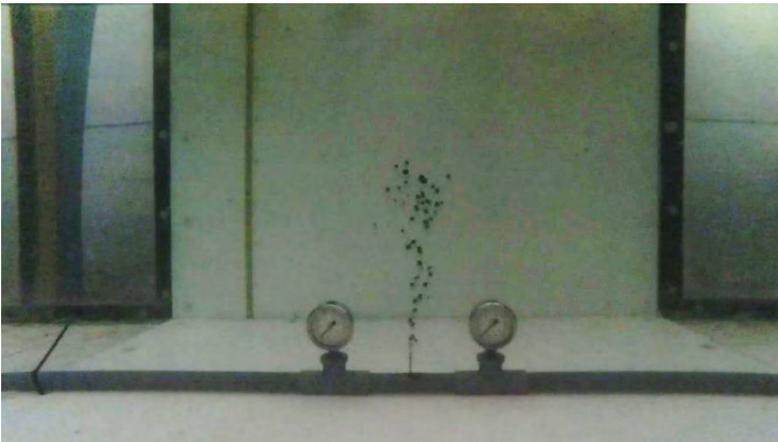


Gambar. 4.4 Sistem yang akan diuji
(sumber : dokumentasi pribadi)



Gambar. 4.5 Sistem yang akan diuji
(sumber : dokumentasi pribadi)

4.2.2 Hasil Gambar dengan tanpa Arus a. Natural



Gambar. 4.6 Kebocoran minyak pada saat kondisi natural

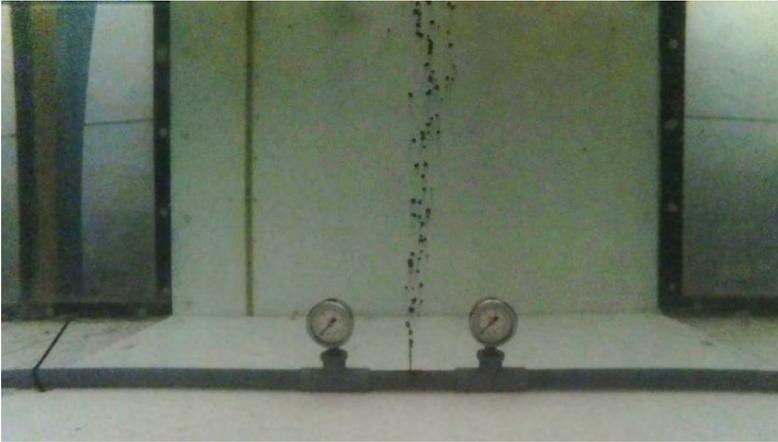
Gambar 4.6 menunjukkan kebocoran minyak yang terjadi pada saat pipa sudah terisi oleh *Crude Oil*, namun pompa sudah tidak bekerja. Kondisi air tenang dan tidak ada arus. Yang terjadi yakni minyak yang keluar dari titik kebocoran berupa gelembung gelembung kecil dan pergerakannya lambat. Minyak yang keluar tidak menyebar melainkan berupa gelembung – gelembung kecil yang penyebarannya kecil (tidak luas). Dalam kondisi ini, minyak baru keluar dari titik kebocoran.



Gambar. 4.7 Kebocoran minyak saat kondisi natural

Gambar 4.7 merupakan hasil dari lanjutan pengamatan gambar 4.6 dengan kondisi lingkungan seperti pada penjelasan tersebut. Namun pada gambar 4.7 ini merupakan pergerakan kebocoran yang terjadi sudah bisa dikatakan hamper konstan, maksudnya adalah penyebaran yang terjadi masih sempit (tidak luas) dan kecepatan relatif lambat yang ditunjukkan gambar 4.8.

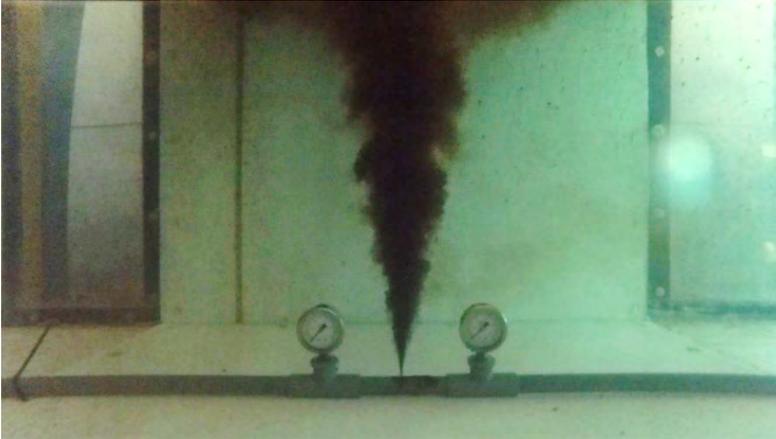
Dalam kondisi ini, minyak sudah mencapai permukaan air yakni sekitar 0.8 meter dari dasar.



Gambar. 4.8 Kebocoran minyak yang pergerakannya konstan

Gambar 4.8 merupakan lanjutan dari 4.7 yang menunjukkan kebocoran minyak yang terjadi pada saat pipa sudah terisi oleh *Crude Oil*, namun pompa sudah tidak bekerja. Kondisi air tenang dan tidak ada arus. Yang terjadi yakni minyak yang keluar dari titik kebocoran berupa gelembung gelembung kecil dan pergerakannya lambat.

Dalam kondisi ini, minyak sudah melakukan pergerakan yang hampir tetap (konstan) sehingga pola pergerakannya hampir sama dan masih dalam bentuk gelembung gelembung kecil.

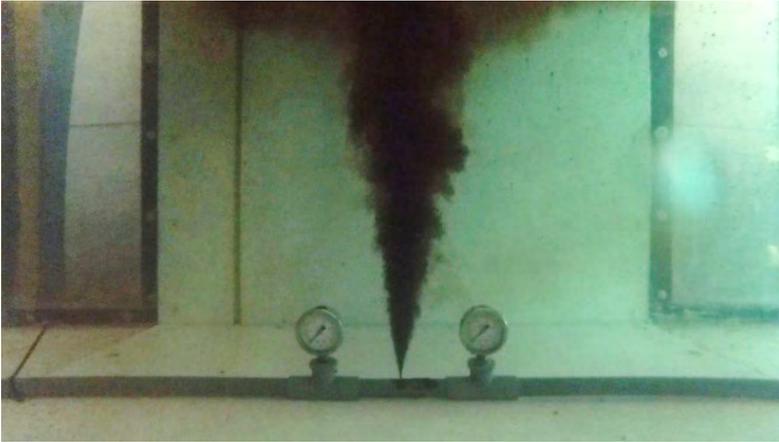
b. Tekanan 0,5 bar

Gambar. 4.9 Kebocoran minyak pada saat tekanan 0.5 bar

Gambar 4.9 menunjukkan kebocoran minyak yang terjadi pada saat pompa beroperasi dan tekanan yang ada 0.5 bar dengan mengatur sudut *valve*. Kebocoran minyak tidak berbentuk gelembung – gelembung namun sudah menyebar. Berbeda dengan kondisi natural yang bentuk aliran kebocorannya berupa gelembung - gelembung kecil dan pola pergerakannya lambat.

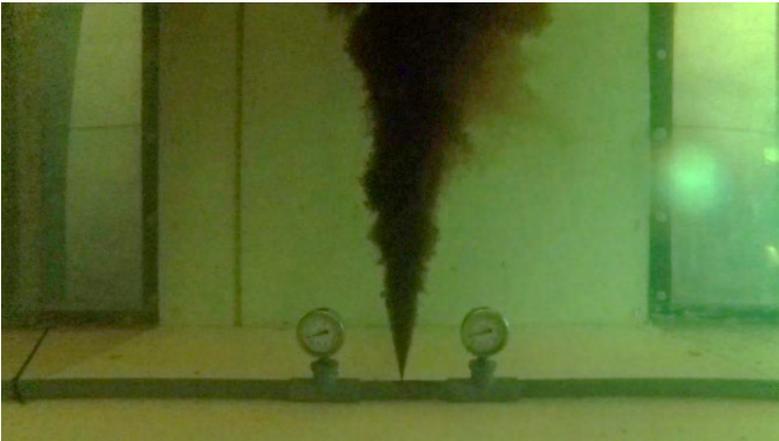
Dalam kondisi ini, bentuk semburan kebocoran langsung berbentuk seperti awan atau bulu – bulu dan tidak terlihat bentuk gelembung – gelembung yang terjadi seperti pada percobaan natural. Perubahan bentuk ini terjadi karena tekanan yang terjadi pada pipa dan kapasitas kebocoran yang tinggi sehingga kecepatannya meningkat dibandingkan dengan percobaan natural. Gambar 4.10 menunjukkan pergerakan yang hampir sama

dengan gambar 4.9. Ini membuktikan bahwa kebocoran yang terjadi membentuk pola pergerakan yang sama dan penyebaran yang sama dalam waktu tertentu.



Gambar. 4.10 Kebocoran minyak pada saat tekanan 0.5 bar

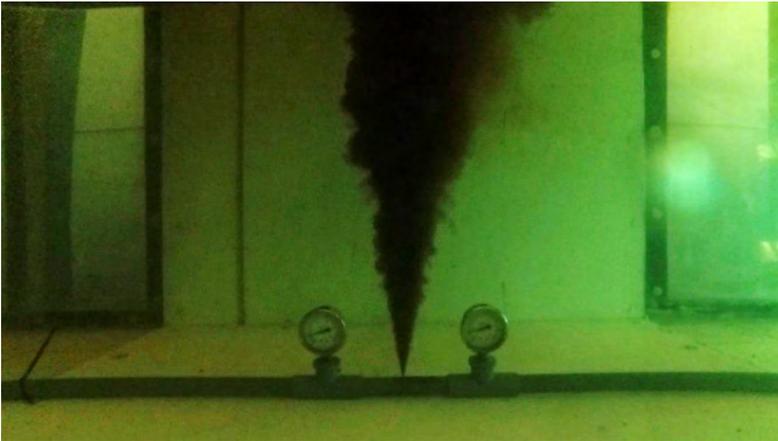
c. Tekanan 1 bar



Gambar. 4.11 Kebocoran minyak pada saat tekanan 1 bar

Gambar 4.11 menunjukkan kebocoran minyak yang terjadi pada saat pompa beroperasi dan tekanan yang ada 1 bar dengan mengatur sudut *valve*. Kebocoran minyak tidak berbentuk gelembung – gelembung namun sudah menyebar. Berbeda dengan kondisi natural yang bentuk aliran kebocorannya berupa gelembung – gelembung kecil dan pola pergerakannya lambat.

Dalam kondisi ini, bentuk semburan kebocoran langsung berbentuk seperti awan atau bulu – bulu dan tidak terlihat bentuk gelembung – gelembung yang terjadi seperti pada percobaan natural. Perubahan bentuk ini terjadi karena tekanan yang terjadi pada pipa dan kapasitas kebocoran yang tinggi sehingga kecepatannya meningkat dibandingkan dengan percobaan natural. Gambar 4.12 menunjukkan pergerakan yang hampir sama dengan gambar 4.11. Ini membuktikan bahwa kebocoran yang terjadi membentuk pola pergerakan yang sama dan penyebaran yang sama dalam waktu tertentu.



