



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH *PINE OIL* TERHADAP DINAMIKA *BUBBLE*
PADA *FROTH FLOTATION***

SKRIPSI

INDRA PRANATA AL KAUTSAR

0606073253

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

DEPOK

JULI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH *PINE OIL* TERHADAP DINAMIKA *BUBBLE*
PADA *FROTH FLOTATION***

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik**

INDRA PRANATA AL KAUTSAR

0606073253

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

DEPOK

JULI 2012

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

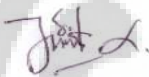
Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

PENGARUH PINE OIL TERHADAP DINAMIKA BUBBLE PADA FROTH FLOTATION

Adalah hasil karya saya sendiri dan sejauh yang saya ketahui, bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Nama : INDRA PRANATA AL KAUTSAR

NPM : 0606073253

Tanda Tangan : 

Tanggal : Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : INDRA PRANATA AL KAUTSAR

NPM : 0606073253

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi :

PENGARUH *PINE OIL* TERHADAP DINAMIKA *BUBBLE* PADA *FROTH FLOTATION*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

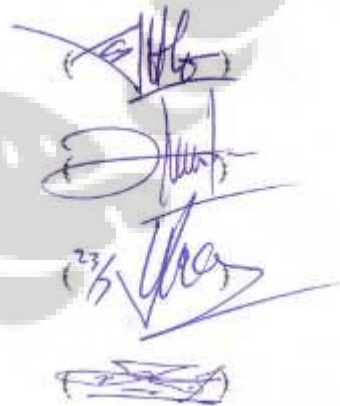
DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. *Warjito* M.Eng

Penguji : Prof. Dr. Ir. Harinaldi M.Eng

Penguji : Ir. *Imansyah* Ibnu Hakim M.Eng

Penguji : Dr. Ir. *Engkos A. Kosasih* MT



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juli 2012

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas berkat dan karunia dari-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penulisan tugas akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tugas akhir ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orangtua Penulis, Bambang Djoko Suratno dan Siti Rochmah, Nenek Penulis Ratna Ningsih, serta adik-adik Penulis Bhayu P. Bimantoro dan Try Prasetyo rahman. Terima kasih atas cinta, doa, dukungan, bimbingan dan kekuatan setiap saat.
2. Dr. Ir. Warjito, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, dana, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Semua dosen, staf pengajar dan karyawan DTM - FTUI yang secara langsung atau tidak langsung memberikan pelajaran, wawasan dan informasi. Salut atas kesediaannya mengabdikan untuk ilmu pengetahuan demi kemajuan bangsa.
4. Teman seperjuangan di laboratorium lantai 3, Mekanika Fluida, Perpindahan Panas dan Pendingin yang terus menjadi teman dalam proses penelitian, penyusunan dan diskusi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Teman-teman seperjuangan di teknik Mesin 2006, yang membantu dengan dukungan tenaga, waktu dan semangat. Immanuel Stevie, Ferdy Bastian, Fajar Prananda, Tegar Prakoso, Hamdani Pujiyanto, Nursanti Elizabeth, M. Muammar Faruq, Hadi Maryadi, Ricky Rafiandi, Singgih Prabowo, Heri

Prabowo, Mas Prasetyo W., Aan Prasetyo, Dipo Andhika, dan Ilham Riadhi.
Nama-nama lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu,

6. Semua pihak, senior dan junior, teman kelompok kecil, teman dari jurusan serta fakultas lain yang memberi inspirasi dan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga Tuhan Yang Maha Kuasa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu penulis. Tugas akhir ini jauh dari kata sempurna, banyak terdapat kekurangan, kiranya dapat menjadi bahan pembelajaran dimasa yang akan datang. Akhir kata, semoga tugas akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan demi kemajuan bangsa Indonesia. Amin.