Gambar. 4.12 Kebocoran minyak pada saat tekanan 1 bar

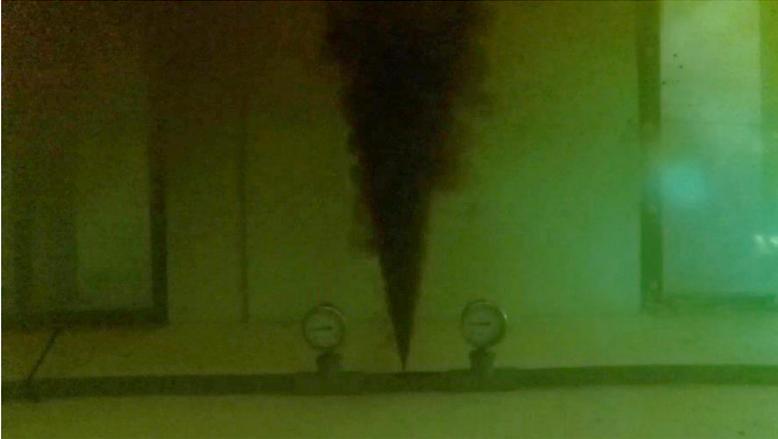
d. Tekanan 1,5 bar

Gambar. 4.13 Kebocoran minyak pada saat tekanan 1.5 bar

Gambar 4.13 menunjukkan kebocoran minyak yang terjadi pada saat pompa beroperasi dan tekanan yang ada 1.5 bar. Kebocoran minyak tidak berbentuk gelembung – gelembung namun sudah menyebar. Berbeda dengan kondisi natural yang bentuk aliran kebocorannya berupa gelembung - gelembung kecil dan pola pergerakannya lambat.

Dalam kondisi ini, bentuk semburan kebocoran langsung berbentuk seperti awan atau bulu – bulu dan tidak terlihat bentuk gelembung – gelembung yang terjadi seperti pada percobaan natural. Perubahan bentuk ini terjadi karena tekanan yang terjadi pada pipa dan kapasitas kebocoran yang tinggi sehingga kecepatannya meningkat dibandingkan dengan percobaan natural. Gambar 4.14 menunjukkan pergerakan yang hampir sama dengan gambar 4.13. Ini membuktikan bahwa kebocoran

yang terjadi membentuk pola pergerakan yang sama dan penyebaran yang sama dalam waktu tertentu.



Gambar. 4.14 Kebocoran minyak pada saat tekanan 1.5 bar

e. Tekanan 2 bar



Gambar. 4.15 Kebocoran minyak pada saat tekanan 2 bar

Gambar 4.15 menunjukkan kebocoran minyak yang terjadi pada saat pompa beroperasi dan tekanan

yang ada 2 bar dengan mengatur sudut *valve*. Kebocoran minyak tidak berbentuk gelembung – gelembung namun sudah menyebar. Berbeda dengan kondisi natural yang bentuk aliran kebocorannya berupa gelembung - gelembung kecil dan pola pergerakannya lambat.

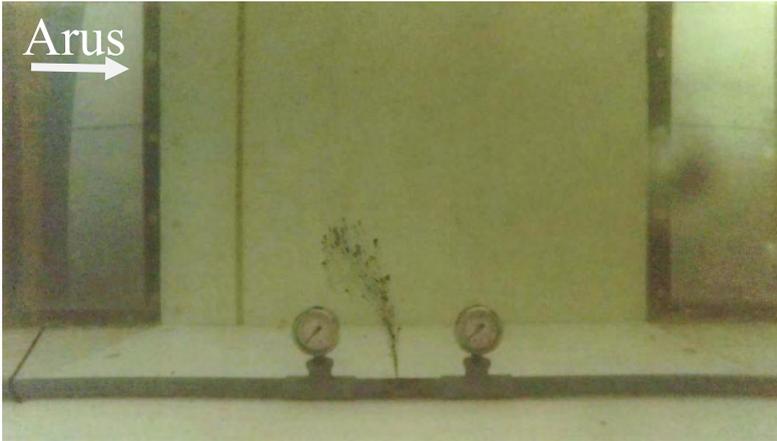
Dalam kondisi ini, bentuk semburan kebocoran langsung berbentuk seperti awan atau bulu – bulu dan tidak terlihat bentuk gelembung – gelembung yang terjadi seperti pada percobaan natural. Namun kondisi lingkungan langsung keruh. Perubahan bentuk ini terjadi karena tekanan yang terjadi pada pipa dan kapasitas kebocoran yang tinggi sehingga kecepatannya meningkat dibandingkan dengan percobaan natural. Gambar 4.16 menunjukkan pergerakan yang hampir sama dengan gambar 4.15. Ini membuktikan bahwa kebocoran yang terjadi membentuk pola pergerakan yang sama dan penyebaran yang sama dalam waktu tertentu.



Gambar. 4.16 Kebocoran minyak pada saat tekanan 2 bar

4.2.3 Hasil Gambar dengan adanya Arus

a. Tekanan natural



Gambar. 4.17 Kebocoran minyak pada saat kondisi natural

Gambar 4.17 menunjukkan kebocoran minyak yang terjadi pada saat pipa sudah terisi oleh *Crude Oil*, namun pompa sudah tidak bekerja. Kondisi air berarus dengan kecepatan 0.2 m/s. Yang terjadi yakni minyak yang keluar dari titik kebocoran berupa gelembung gelembung kecil dan pergerakannya berbeda daripada kondisi lingkaran tenang (tidak ada arus). Dalam kondisi ini, minyak baru keluar dari titik kebocoran.

Pergerakan kebocoran yang terjadi dari lubang kebocoran pada jarak tertentu menuju arah arus dan tidak mengikuti arah arus. Ini berbeda dengan pemahaman bahwa kebocoran yang terjadi nantinya akan mengikuti arah arus. Hal ini terjadi bisa diakibatkan karena perbedaan kecepatan pada *nozzle* pembuat arus sehingga

arus pada tiap titik berbeda ataupun bisa disebabkan oleh faktor lainnya.

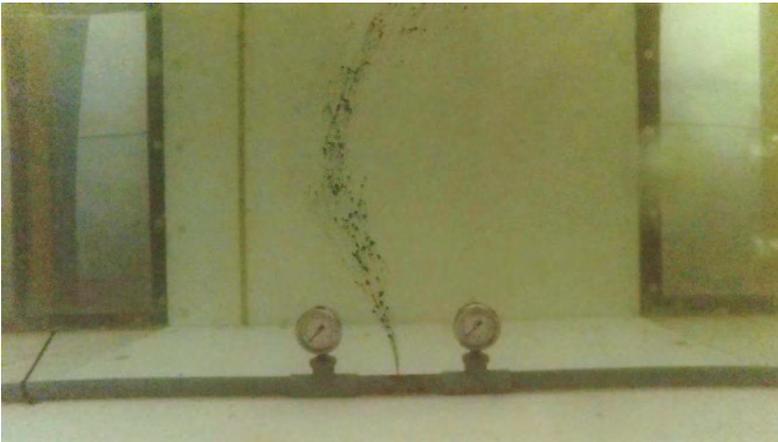


Gambar. 4.18 Kebocoran minyak pada saat kondisi natural

Gambar 4.18 menunjukkan pergerakan kebocoran minyak yang terjadi pada saat pipa sudah terisi oleh *Crude Oil*, namun pompa sudah tidak bekerja. Kondisi air berarus dengan kecepatan 0.2 m/s . Pergerakan ini lanjutan dari gambar 4.8 dan sampai minyak sudah mencapai permukaan air, arah dari aliran kebocoran yang terjadi masih sama seperti gambar 4.17. Namun dalam beberapa saat pergerakan tersebut pergerakan dan arah dari aliran kebocoran minyak berubah. Hal ini disebabkan karena arus yang terjadi pada flow channel. Perubahan pergerakan aliran kebocoran minyak terlihat pada gambar 4.19 dan gambar 4.20. Untuk pergerakan yang konstan atau tetap tidak bisa dipresiksi karena adanya factor arus yang terjadi di lingkungan sekitar.



Gambar. 4.19 Kebocoran minyak pada saat kondisi natural



Gambar. 4.20 Kebocoran minyak pada saat kondisi natural

Gambar 4.20 menunjukkan perubahan drastis arah aliran yang awalnya berlawanan arah arus sampai mengikuti arah arus dengan jarak tertentu dari lubang kebocoran.

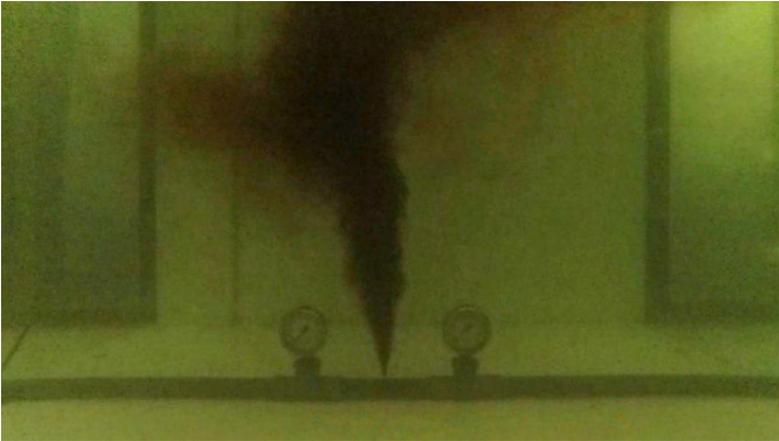
b. Tekanan 0,5 bar

Gambar. 4.21 Kebocoran minyak pada saat tekanan 0.5 bar

Gambar 4.21 meunjukkan kebocoran minyak yang terjadi pada saat pompa beroperasi dan tekanan yang ada 0.5 bar dengan kondisi lingkungan berarus dengan kecepatan 0.2 m/s. Kebocoran minyak tidak berbentuk gelembung – gelembung namun sudah menyebar. Berbeda dengan kondisi natural yang bentuk aliran kebocorannya berupa gelembung - gelembung kecil dan pola pergerakannya lambat.

Dalam kondisi ini, bentuk semburan kebocoran langsung berbentuk seperti awan atau bulu – bulu dan tidak terlihat bentuk gelembung – gelembung yang terjadi seperti pada percobaan natural. Perubahan bentuk ini terjadi karena teknanan yang terjadi pada pipa dan kapasitas kebocoran yang tinggi sehingga kecepatannya meningkat dibandingkan dengan percobaan natural. Namun perbedaan pergerakan dengan kondisi lingkungan tanpa arus dengan adanya arus terlihat dari perbandingan

Gambar 4.11 dan Gambar. 4.21. Pada Gambar 4.11 dari titik kebocoran sampai permukaan air, aliran tidak berubah atau konstan. Berbeda dengan Gambar 4.21 yang dimana pada jarak tertentu dari titik kebocoran terjadi perubahan arah atau aliran yang ini disebabkan oleh arus yang ada ditunjukkan pada gambar 4.22 dan gambar 4.23.



Gambar. 4.22 Kebocoran minyak pada saat tekanan 0.5 bar



Gambar. 4.23 Kebocoran minyak pada saat tekanan 0.5 bar

c. Tekanan 1 bar

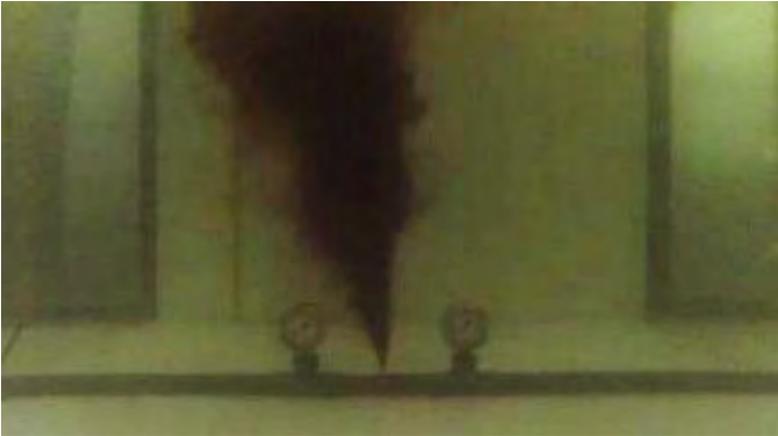


Gambar. 4.24 Kebocoran minyak pada saat tekanan 1 bar

Gambar 4.24 menunjukkan kebocoran minyak yang terjadi pada saat pompa beroperasi dan tekanan yang ada 1 bar dengan kondisi lingkungan berarus dengan kecepatan 0.2 m/s. Kebocoran minyak yang terjadi tidak berbentuk gelembung – gelembung namun sudah berbentuk seperti awan atau bulu – bulu halus. Berbeda dengan kondisi natural yang bentuk aliran kebocorannya berupa gelembung - gelembung kecil dan pola pergerakannya lambat.

Dalam kondisi ini, bentuk semburan kebocoran langsung berbentuk seperti awan atau bulu – bulu dan tidak terlihat bentuk gelembung – gelembung yang terjadi seperti pada percobaan natural. Perubahan bentuk ini terjadi karena teknanan yang terjadi pada pipa dan kapasitas kebocoran yang tinggi sehingga kecepatannya meningkat dibandingkan dengan percobaan natural. Namun perbedaan pergerakan dengan kondisi lingkungan

tanpa arus dengan adanya arus terlihat dari perbandingan Gambar 4.11 dan Gambar. 4.24. Pada Gambar 4.11 dari titik kebocoran sampai permukaan air, aliran tidak berubah atau konstan. Berbeda dengan Gambar 4.24 yang dimana pada jarak tertentu dari titik kebocoran terjadi perubahan arah atau aliran yang ini disebabkan oleh arus.



Gambar. 4.25 Kebocoran minyak pada saat tekanan 1 bar



Gambar. 4.26 Kebocoran minyak pada saat tekanan 1 bar

d. Tekanan 1,5 bar

Gambar. 4.27 Kebocoran minyak pada saat tekanan 1.5 bar

Gambar 4.22 menunjukkan kebocoran minyak yang terjadi pada saat pompa beroperasi dan tekanan yang ada 1.5 bar dengan kondisi lingkungan berarus dengan kecepatan 0.2 m/s. Kebocoran minyak yang terjadi tidak berbentuk gelembung – gelembung namun sudah berbentuk seperti awan atau bulu – bulu halus. Berbeda dengan kondisi natural yang bentuk aliran kebocorannya berupa gelembung - gelembung kecil dan pola pergerakannya lambat.

Dalam kondisi ini, bentuk semburan kebocoran langsung berbentuk seperti awan atau bulu – bulu dan tidak terlihat bentuk gelembung – gelembung yang terjadi seperti pada percobaan natural. Perubahan bentuk ini terjadi karena teknanan yang terjadi pada pipa dan kapasitas kebocoran yang tinggi sehingga kecepatannya meningkat dibandingkan dengan percobaan natural.

Namun perbedaan pergerakan dengan kondisi lingkungan tanpa arus dengan adanya arus terlihat dari perbandingan Gambar 4.13 dan Gambar. 4.28. Pada Gambar 4.13 dari titik kebocoran sampai permukaan air, aliran tidak berubah atau konstan. Berbeda dengan Gambar 4.28 yang dimana pada jarak tertentu dari titik kebocoran terjadi perubahan arah atau aliran yang ini disebabkan oleh arus.



Gambar. 4.28 Kebocoran minyak pada saat tekanan 1.5 bar

e. Tekanan 2 bar

Gambar 4.29 menunjukkan kebocoran minyak yang terjadi pada saat pompa beroperasi dan tekanan yang ada 2 bar dengan kondisi lingkungan berarus dengan kecepatan 0.2 m/s. Kebocoran minyak yang terjadi tidak berbentuk gelembung – gelembung namun sudah berbentuk seperti awan atau bulu – bulu halus. Berbeda dengan kondisi natural yang bentuk aliran kebocorannya berupa gelembung - gelembung kecil dan pola pergerakannya lambat.

Dalam kondisi ini, bentuk semburan kebocoran langsung berbentuk seperti awan atau bulu – bulu dan tidak terlihat bentuk gelembung – gelembung yang terjadi seperti pada percobaan natural. Perubahan bentuk ini terjadi karena teknanan yang terjadi pada pipa dan kapasitas kebocoran yang tinggi sehingga kecepatannya meningkat dibandingkan dengan percobaan natural. Namun perbedaan pergerakan dengan kondisi lingkungan tanpa arus dengan adanya arus terlihat dari perbandingan Gambar 4.16 dan Gambar. 4.29. Pada Gambar 4.16 dari titik kebocoran sampai permukaan air, aliran tidak berubah atau konstan. Berbeda dengan Gambar 4.29 yang dimana pada jarak tertentu dari titik kebocoran terjadi perubahan arah atau aliran yang ini disebabkan oleh arus. Selain itu lingkungan di sekitar juga keruh karena akibat semburan kebocoran yang terjadi.

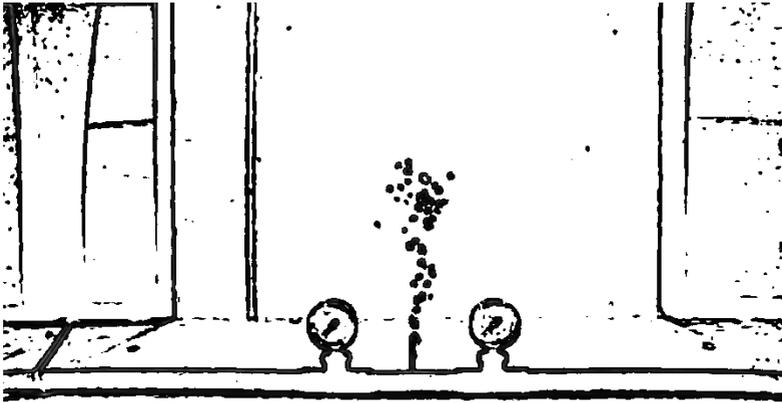


Gambar. 4.29 Kebocoran minyak pada saat tekanan 2 bar

4.3. Analisa Gambar atau Video

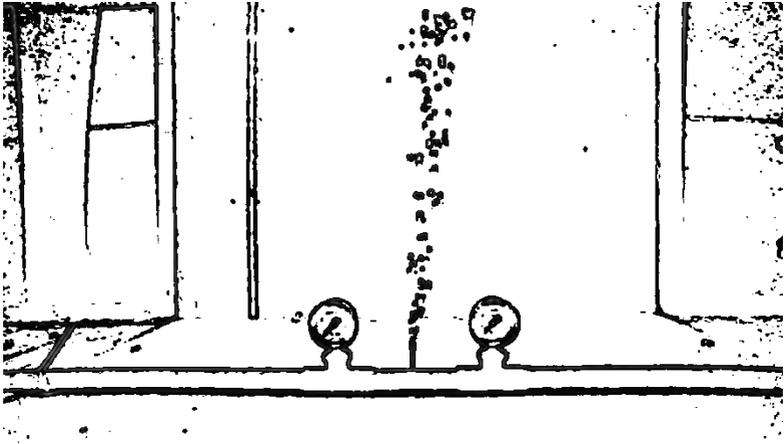
4.3.1 Analisa Hasil Gambar dengan tanpa Arus

a. Tekanan 0 bar



Gambar. 4.30 Sketsa Kebocoran minyak pada saat kondisi natural

Gambar 4.30 menunjukkan sketsa kebocoran minyak yang terjadi pada saat pipa sudah terisi oleh *Crude Oil*, namun pompa sudah tidak bekerja. Kondisi air tenang dan tidak ada arus. Yang terjadi yakni minyak yang keluar dari titik kebocoran berupa gelembung gelembung kecil dan pergerakannya lambat. Minyak yang keluar tidak menyebar melainkan berupa gelembung – gelembung kecil yang penyebarannya kecil (tidak luas). Dalam kondisi ini, minyak baru keluar dari titik kebocoran.

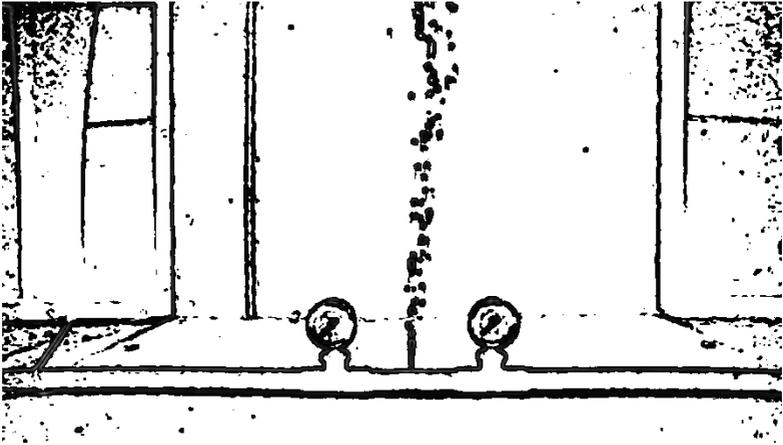


Gambar. 4.31 Sketsa kebocoran minyak pada saat kondisi natural

Gambar 4.31 merupakan sketsa hasil dari lanjutan pengamatan gambar 4.30 dengan kondisi lingkungan seperti pada penjelasan tersebut. Namun pada gambar 4.31 ini merupakan pergerakan kebocoran yang terjadi sudah bisa dikatakan hampir konstan, maksudnya adalah penyebaran yang terjadi masih sempit (tidak luas) dan kecepatan relatif lambat yang ditunjukkan gambar 4.32. Dalam kondisi ini, minyak sudah mencapai permukaan air yakni sekitar 0.8 meter dari dasar.