Depok, Juli 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : INDRA PRANATA AL KAUTSAR
NPM : 0606073253
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

PENGARUH PINE OIL TERHADAP DINAMIKA BUBBLE PADA FROTH FLOTATION

beserta perangkat yang ada. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juli 2012

Yang menyatakan



(Indra Pranata Al Kautsar)

ABSTRAK

Nama : Indra Pranata Al Kautsar

Program Studi : Teknik Mesin

Judul : Pengaruh *Pine Oil* Terhadap Dinamika *Bubble* Pada *Froth Flotation*

Penelitian mengenai Pengaruh *Pine Oil* Terhadap Dinamika *Bubble* Pada *Froth Flotation* bertujuan untuk mempelajari efek yang ditimbulkan oleh *pine oil* terhadap dinamika *bubble* dalam *froth flotasi*. Penelitian ini memvariasikan *nozzle* udara dan konsentrasi *pine oil* dalam kolom pengamatan. *Test section* berupa udara yang berasal dari *air pump*, kemudian dialirkan kedalam kolom melalui *nozzle*. Data berbentuk video diolah menggunakan software Image J. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa *pine oil* yang dilarutkan kedalam medium, memiliki pengaruh terhadap dinamika *bubble* yang dihasilkan, seperti ukuran *bubble*, kecepatan maksimum, dan *terminal velocity*.

Kata Kunci : *Pine oil, bubble, froth flotation, terminal velocity*

ABSTRACT

Name : Indra Pranata Al Kautsar

Major : Mechanical Engineering

Title : Effects Of Pine Oil To Bubble Dynamics In Froth Flotation

Research on Effect of pine oil To Bubble Dynamics in Froth Flotation aims to study the effects of pine oil on bubble dynamics in the froth flotation system. The research varying the air nozzle and the concentration of pine oil in the field of observation. Air coming from the water pump, then flowed into the column through a nozzle. Video datas processed using software Image J. This research conclude that pine oil dissolved into the medium, has an influence on the resulting bubble dynamics, such as bubble size, maximum speed, and terminal velocity.

Keywords : *Pine oil, bubble, froth flotation, terminal velocity*

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR NOTASI.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	4
1.3 TUJUAN PENELITIAN	4
1.4 BATASAN MASALAH	4
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB 2 DASAR TEORI.....	6
2.1 PENGERTIAN <i>BUBBLE</i>	6
2.1.1 Tegangan Permukaan.....	6

2.1.2	<i>Buoyancy</i>	7
2.1.3	<i>Drag</i>	7
2.1.4	<i>Terminal Velocity</i>	8
2.1.5	Ukuran Gelembung (<i>Bubble Size</i>)	9
2.1.6	Bentuk <i>Bubble</i>	10
2.1.7	Bilangan Tak-Berdimensi	11
2.2	REAGEN/LARUTAN ADITIF.....	12
2.3	SISTEM FLOTASI	13
2.4	GERAKAN NAIK <i>BUBBLE</i>	14
BAB 3 PROSEDUR DAN PELAKSANAAN PENELITIAN		15
3.1	<i>TEST SECTION</i>	16
3.2	PENGAMATAN	16
3.2.1	Kamera dan Pengangkat Kamera.....	16
3.2.2	Lampu Penerangan.....	18
3.2.3	Kolom Flotasi.....	18
3.2.4	Bak Pengamatan.....	19
3.3	PENGAMBILAN DATA.....	19
BAB 4 PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA.....		22
4.1	PENGOLAHAN DATA.....	22
4.2	ANALISA HASIL.....	30
4.2.1	Analisa Diameter	30
4.2.2	Profil Kecepatan.....	33

4.2.3 <i>Terminal Velocity</i>	41
4.2.4 Kecepatan Maksimum	47
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	48
5.1 KESIMPULAN	48
5.2 SARAN.....	48
DAFTAR ACUAN	49
DAFTAR PUSTAKA	50