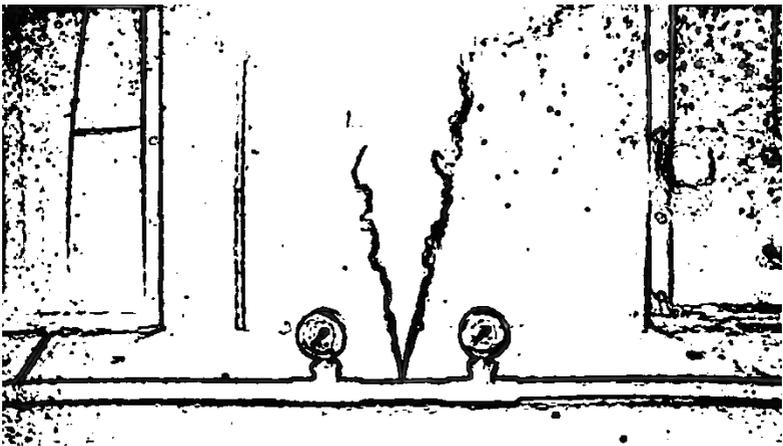
Gambar 4.32 merupakan sketsa lanjutan dari Gambar. 4.31 yang menunjukkan kebocoran minyak yang terjadi pada saat pipa sudah terisi oleh *Crude Oil*, namun pompa sudah tidak bekerja. Kondisi air tenang dan tidak ada arus. Yang terjadi yakni minyak yang keluar dari titik kebocoran berupa gelembung gelembung kecil dan pergerakannya lambat. Dalam kondisi ini, minyak sudah melakukan pergerakan yang hampir tetap (konstan)

sehingga pola pergerakannya hampir sama dan masih dalam bentuk gelembung gelembung kecil.



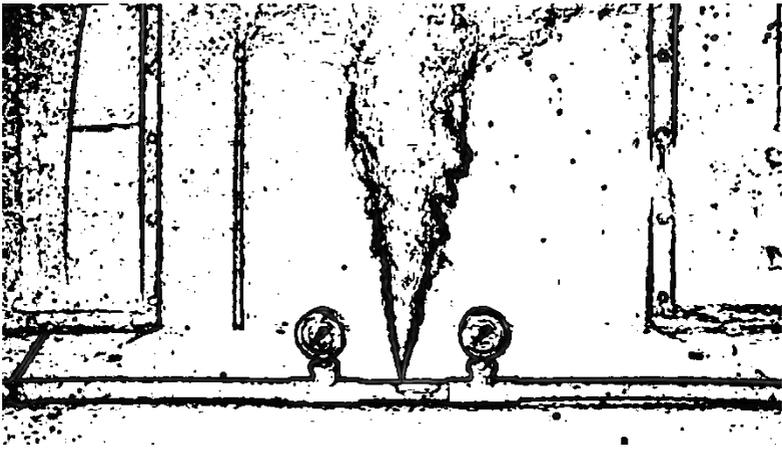
Gambar. 4.32 Sketsa kebocoran minyak yang pergerakannya konstan

b. Tekanan 0,5 bar



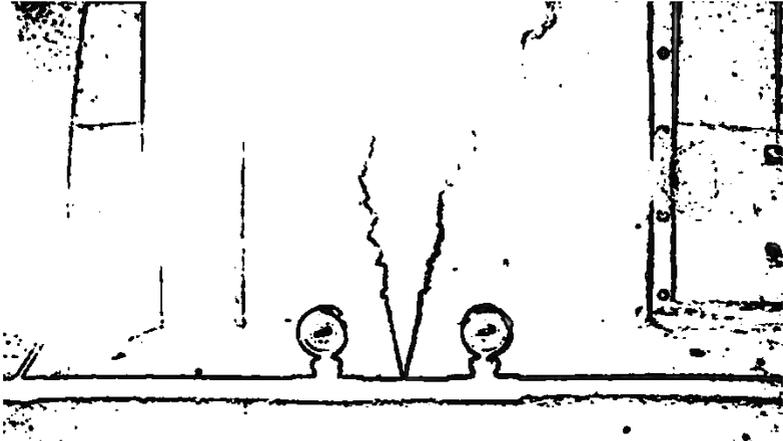
Gambar. 4.33 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 0.5 bar

Gambar 4.33 menunjukkan sketsa kebocoran minyak yang terjadi pada saat pompa beroperasi dan tekanan yang ada 0.5 bar dengan mengatur sudut *valve*. Kebocoran minyak tidak berbentuk gelembung – gelembung namun sudah menyebar. Berbeda dengan kondisi natural yang bentuk aliran kebocorannya berupa gelembung - gelembung kecil dan pola pergerakannya lambat. Dalam kondisi ini, bentuk semburan kebocoran langsung berbentuk seperti awan atau bulu – bulu dan tidak terlihat bentuk gelembung – gelembung yang terjadi seperti pada percobaan natural. Perubahan bentuk ini terjadi karena tekanan yang terjadi pada pipa dan kapasitas kebocoran yang tinggi sehingga kecepatannya meningkat dibandingkan dengan percobaan natural. Gambar 4.33 menunjukkan pergerakan yang hampir sama dengan gambar 4.34. Ini membuktikan bahwa kebocoran yang terjadi membentuk pola pergerakan yang sama dan penyebaran yang sama dalam waktu tertentu.



Gambar. 4.34 Kebocoran minyak pada saat tekanan 0.5 bar

c. Tekanan 1 bar

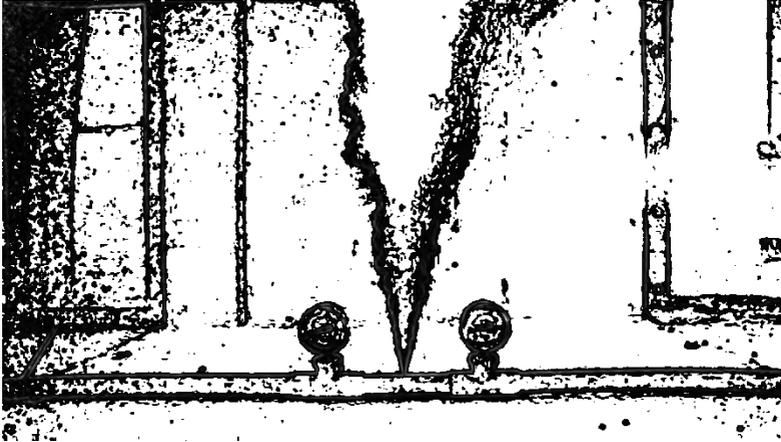


Gambar. 4.35 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 1 bar

Gambar 4.35 menunjukkan sketsa kebocoran minyak yang terjadi pada saat pompa beroperasi dan tekanan yang ada 1 bar dengan mengatur sudut *valve*. Kebocoran minyak tidak berbentuk gelembung – gelembung namun sudah menyebar. Berbeda dengan kondisi natural yang bentuk aliran kebocorannya berupa gelembung - gelembung kecil dan pola pergerakannya lambat.

Dalam kondisi ini, bentuk semburan kebocoran langsung berbentuk seperti awan atau bulu – bulu dan tidak terlihat bentuk gelembung – gelembung yang terjadi seperti pada percobaan natural. Perubahan bentuk ini terjadi karena tekanan yang terjadi pada pipa dan kapasitas kebocoran yang tinggi sehingga kecepatannya meningkat dibandingkan dengan percobaan natural. Gambar 4.35 menunjukkan pergerakan yang hampir sama

dengan gambar 4.36. Ini membuktikan bahwa kebocoran yang terjadi membentuk pola pergerakan yang sama dan penyebaran yang sama dalam waktu tertentu.



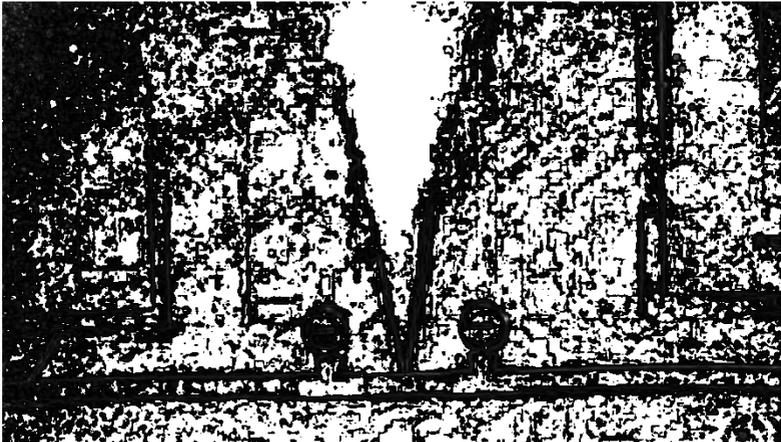
Gambar. 4.36 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 1 bar

d. Tekanan 1,5 bar



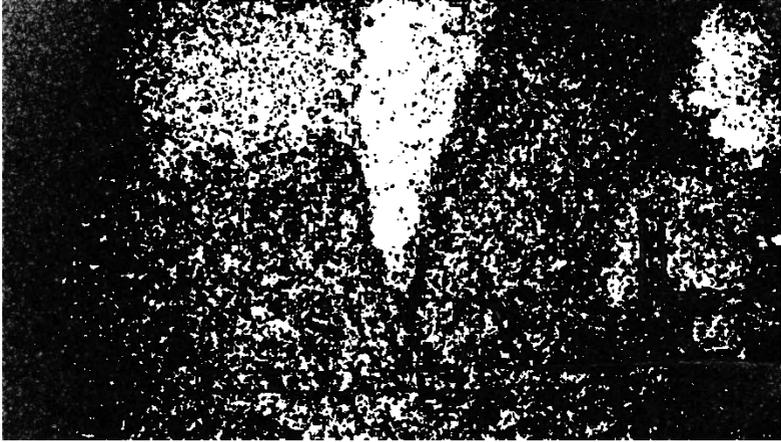
Gambar. 4.37 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 1.5 bar

Gambar 4.37 menunjukkan sketsa kebocoran minyak yang terjadi pada saat pompa beroperasi dan tekanan yang ada 1.5 bar. Kebocoran minyak tidak berbentuk gelembung – gelembung namun sudah menyebar. Berbeda dengan kondisi natural yang bentuk aliran kebocorannya berupa gelembung - gelembung kecil dan pola pergerakannya lambat. Dalam kondisi ini, bentuk semburan kebocoran langsung berbentuk seperti awan atau bulu – bulu dan tidak terlihat bentuk gelembung – gelembung yang terjadi seperti pada percobaan natural. Perubahan bentuk ini terjadi karena tekanan yang terjadi pada pipa dan kapasitas kebocoran yang tinggi sehingga kecepatannya meningkat dibandingkan dengan percobaan natural. Gambar 4.38 menunjukkan pergerakan yang hampir sama dengan gambar 4.37. Ini membuktikan bahwa kebocoran yang terjadi membentuk pola pergerakan yang sama dan penyebaran yang sama dalam waktu tertentu.



Gambar. 4.38 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 1.5 bar

e. Tekanan 2 bar



Gambar. 4.39 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 2 bar

Gambar 4.39 menunjukkan kebocoran minyak yang terjadi pada saat pompa beroperasi dan tekanan yang ada 2 bar dengan mengatur sudut *valve*. Kebocoran minyak tidak berbentuk gelembung – gelembung namun sudah menyebar. Berbeda dengan kondisi natural yang bentuk aliran kebocorannya berupa gelembung - gelembung kecil dan pola pergerakannya lambat.