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.01 Gaya-gaya yang bekerja terhadap sebuah partikel	7
Gambar 2.02 Tahapan profil kecepatan.....	8
Gambar 2.03 Sesaat <i>bubble</i> keluar <i>nozzle</i>	8
Gambar 2.04 <i>Force</i> bekerja pada <i>bubble</i> yang bergerak.....	9
Gambar 2.05 <i>Bubble</i> dalam kolom yang mendapat gaya hidrostatis.....	10
Gambar 2.06 Perbandingan pengaruh tekanan dinamik terhadap <i>bubble</i> yang berada dalam variasi medium (air dan <i>frother</i>).....	11
Gambar 2.07 <i>Hydrogen bonding</i>	12
Gambar 3.1 Skematik alat	15
Gambar 3.2 <i>Wing Needle</i> dengan $d_{in} = 0,8\text{mm}$	16
Gambar 3.3 <i>Needle</i> dengan $d_{in} = 0,4\text{mm}$	16
Gambar 3.4 Kamera	16
Gambar 3.5 Pengangkat Kamera.....	17
Gambar 3.6 Lampu Penerangan	18
Gambar 3.7 Kolam Pengamatan.....	18
Gambar 3.8 Bak Pengamatan	19
Gambar 3.9 Diagram proses pengambilan data.....	21
Gambar 4.01 Langkah membuka file gambar	22
Gambar 4.02 Membuat garis acuan.....	23
Gambar 4.03 Menentukan skala	24

Gambar 4.04 Sesaat sebelum <i>bubble</i> keluar <i>Nozzle</i>	25
Gambar 4.05 Frame patokan pertama (<i>nozzle</i>) masih terlihat.....	26
Gambar 4.06 Frame patokan pertama (<i>nozzle</i>) sesaat tidak terlihat.....	26
Gambar 4.07 Menentukan jarak patokan sebelum dan berikutnya	27
Gambar 4.08 Titik awal <i>bubble</i> dengan $t_0=0$ s dan $s_0=0$ mm.....	27
Gambar 4.09 Titik 2 <i>bubble</i> dengan $t_1=0,04$ s dan $s_1=4$ mm	28
Gambar 4.10 Profil <i>bubble</i> pada kolom	29
Gambar 4.11 <i>Bubble</i> dengan diameter y 3,69mm.....	29
Gambar 4.20 Grafik perbandingan diameter <i>bubble</i> terhadap diameter <i>nozzle</i> dalam air kran dengan memvariasikan ukuran <i>nozzle</i>	31
Gambar 4.21 Grafik perbandingan diameter <i>bubble</i> terhadap diameter <i>nozzle</i> dalam <i>pine oil</i> 50mL (0,11%) dengan memvariasikan ukuran <i>nozzle</i>	31
Gambar 4.22 Grafik perbandingan diameter <i>bubble</i> terhadap diameter <i>nozzle</i> dalam <i>pine oil</i> 100mL (0,22%) dengan memvariasikan ukuran <i>nozzle</i>	32
Gambar 4.23 Profil kecepatan <i>bubble</i> dari 9 data(warna) dalam air kran diameter 0,8mm	33
Gambar 4.24 Profil kecepatan rata-rata <i>bubble</i> dalam air kran dengan diameter <i>nozzle</i> udara 0,8mm	33
Gambar 4.25 Profil kecepatan <i>bubble</i> dari 9 data (warna) dalam larutan <i>pine oil</i> 0,11% dengan diameter <i>nozzle</i> udara 0,8mm.....	34
Gambar 4.26 Profil kecepatan rata-rata <i>bubble</i> dalam <i>pine oil</i> 0,11 % dengan diameter <i>nozzle</i> udara 0,8mm	34

Gambar 4.27 Profil kecepatan <i>bubble</i> dari 9 data (warna) dalam larutan <i>pine oil</i> 0,22% dengan diameter <i>nozzle</i> udara 0,8mm.....	35
Gambar 4.28 Profil kecepatan rata-rata <i>bubble</i> dalam <i>pine oil</i> 0,22 % dengan diameter <i>nozzle</i> udara 0,8mm	35
Gambar 4.29 Grafik perbandingan kecepatan rata-rata <i>bubble</i> (v) terhadap waktu (t) dalam air dan larutan <i>pine oil</i> diameter <i>nozzle</i> udara 0,8mm...	36
Gambar 4.30 Grafik perbandingan kecepatan rata-rata <i>bubble</i> (v) terhadap jarak tempuh (s) dalam air dan larutan <i>pine oil</i> diameter <i>nozzle</i> udara 0,8mm	36
Gambar 4.31 Profil kecepatan <i>bubble</i> dari 9 data(warna) dalam air kran diameter 0,4mm	37
Gambar 4.32 Profil kecepatan rata-rata <i>bubble</i> dalam air kran dengan diameter <i>nozzle</i> udara 0,4mm	37
Gambar 4.33 Profil kecepatan <i>bubble</i> dari 9 data (warna) dalam larutan <i>pine oil</i> 0,11% dengan diameter <i>nozzle</i> udara 0,4mm.....	38
Gambar 4.34 Profil kecepatan rata-rata <i>bubble</i> dalam <i>pine oil</i> 0,11 % dengan diameter <i>nozzle</i> udara 0,4mm	38
Gambar 4.35 Profil kecepatan <i>bubble</i> dari 9 data (warna) dalam larutan <i>pine oil</i> 0,22% dengan diameter <i>nozzle</i> udara 0,4mm.....	39
Gambar 4.36 Profil kecepatan rata-rata <i>bubble</i> dalam <i>pine oil</i> 0,22 % dengan diameter <i>nozzle</i> udara 0,4mm	39
Gambar 4.37 Grafik perbandingan kecepatan rata-rata <i>bubble</i> (v) terhadap waktu (t) dalam air dan larutan <i>pine oil</i> diameter <i>nozzle</i> udara 0,4mm...	40
Gambar 4.38 Grafik perbandingan kecepatan rata-rata <i>bubble</i> (v) terhadap jarak tempuh (s) dalam air dan larutan <i>pine oil</i> diameter <i>nozzle</i> udara 0,4mm	40

Gambar 4.39 <i>Terminal Velocity bubble</i> dalam larutan <i>pine oil</i> 0,22% dengan diameter <i>nozzle</i> 0,8mm	41
Gambar 4.40 <i>Apparent Terminal Velocity bubble</i> dalam air kran dengan diameter <i>nozzle</i> udara 0,8mm	42
Gambar 4.41 Perbandingan grafik data dan persamaan <i>Terminal Velocity bubble</i> dalam larutan <i>pine oil</i> 0,22% dengan diameter <i>nozzle</i> udara 0,8mm	43
Gambar 4.42 Perbandingan grafik data penelitian terhadap persamaan <i>Terminal Velocity bubble</i> dalam larutan <i>pine oil</i> 0,11% dengan diameter <i>nozzle</i> udara 0,8mm	43
Gambar 4.43 Perbandingan grafik data penelitian terhadap persamaan <i>Terminal Velocity bubble</i> dalam larutan <i>pine oil</i> 0,22% dengan diameter <i>nozzle</i> udara 0,4mm	44
Gambar 4.44 Perbandingan grafik data penelitian terhadap persamaan <i>Terminal Velocity bubble</i> dalam larutan <i>pine oil</i> 0,22% dengan diameter <i>nozzle</i> udara 0,4mm	44
Gambar 4.45 <i>Terminal velocity</i> vs diameter <i>bubble</i> ketinggian 180mm dan 1280mm dalam larutan <i>pine oil</i>	46
Gambar 4.46 Pengaruh konsentrasi reagen <i>pine oil</i> terhadap kecepatan maksimum.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hubungan Re , Eo , db , dan lintasan <i>bubble</i>	14
Tabel 3.1 Spesifikasi Kamera.....	17
Tabel 4.1 Data diameter <i>bubble</i> (db) dan diameter <i>nozzle</i> (dn) dalam variasi konsentrasi larutan <i>pine oil</i> pada ketinggian <i>bubble</i> 1280mm.....	30
Tabel 4.2 Properti data	32
Tabel 4.3 Data <i>terminal velocity</i> (v_n) dan diameter (d) dalam variasi konsentrasi larutan <i>pine oil</i> pada ketinggian <i>bubble</i> 180mm.....	45
Tabel 4.4 Data <i>terminal velocity</i> (v_n) dan diameter (d) dalam variasi konsentrasi larutan <i>pine oil</i> pada ketinggian <i>bubble</i> 1280mm.....	45
Tabel 4.5 Data kecepatan maksimum rata-rata dan konsentrasi <i>pine oil</i>	47