Dalam kondisi ini, bentuk semburan kebocoran langsung berbentuk seperti awan atau bulu – bulu dan tidak terlihat bentuk gelembung – gelembung yang terjadi seperti pada percobaan natural. Namun kondisi lingkungan langsung keruh. Perubahan bentuk ini terjadi karena tekanan yang terjadi pada pipa dan kapasitas kebocoran yang tinggi sehingga kecepatannya meningkat dibandingkan dengan percobaan natural. Gambar 4.40 menunjukkan pergerakan yang hampir sama dengan gambar 4.39. Ini membuktikan bahwa kebocoran yang

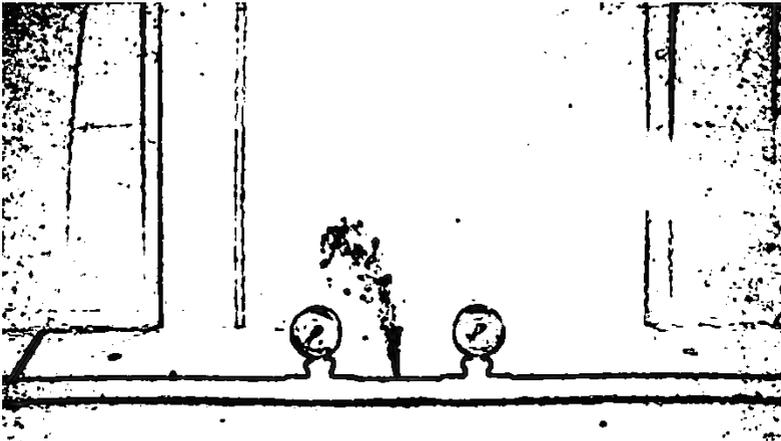
terjadi membentuk pola pergerakan yang sama dan penyebaran yang sama dalam waktu tertentu.



Gambar. 4.40 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 2 bar

4.3.2 Analisa Hasil Gambar dengan adanya Arus

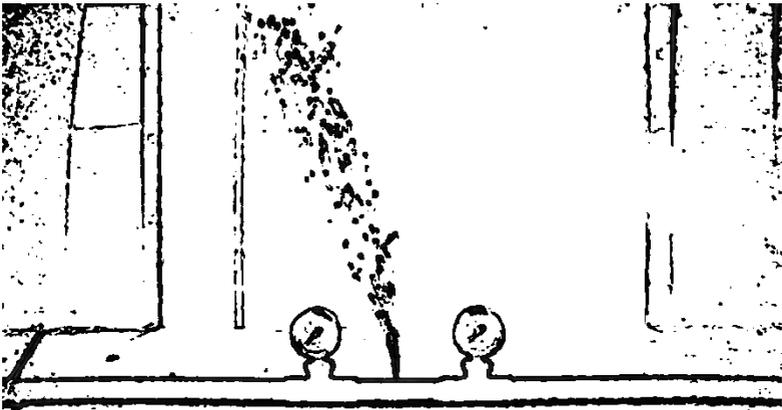
a. Tekanan natural



Gambar. 4.41 Sketsa kebocoran minyak pada saat kondisi natural

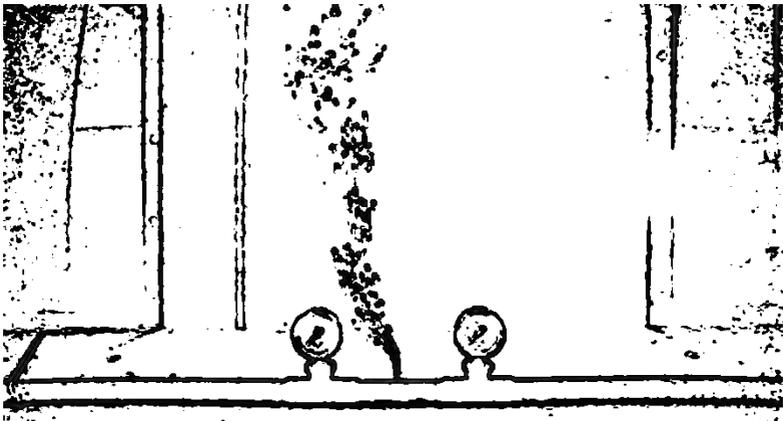
Gambar 4.41 menunjukkan sketsa kebocoran minyak yang terjadi pada saat pipa sudah terisi oleh *Crude Oil*, namun pompa sudah tidak bekerja. Kondisi air berarus dengan kecepatan 0.2 m/s. Yang terjadi yakni minyak yang keluar dari titik kebocoran berupa gelembung gelembung kecil dan pergerakannya berbeda daripada kondisi lingkaran tenang (tidak ada arus). Dalam kondisi ini, minyak baru keluar dari titik kebocoran.

Pergerakan kebocoran yang terjadi dari lubang kebocoran pada jarak tertentu menuju arah arus dan tidak mengikuti arah arus. Ini berbeda dengan pemahaman bahwa kebocoran yang terjadi nantinya akan mengikuti arah arus. Hal ini terjadi bisa diakibatkan karena perbedaan kecepatan pada *nozzle* pembuat arus sehingga arus pada tiap titik berbeda ataupun bisa disebabkan oleh faktor lainnya.

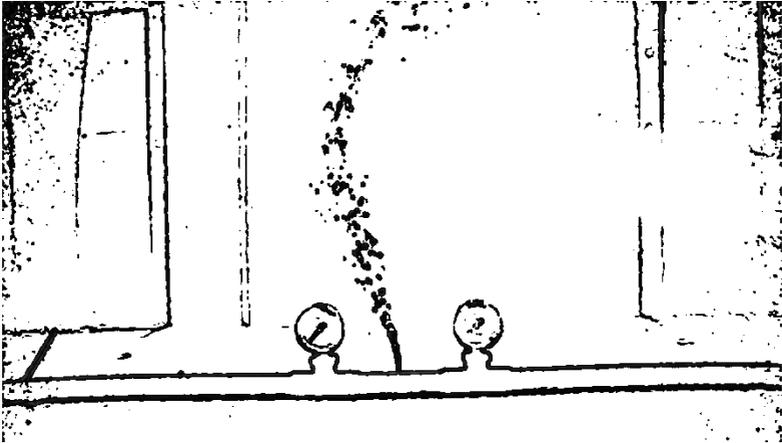


Gambar. 4.42 Sketsa kebocoran minyak pada saat kondisi natural

Gambar 4.42 menunjukkan sketsa pergerakan kebocoran minyak yang terjadi pada saat pipa sudah terisi oleh *Crude Oil*, namun pompa sudah tidak bekerja. Kondisi air berarus dengan kecepatan 0.2 m/s. Pergerakan ini lanjutan dari gambar 4.42 dan sampai minyak sudah mencapai permukaan air, arah dari aliran kebocoran yang terjadi masih sama seperti gambar 4.18. Namun dalam beberapa saat pergerakan tersebut pergerakan dan arah dari aliran kebocoran minyak berubah. Hal ini disebabkan karena arus yang terjadi pada flow channel. Perubahan pergerakan aliran kebocoran minyak terlihat pada gambar 4.43 dan gambar 4.44. Untuk pergerakan yang konstan atau tetap tidak bisa dipresiksi karena adanya factor arus yang terjadi di lingkungan sekitar.



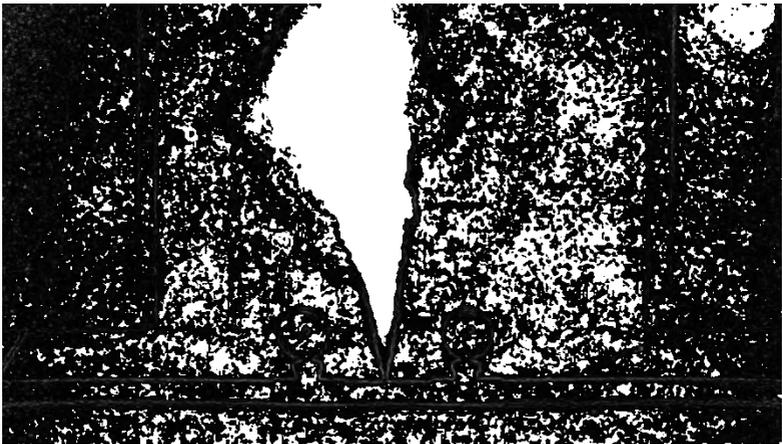
Gambar. 4.43 Sketsa kebocoran minyak pada saat kondisi natural



Gambar. 4.44 Sketsa kebocoran minyak pada saat kondisi natural

Gambar 4.44 menunjukkan sketsa perubahan drastis arah aliran yang awalnya berlawanan arah arus sampai mengikuti arah arus dengan jarak tertentu dari lubang kebocoran.

b. Tekanan 0,5 bar



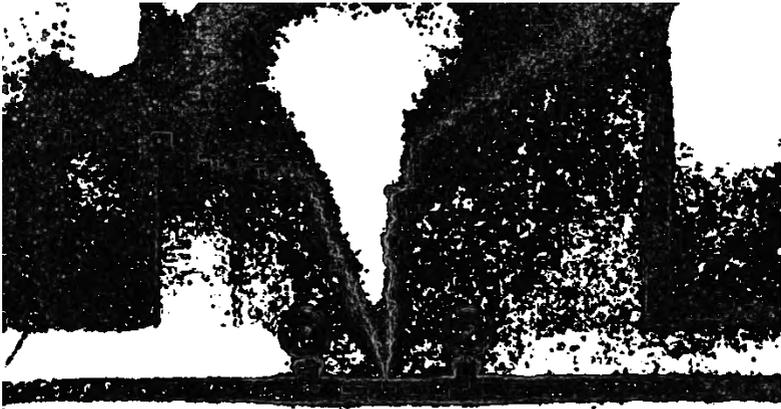
Gambar. 4.45 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 0.5 bar

Gambar 4.45 menunjukkan kebocoran minyak yang terjadi pada saat pompa beroperasi dan tekanan yang ada 0.5 bar dengan kondisi lingkungan berarus dengan kecepatan 0.2 m/s. Kebocoran minyak tidak berbentuk gelembung – gelembung namun sudah menyebar. Berbeda dengan kondisi natural yang bentuk aliran kebocorannya berupa gelembung - gelembung kecil dan pola pergerakannya lambat.

Dalam kondisi ini, bentuk semburan kebocoran langsung berbentuk seperti awan atau bulu – bulu dan tidak terlihat bentuk gelembung – gelembung yang terjadi seperti pada percobaan natural. Perubahan bentuk ini terjadi karena tekanan yang terjadi pada pipa dan kapasitas kebocoran yang tinggi sehingga kecepatannya meningkat dibandingkan dengan percobaan natural. Namun perbedaan pergerakan dengan kondisi lingkungan tanpa arus dengan adanya arus terlihat dari perbandingan Gambar 4.34 dan Gambar. 4.45. Pada Gambar 4.34 dari titik kebocoran sampai permukaan air, aliran tidak berubah atau konstan. Berbeda dengan Gambar 4.45 yang dimana pada jarak tertentu dari titik kebocoran terjadi perubahan arah atau aliran yang ini disebabkan oleh arus yang ada ditunjukkan pada ambar 4.46 dan gambar 4.47.