DAFTAR NOTASI

A	luas penampang yang dipengaruhi gaya (m ² , mm ²)
C_D	drag coefficient
d, d_b, d_e	diameter bubble (mm)
d_n, d_{in}	diameter dalam nozzle (mm)
E_o	bilangan Eotvos
F_D	<i>drag force</i> (N)
F_B	<i>buoyancy force</i> (N)
g	percepatan gravitasi (m/s ²)
h_l	tinggi <i>liquid</i> diatas <i>bubble</i> (m, mm)
Mo	bilangan Morton
P_{atm}	tekanan atmosfer (atm)
p_i	tekanan dalam partikel (atm, Pa)
p_o	tekanan luar partikel (atm, Pa)
R	jari-jari partikel (mm)
Re	bilangan Reynolds
s	jarak yang ditempuh <i>bubble</i> (mm, cm, m)
t	waktu perjalanan <i>bubble</i> (s)
$U_{B,v}$	kecepatan <i>bubble</i> (m/s)
V_N, v_n	<i>terminal velocity</i> (m/s)

SIMBOL YUNANI

ρ_w	densitas air (kg/m ³)
ρ_{po}	densitas <i>pine oil</i> (kg/m ³)
σ_w	tegangan permukaan air (N/m)
σ_{po}	tegangan <i>pine oil</i> (N/m)
μ	viskositas fluida (Ns/m ²)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Wilayah perairan di Indonesia tidak hanya digunakan sebagai jalur perdagangan dan perikanan, tetapi juga digunakan untuk sektor industri dan sektor pertambangan. Semakin banyaknya pemanfaatan perairan, maka semakin banyak pula kerusakan yang timbul. Sebagian industri dan pertambangan, membuang limbahnya ke perairan. Salah satu contoh dari masing-masing sektor adalah industri batik dan industri penambangan emas.

Setelah diakui UNESCO (*United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization*) pada tanggal 2 Oktober 2009 sebagai warisan bangsa Indonesia, batik menjadi lebih dihargai dimata masyarakat Indonesia maupun internasional. Hal ini membuat industri batik dalam negeri menjadi lebih produktif sehingga meningkatnya produksi batik. Namun seiring dengan peningkatan produksi batik di Indonesia, meningkat pula dampak buruk yang berupa limbah pewarna batik terhadap lingkungan sekitar industri batik.

Memasuki musim kemarau kondisi sungai di kota-kota industri batik terancam pencemaran lebih parah oleh limbah batik tersebut [1]. Hal ini dikarenakan mengendapnya limbah pengolahan batik dari industri besar maupun rumah tangga yang mengandung bahan kimia disungai, sebab tak ada air hujan yang mendorongnya ke laut.

Dinas terkait di berbagai tempat industri batik perlu mengawasi industri batik rumah tangga dan industri besar, walaupun industri besar sudah memiliki instalasi pengolah air limbah (IPAL). Perlu diawasi apakah IPAL itu telah difungsikan secara maksimal, karena dugaan sebagian masyarakat industri besar pemilik IPAL juga membuang limbah ke sungai [1].

Walaupun dinas terkait menyatakan telah mengawasi instalasi dan proses pengolahan limbah seperti yang telah dijelaskan diatas, masih ditemukannya zat-zat pewarna dari hasil uji laboratorium sungai-sungai didaerah yang terdapat industri batik [1]. Secara langsung pun kita mampu melihat bahwa terdapat warna kehitam-hitaman di sungai-sungai sekitar industri batik rumah dan industri besar, seperti di daerah pekalongan.

Industri yang kedua adalah industri penambangan emas. Emas terdapat mulai dari permukaan tanah hingga dalam tanah. Untuk memperoleh emas yang terdapat didalam tanah yang dalam dibutuhkan teknologi yang tepat. Indonesia memiliki banyak tambang emas yang tersebar mulai dari Pulau Sumatra, Pulau Jawa, Pulau Kalimantan, dan Papua. Emas merupakan salah satu jenis hasil tambang dengan nilai ekonomis tinggi. Dalam 5 tahun terakhir, nilai emas terus meningkat dengan pesat [2]. Selain memiliki keuntungan, penambangan emas memiliki dampak buruk terhadap lingkungan, diantaranya limbah zat-zat pengotor berbahaya.