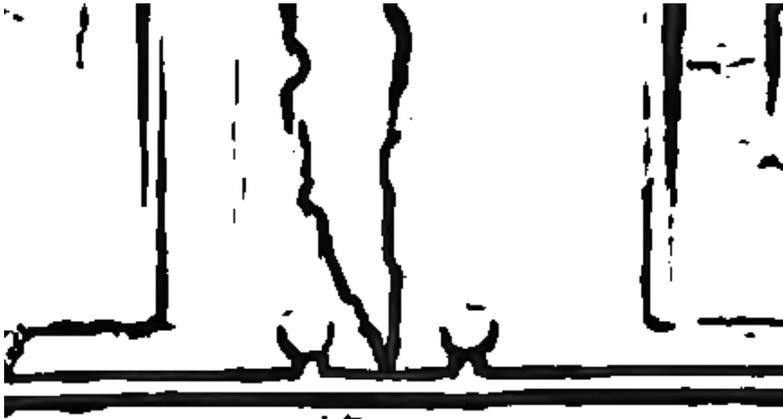


Gambar. 4.46 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 0.5 bar



Gambar. 4.47 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 0.5 bar

c. Tekanan 1 bar



Gambar. 4.48 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 1 bar

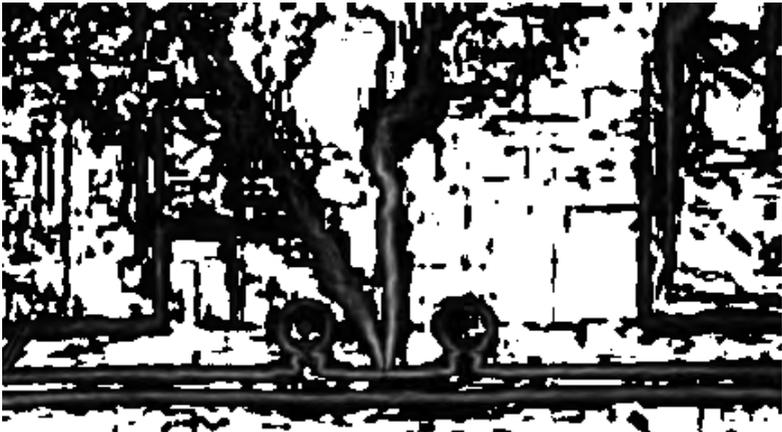
Gambar 4.49 menunjukkan sketsa kebocoran minyak yang terjadi pada saat pompa beroperasi dan tekanan yang ada 1 bar dengan kondisi lingkungan berarus dengan kecepatan 0.2 m/s. Kebocoran minyak yang terjadi tidak berbentuk gelembung – gelembung namun sudah berbentuk seperti awan atau bulu – bulu halus. Berbeda dengan kondisi natural yang bentuk aliran kebocorannya berupa gelembung - gelembung kecil dan pola pergerakannya lambat.

Dalam kondisi ini, bentuk semburan kebocoran langsung berbentuk seperti awan atau bulu – bulu dan tidak terlihat bentuk gelembung – gelembung yang terjadi seperti pada percobaan natural. Perubahan bentuk ini terjadi karena tekanan yang terjadi pada pipa dan kapasitas kebocoran yang tinggi sehingga kecepatannya meningkat dibandingkan dengan percobaan natural. Namun perbedaan pergerakan dengan kondisi lingkungan

tanpa arus dengan adanya arus terlihat dari perbandingan Gambar 4.36 dan Gambar. 4.49. Pada Gambar 4.36 dari titik kebocoran sampai permukaan air, aliran tidak berubah atau konstan. Berbeda dengan Gambar 4.49 yang dimana pada jarak tertentu dari titik kebocoran terjadi perubahan arah atau aliran yang ini disebabkan oleh arus.

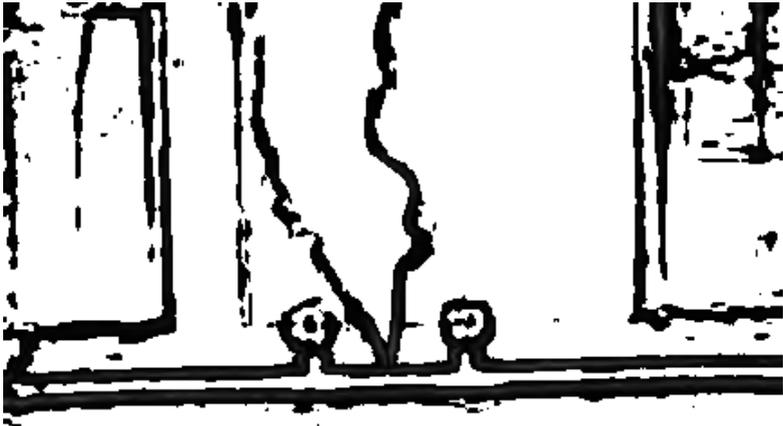


Gambar. 4.49 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 1 bar



Gambar. 4.50 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 1 bar

d. Tekanan 1,5 bar



Gambar. 4.51 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 1.5 bar

Gambar 4.52 menunjukkan sketsa kebocoran minyak yang terjadi pada saat pompa beroperasi dan tekanan yang ada 1.5 bar dengan kondisi lingkungan berarus dengan kecepatan 0.2 m/s. Kebocoran minyak yang terjadi tidak berbentuk gelembung – gelembung namun sudah berbentuk seperti awan atau bulu – bulu halus. Berbeda dengan kondisi natural yang bentuk aliran kebocorannya berupa gelembung - gelembung kecil dan pola pergerakannya lambat.

Dalam kondisi ini, bentuk semburan kebocoran langsung berbentuk seperti awan atau bulu – bulu dan tidak terlihat bentuk gelembung – gelembung yang terjadi seperti pada percobaan natural. Perubahan bentuk ini terjadi karena tekanan yang terjadi pada pipa dan kapasitas kebocoran yang tinggi sehingga kecepatannya meningkat dibandingkan dengan percobaan natural.

Namun perbedaan pergerakan dengan kondisi lingkungan tanpa arus dengan adanya arus terlihat dari perbandingan Gambar 4.38 dan Gambar. 4.52. Pada Gambar 4.38 dari titik kebocoran sampai permukaan air, aliran tidak berubah atau konstan. Berbeda dengan Gambar 4.52 yang dimana pada jarak tertentu dari titik kebocoran terjadi perubahan arah atau aliran yang ini disebabkan oleh arus.



Gambar. 4.52 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 1.5 bar

e. Tekanan 2 bar

Gambar 4.53 menunjukkan sketsa kebocoran minyak yang terjadi pada saat pompa beroperasi dan tekanan yang ada 2 bar dengan kondisi lingkungan berarus dengan kecepatan 0.2 m/s. Kebocoran minyak yang terjadi tidak berbentuk gelembung – gelembung namun sudah berbentuk seperti awan atau bulu – bulu halus. Berbeda dengan kondisi natural yang bentuk aliran

kebocorannya berupa gelembung - gelembung kecil dan pola pergerakannya lambat.



Gambar. 4.53 Sketsa kebocoran minyak pada saat tekanan 2 bar

Dalam kondisi ini, bentuk semburan kebocoran langsung berbentuk seperti awan atau bulu – bulu dan tidak terlihat bentuk gelembung – gelembung yang terjadi seperti pada percobaan natural. Perubahan bentuk ini terjadi karena teknanan yang terjadi pada pipa dan kapasitas kebocoran yang tinggi sehingga kecepatannya meningkat dibandingkan dengan percobaan natural. Namun perbedaan pergerakan dengan kondisi lingkungan tanpa arus dengan adanya arus terlihat dari perbandingan Gambar 4.40 dan Gambar. 4.53. Pada Gambar 4.40 dari titik kebocoran sampai permukaan air, aliran tidak berubah atau konstan. Berbeda dengan Gambar 4.53 yang dimana pada jarak tertentu dari titik kebocoran terjadi perubahan arah atau aliran yang ini disebabkan oleh arus. Selain itu lingkungan di sekitar juga keruh karena akibat semburan kebocoran yang terjadi.

4.4. Hasil Pengujian

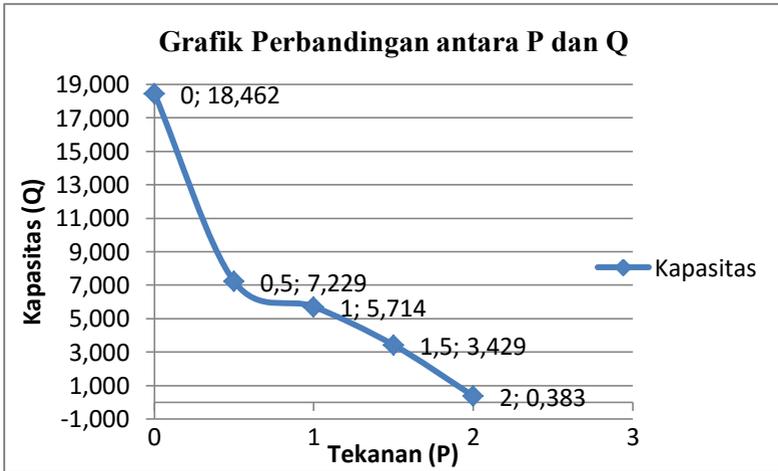
Dari hasil pengujian yang dilakukan di *Flow Channel Laboratory of Marine Machinery Fluid* didapatkan beberapa data yakni tekanan awal (P1), tekanan setelah terjadi kebocoran (P2), kapasitas (Q0) sistem normal (tanpa kebocoran dan pengauran katup valve), kapasitas (Q1) pada masing – masing tekanan. Sehingga didapatkan Pressure Drop pada sistem dan perbedaan kapasitas yang terjadi. Dimana kapasitas (Q0) sistem tersebut adalah 18,462 lt/menit. Berikut adalah data yang didapatkan dari hasil percobaan :

Tabel.4.2 Hasil Pengujian sistem pada flow channel

P1	Q1 (lt/mnt)	P2	ΔP	Q0-Q1 (lt/mnt)	Sudut
0,5 bar	7,229	0,4 bar	0,1	11,233	55 ⁰
1 bar	5,714	0,8 bar	0,2	12,747	65 ⁰
1,5 bar	3,429	1,3 bar	0,2	15,033	70 ⁰
2 bar	0,383	1,8 bar	0,2	18,079	80 ⁰

Dari data tabel 4.2, terlihat bahwa ada perubahan kapasitas yang terjadi pada saat sistem normal dengan sistem yang diatur tekanannya. Hal tersebut terjadi karena adanya perubahan tekanan dari sistem yang normal ke sistem yang diatur tekanannya. Tekanan yang terjadi diakibatkan sumbatan pada katup *valve* yang diatur hingga memenuhi tekanan yang diinginkan untuk kebutuhan percobaan. Selain itu terjadi juga penurunan tekanan pada saat pipa tersebut mengalami kebocoran.

Selain itu, pada table 4.1 juga bisa dilihat bahwa *pressure drop* yang terjadi



Gambar. 4.54 Grafik perbandingan antara P_1 dengan Q_1

Dari Gambar 4,54 dapat disimpulkan bahwa kapasitas pada P_0 18.462 lt/mnt. Sedangkan pada saat katup valve diatur sehingga tekanan menjadi 0.5 bar, kapasitas menjadi 7.229 lt/mnt. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan kapasitas pada saat *valve* diatur untuk memenuhi variasi tekanan yang dibutuhkan pada saat percobaan.

4.4.1 Kecepatan pada Titik Kebocoran

Tabel.4.3 Hasil Perhitungan kecepatan pada kebocoran

P	Q (m ³ /mnt)	V (m/mnt)	A (m ²)
0.5 bar	0.00019	238.485	0.000000785
1 bar	0.00021	270.642	0.000000785
1.5 bar	0.00025	319.171	0.000000785
2 bar	0.00030	383.833	0.000000785

Dari tabel 4.3 di dapatkan grafik perbandingan antara kapasitas (debit) yang keluar dari lubang

kebocoran (1mm) dengan kecepatan keluaran (v) pada titik kebocoran. Dimana pada masing – masing kapasitas, memiliki kecepatan yang berbeda sesuai dengan rumus berikut :

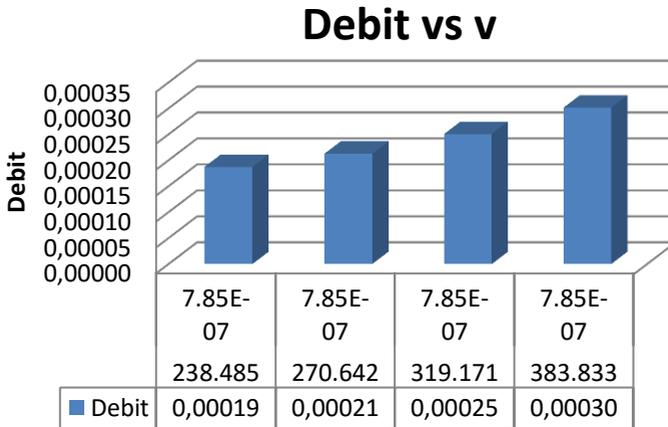
$$Q = \frac{v}{A}$$

Dimana :

Q : Kapasitas (debit) (m^3/mnt)

v : Kecepatan (m/mnt)

A : Luasan (m^2)



Gambar. 4.55 Grafik perbandingan antara Q dengan v

4.5. Bahan Analisa Komparasi

Bahan analisa komparasi yang dipakai yakni penelitian yang dilakuakn oleh Stephen M. Masutani dari University of Hawai'i dan E. Eric Adams dari Massachusetts Institute of Technology yang berjudul "EXPERIMENTAL STUDY OF MULTI-PHASE PLUMES WITH APPLICATION TO DEEP OCEAN

OIL SPILLS”. Percobaan dilakukan di University of Hawai’i untuk menyelidiki jet breakup minyak ke fase droplet dan gelembung minyak yang tersebar.

4.5.1 Jet Breakup

Tabel 4.4 merangkum lima belas kasus yang dikaji dalam percobaan jet breakup. Empat minyak mentah laut dan cairan analog yang stabil (yaitu, cairan polydimethylsiloxane silikon) diuji. *Ambient Liquid* adalah air mineral atau air laut alami yang dingin dengan suhu nominal 18 ° C (65 ° F). Rasio *ambient liquid* dan densitas fluida jatuh dalam rentang: $1,022 \leq \rho_{\text{ambient}} / \rho_{\text{jet}} \leq 1,191$. Tiga nozel injeksi dipekerjakan dengan diameter lubang dari 1 mm, 2 mm, dan 5 mm.

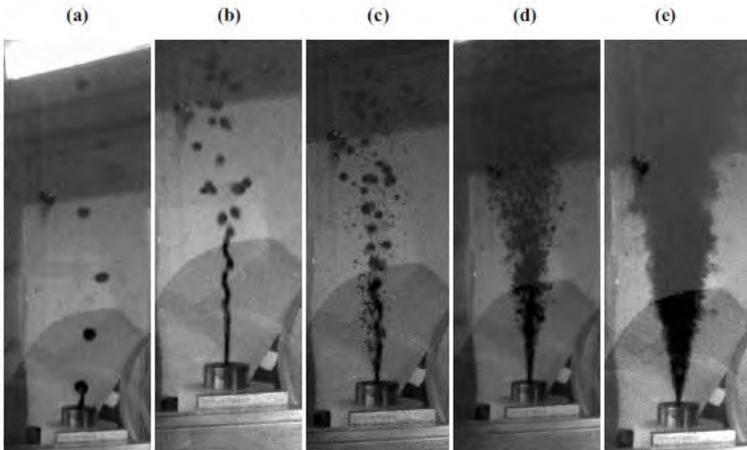
Tabel 4.4 Uji diperiksa dalam percobaan jet perpisahan.

Jet fluid	Ambient fluid	Orifice diameter [mm]	Water temperature [°C]	Oil temperature [°C]
Neptune SPAR	Tap water	1	8.5	27.6
Neptune SPAR	Tap water	1	18.5	26.8
Neptune SPAR	Tap water	2	17.6	28.6
Neptune SPAR	Sea water	2	18.4	27.2
Genesis	Tap water	2	18.1	27.7
Genesis	Tap water	5	18.9	27.2
Mars TLP	Tap water	2	18.3	26.9
Mars TLP	Tap water	5	16.8	28.2
Platform Gail	Tap water	1	17.7	27.3
Platform Gail	Tap water	5	18.0	27.9
Silicone fluid	Tap water	1	5.4	26.0
Silicone fluid	Tap water	1	19.2	28.0
Silicone fluid	Tap water	2	7.4	25.5
Silicone fluid	Tap water	2	20.3	26.0
Silicone fluid	Tap water	5	19.2	27.5

Untuk setiap kasus uji, PDPA dan data video yang dikumpulkan pada rentang kecepatan jet. Sebuah kasus biasanya bisa diselesaikan selama satu hari, dengan alokasi waktu terbesar untuk persiapan dan pembersihan.

1. Daerah Instabilitas

Gambar 4.56 menggambarkan perkembangan dalam penyebaran minyak dengan meningkatnya kecepatan pada saat minyak keluar dari nozzle, kondisi lainnya konstan. Gambar ini sesuai dengan kasus minyak (Genesis) disuntikkan ke dalam air keran pada temperatur $18,1^{\circ}\text{C}$ melalui lubang berdiameter 2 mm. Hasil yang sama diperoleh di semua kasus uji diteliti dalam penelitian ini.



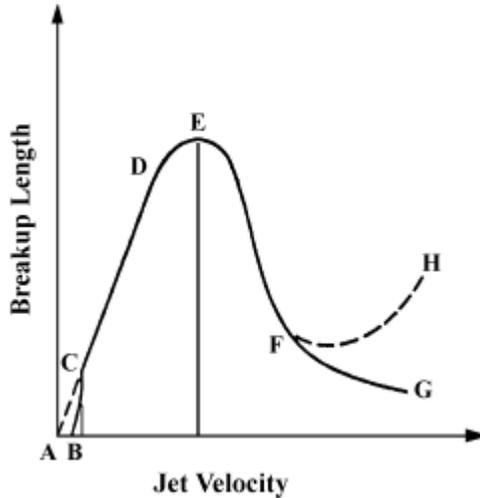
Gambar 4.56. Percobaan

Gambar 4.56 menggambarkan perkembangan dalam penyebaran minyak dengan meningkatnya kecepatan pada saat minyak keluar dari *nozzle*, kondisi lainnya konstan. Gambar ini sesuai dengan kasus minyak (Genesis) disuntikkan ke dalam air keran pada temperatur $18,1^{\circ}\text{C}$ melalui lubang berdiameter 2 mm. Sebagai titik acuan, *nozzle outside diameter* adalah sekitar 2,5 cm.

Pada kecepatan rendah, ketidakstabilan Rayleigh mendominasi, menghasilkan *monodispersion droplet* jauh

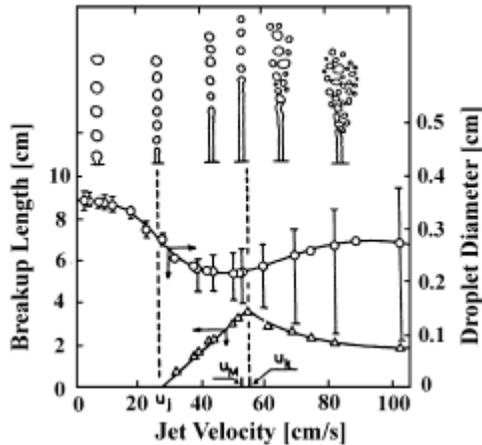
lebih besar dari lubang (perhatikan bahwa diameter luar *nozzle* ditampilkan dalam gambar adalah sekitar 2,5 cm). Jet breakup awalnya terjadi dekat dengan *nozzle*. Meningkatnya kecepatan, lokasi jet breakup semakin menjauh dari *nozzle* dan di beberapa titik ketidakstabilan perubahan ke mode *sinuous mode* yang akan selanjutnya disebut sebagai Type I. Ketidakstabilan *sinuous mode* ini menghasilkan *polydispersion* sempit dengan ukuran *droplet* relatif besar. Pada kecepatan yang lebih tinggi, dua mekanisme ketidakstabilan muncul untuk beroperasi secara paralel: permukaan jet menjadi tidak stabil terhadap gangguan gelombang pendek dan hancur dekat dengan *nozzle* menjadi *droplet – droplet* kecil, sedangkan inti dari *jet fluid filament* kontinyu terus - menerus yang memecah lebih lanjut menjadi ukuran *droplet* yang lebih besar. Dua mekanisme ketidakstabilan yang berbeda tersebut menghasilkan *polydispersion droplet*, yang awalnya terdiri dari dua kelompok ukuran droplet yang berbeda. Kami akan mengacu pada kondisi (c) pada Gambar 4.56 sebagai instabilitas Type II. Dengan meningkatkan kecepatan menyebabkan lokasi pecahnya filamen jet inti lebih dekat ke *nozzle* dan juga meningkatkan fraksi *droplet* halus. Kondisi dekat-atomisasi ini ditunjukkan sebagai (d) pada gambar 4.56. Akhirnya, atomisasi dicapai; Namun, awan padat droplet halus pada perimeter jet mengaburkan interior. Itu tidak dapat ditentukan secara visual apakah pecahnya filamen inti tetap ada dan terus menghasilkan droplet relatif besar ketika jet muncul seperti yang digambarkan dalam gambar (e).

Gambar 4.56 menunjukkan bahwa modus perpisahan menentukan distribusi ukuran *droplet*.



Gambar 4.57 Variasi panjang Jet Breakup dengan kecepatan

Gambar 4.57 menggambarkan variasi panjang Jet Breakup dengan kecepatan (oleh Grant & Middleman, 1966). Pada kecepatan yang sangat rendah, bentuk jet yang dihasilkan laminar (point C) dan panjang breakup meningkat secara linear sampai mencapai hasil yang maksimum.

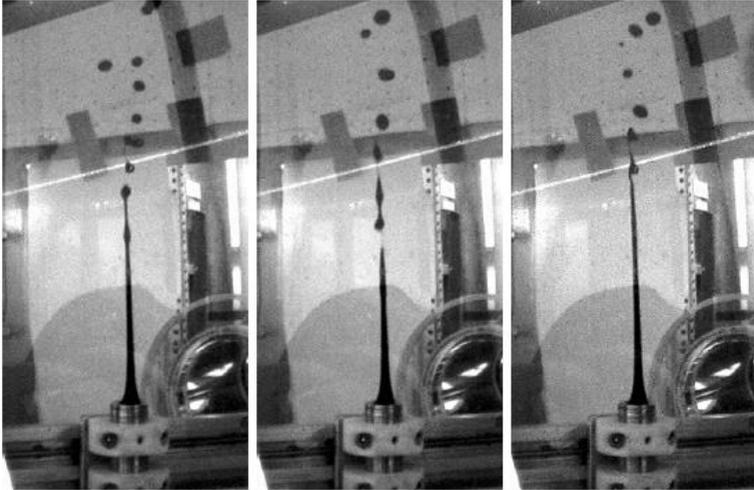


Gambar. 4.58 Panjang *jet breakup* dan ukuran *droplet* dengan fungsi dari kecepatan untuk fluida (air)

Berdasarkan praktek konvensional (gambar 4.57 dan gambar. 4.58), perubahan panjang perpisahan jet, L , diperiksa untuk menetapkan batas-batas daerah ketidakstabilan yang berbeda untuk *crude oil* yang diinjeksikan dalam air. Perkiraan L diperoleh melalui analisis dari data video dan disajikan pada Tabel III.1.2. Tabel tersebut juga berisi nilai-nilai ReD dan We , serta panjang perpisahan non-dimensional menggunakan diameter lubang yang sesuai, D .

Bahkan dalam daerah ketidakstabilan Rayleigh, variasi kecil dalam laju aliran minyak dan faktor-faktor lain dapat menyebabkan terjadi pecahan pada rentang jarak dari lubang pada kondisi tes yang diberikan. Ini merupakan ketidakpastian nilai yang diukur dalam L . Contoh kasus ditunjukkan pada Gambar 4.59 dimana L

bervariasi sekitar 80% dalam tiga gambar yang diambil selama uji yang sama.



Gambar 4.59 Variasi panjang jet breakup pada kondisi pengujian tetap. Frame video menunjukkan minyak Platform Gail yang diinjeksikan ke dalam air melalui lubang berdiameter 5 mm. Garis diagonal terang di dekat bagian atas gambar adalah sinar laser PDPA.

Tabel 4.5 panjang Jet breakup untuk empat jenis crude oil.

Case	Water Temp. [°C]	Oil Temp. [°C]	Jet Velocity [m/s]	Re_D	We	L [cm]	L/D
G2T	18.0	27.6	0.308	3.382E+01	6.397E+00	2.2	10.8
G2T	18.0	27.6	0.403	4.425E+01	1.095E+01	2.0	10.1
G2T	18.0	27.6	0.753	8.281E+01	3.835E+01	4.6	23.0
G2T	18.4	27.8	0.281	3.122E+01	5.341E+00	1.6	7.9
G2T	18.4	27.8	0.340	3.770E+01	7.788E+00	2.0	10.2
G2T	18.4	27.8	0.340	3.770E+01	7.788E+00	3.3	16.3
G2T	18.4	27.8	0.435	4.830E+01	1.279E+01	3.5	17.4
G2T	18.4	27.8	0.716	7.952E+01	3.465E+01	4.5	22.4
G2T	18.4	27.8	0.966	1.072E+02	6.298E+01	5.1	25.4

Penjelasan kode Kasus:

G2T: Kejadian; diameter lubang 2 mm; keran air

Perlu dicatat bahwa ketidakpastian yang signifikan juga ada dalam nilai-nilai angka Weber dan Reynolds seperti ditunjukkan pada Tabel II.1.2. Menurut definisi, $ReD = f(U, D, \rho, \mu)$; $We = f(U, D, \rho, \sigma)$; dan angka Ohnesorge $Z = f(D, \rho, \mu, \sigma)$. Kalibrasi mengurangi ketidakpastian U dengan akurasi *positive displacement flow meter* ($\pm 5\%$). Pemeriksaan lubang dengan menggunakan mikroskop menunjukkan bahwa D sesuai dengan nilai nominal dalam rentan sekitar $\pm 3\%$. Sejauh ini, sumber utama ketidakpastian di ReD , We , dan Z terletak pada *properties* minyak mentah ρ , μ , dan σ .

Tidak seperti *density* (massa jenis), dan viskositas, *interfacial tension* (tegangan antar permukaan), σ , tidak diukur sebagai bagian dari analisis dari empat *crude oil* yang dilakukan oleh *Environment Canada*. Sebaliknya, σ diperkirakan dari data tegangan permukaan untuk minyak sejenis. Nilai rata-rata 25,9 dyne / cm digunakan untuk menghitung We dan Z dalam penelitian ini. Berdasarkan rentang nilai dalam database (21,6-30,2 dyne/cm), ketidakpastian nilai σ sekitar $\pm 17\%$. Potensi *error* ini diminimalisir oleh ketidakpastian viskositas dinamis, μ , terkait dengan kemungkinan perubahan dalam komposisi minyak karena *devolatilisasi*.

ρ dan μ diperkirakan dengan ekstrapolasi dari data properti pada temperature 15°C dan 25°C. Perbedaan antara temperatur diukur dengan *thermistor* pada jalur suplai minyak sebelum memasuki tangki air dan temperatur aktual minyak keluar dari lubang juga berkontribusi terhadap ketidakpastian percobaan. Sebuah analisis perpindahan panas rinci dilakukan untuk mengidentifikasi perubahan temperatur minyak

maksimum yang dapat terjadi antara titik pengukuran dan lubang karena perpindahan panas ke air pendingin di dalam tangki. Analisis ini memprediksi perbedaan kurang dari 3°C untuk kondisi terburuk yaitu laju aliran minyak yang sangat rendah. Ketidakpastian pada ρ dan μ relatif tidak signifikan terhadap ketidakpastian *devolatilisasi*.

Mengikuti prosedur standar (Allisy, 1980), ketidakpastian di We , yang bukan merupakan fungsi dari viskositas, diperkirakan $\pm 21\%$. Sebagian besar ketidakpastian ini dikaitkan dengan kurangnya informasi tentang tegangan permukaan. Sejak ReD berbanding terbalik dengan μ , efek *devolatilisasi* tersebut bisa menghasilkan nilai sebenarnya dari parameter berdimensi ini menjadi 1/4 (25%) sampai dengan 1/14 (7%) nilai tabulasi yang dihitung dengan asumsi penguapan diabaikan. Potensi kesalahan besar ini adalah justifikasi utama untuk penggunaan analog stabil seperti cairan silikon. Sampel minyak dari sistem reservoir injeksi tertutup dikumpulkan dan disimpan dalam botol kaca pada awal dan akhir setiap tes untuk mendokumentasikan penguapan; Namun, tidak ada fasilitas yang tersedia di UH untuk mengukur viskositas minyak mentah.

4.6 Analisa Skala dengan Hukum Similaritas

Kesamaan hubungan antara prototipe dan model dikenal sebagai perumpamaan. Jika gaya spesifik yang bekerja pada model harus mirip dengan yang bekerja pada objek yang berskala penuh maka syarat berikut ini harus terpenuhi semua.

- i) Geometric similarity
- ii) Kinematic similarity

iii) Dynamic similarity

I. Kesamaan Geometris

Sebuah model dan prototipe dikatakan dalam kesamaan geometris jika rasio yang sesuai dimensi linier mereka adalah sama (seperti panjang, lebar, luas dll). Untuk kesamaan geometris, daerah yang sesuai terkait dengan kuadrat rasio dan sesuai volume oleh kubus dari rasio skala panjang.

$$\begin{aligned}\text{rasio skala panjang} &= l_m/l_p = b_m / b_p = d_m / d_p \\ (\text{rasio skala panjang})^2 &= (l_m/l_p)^2 = (b_m/b_p)^2 = (d_m/d_p)^2 \\ (\text{rasio skala panjang})^3 &= (l_m/l_p)^3 = (b_m/b_p)^3 = (d_m/d_p)^3\end{aligned}$$

Di sini l_m , b_m , d_m adalah dimensi linear dari model dan l_p, b_p, d_p adalah dimensi linear dari prototipe. Kondisi geometris dapat dipenuhi dalam mode eksperimen tetapi hanya model dimensi linear. Hubungan antara model dan kapal dinyatakan oleh λ , dimana :

$$\lambda = \frac{L_s}{L_m}$$

λ = skala rasio

L_s = Panjang sesungguhnya (m)

L_m = Panjang model (m)

II. Kesamaan Kinematis

Kesamaan kinematik antara model dan kapal yang sesuai dengan kecepatan model untuk kecepatan kapal.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}}$$

$$\frac{V_s}{\sqrt{gL_s}} = \frac{V_m}{\sqrt{gL_m}}$$

- Fr = Froude Number
 L_s = Panjang sesungguhnya (m)
 L_m = Panjang model (m)
 V_s = Kecepatan sesungguhnya (m/s)
 V_m = Kecepatan model (m/s)
 g = Gravitation (9.81 m/s²)

III. Kesamaan Dinamis

Kesamaan dinamis berhubungan dengan kekuatan yang terjadi oleh gerakan cairan di sekitar model.

$$Rn = \frac{VD}{\nu}$$

atau

$$\frac{V_s D_s}{\nu} = \frac{V_m D_m}{\nu}$$

Dimana:

- Rn = Reynold Number
 D = Diameter (m)
 V = kecepatan (m/s)
 ν = Viskositas kinematis (m²/s)
 ν = 1.1883 x 10⁻⁶ (m²/s)

Antara model dan pola dianggap terdapat kesamaan dinamis. Sehingga parameternya sebagai berikut :

Tabel. 4.6 Parameter untuk similaritas

Parameter	Percobaan	Actual
Diameter pipa	3/4 "	12.75"
Rasio	1	17
Diameter kebocoran	1mm	17 mm
Fluid Density	857.5 kg/m ³	845.5 kg/m ³
Flow Rate	18.46 lt/mnt	331.25 lt/mnt
Kedalaman	0.8 meter	26.8 meter
Operating pressure	0.5 – 2 bar	9.86 bar

Untuk kebocoran yang terjadi pada sistem yang dirancang sesuai apparatus percobaan dengan menggunakan pendekatan hukum similaritas hanya bisa menggunakan kesamaan dinamis dikarenakan hanya memiliki nilai yang sama pada model dan *actual* yakni Rn (Reynold Number). Sehingga didapatkan data Reynold Number Percobaan sebagai berikut :

$$Rn = \frac{VD}{\nu}$$

$$Rn = \frac{3.98 \times 0.001}{1.1883 \times 10^{-6}}$$

$$Rn = 0.003 \times 10^6$$

Jadi didapatkan nilai yang sama pada pemodelan dan actual yakni nilai Rn sebesar 0.03×10^6 . Sehingga untuk mengetahui Debit kebocoran pada actual yakni mencari nilai V_{actual} dan pada akhirnya didapatkan nilai Q_{actual} . Berikut perhitungannya :

$$Rn = \frac{VD}{\nu}$$

$$0.003 \times 10^6 = \frac{V \times 0.3239}{1.1883 \times 10^{-6}}$$

$$V_{actual} = 0.012 \text{ m/s}$$

Dari nilai V_{actual} yang didapat dari perhitungan yakni 0.012 m/s yang akan digunakan untuk menghitung Q_{actual} . Perhitungan Q_{actual} sebagai berikut :

$$Q = V \times A$$

$$Q = 0.012 \times 0.3239$$

$$Q = 3.64 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$Q_{actual} = 3.64 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Dari nilai Q_{actual} yang didapat dari perhitungan dengan menggunakan hukum similaritas, bisa dibandingkan dengan hasil percobaan yang dilakukan. Jika flow rate kebocoran pada pemodelan $0.68 \text{ m}^3/\text{jam}$ dan diameter lubang kebocoran 1 mm didapatkan pada actual yakni dengan diameter kebocoran 17mm, didapatkan flow rate yakni $3.64 \text{ m}^3/\text{jam}$.