Beberapa teknologi pemisahan partikel limbah telah diterapkan sebelumnya untuk menangani kedua masalah diatas, seperti dengan menggunakan zat kimia pengurai untuk mendegradasi pewarna batik sehingga dapat diuraikan secara alami. Cara yang kedua cukup aman seperti yang telah diterapkan dan dikembangkan sampai saat ini oleh industri pertambangan dan perminyakan, yaitu menggunakan teknologi gelembung (*bubble*) flotasi pada kolom.

Flotation (flotasi) berasal dari kata float yang berarti mengapung atau mengambang. Flotasi adalah sebuah metode untuk memisahkan padatan dari air atau partikel pengotor ringan dan minyak dari limbah buangnya. Pemisahan padatan partikel dapat terjadi akibat kemampu-basahan partikel tersebut. Partikel yang mampu-basah disebut *hydrophilic*, tetapi partikel ini bersifat tidak menyatu dengan udara (*aerophobic*). Sedangkan partikel tidak-mampu basah (*hydrophobic*) bersifat menyatu dengan udara (*aerophilic*) [3].

Untuk meningkatkan probabilitas penempelan partikel pada *bubble* digunakan larutan reagen. Reagen berfungsi mempengaruhi karakteristik bubble dan karakteristik partikel. Ada beberapa jenis reagen dikelompokkan berdasarkan

karakteristik yang dipengaruhi, diantaranya *Collector*, *Modifier/Conditioner*, dan *Frother*[3]. *Collector* merupakan senyawa yang membuat partikel *hydrophobic* menempel pada *bubble*. *Modifier* merupakan senyawa yang mengatur tingkat hidrofobitas partikel. *Frother* adalah senyawa yang berfungsi mengurangi tegangan permukaan *bubble* sehingga *bubble* tidak mudah pecah hingga ke permukaan.

Dalam bidang pertambangan dan perminyakan, ada beberapa jenis flotasi yang biasa digunakan; *Dissolved Air Flotation (DAF)*, *Induced Air Flotation (IAF)*, *Froth Flotation*, *Electroflotation*, dan *Vacuum Flotation*. Perbedaan dari jenis-jenis flotasi tersebut adalah metode untuk menghasilkan *bubble* pada kolom. Penggunaan jenis flotasi yang tepat pada tabung kolom (*coloumn*) dilakukan untuk menghasilkan karakteristik *bubble* yang dibutuhkan sehingga dapat meningkatkan efektifitas penempelan / penyatuan antara *bubble* dengan padatan partikel limbah.

Sudah banyak penelitian dituliskan pada jurnal mengenai flotasi *bubble* pada kolom yang dilakukan di para peneliti di berbagai negara. Jung-Eun Lee, Woo sik Choi, dan Jae Keun Lee pada tahun 2003 melakukan penelitian bertema Karakteristik Bubble pada Sistem Kolom Flotasi [4]. Dari penelitian tersebut diperoleh kesimpulan mengenai hubungan antar-sifat dari *bubble* dan pengaruh jenis *bubble* generator terhadap sifat *bubble* yang dihasilkan. Penelitian tahun 2005 dilakukan oleh J.S Lawkoski dan F. Melo bertema Properti dari *Frother* dan pengaruhnya terhadap Flotasi [5]. Penelitian tersebut membuktikan bahwa ukuran *bubble* berkurang seiring meningkatnya konsentrasi *frother*. Hal ini disebabkan reagen *frother* menurunkan tegangan permukaan *bubble* tersebut.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat dipelajari berbagai karakteristik *bubble* pada kolom dan dapat dipelajari pengaruh reagen *frother* terhadap *bubble*. Namun dari penelitian yang telah dilakukan belum dibahas mengenai hubungan reagen terhadap dinamika *bubble*. Untuk itulah penelitian ini dilakukan untuk mempelajari mengenai pengaruh reagen terhadap dinamika *bubble* yang dihasilkan pada kolom.

I.2 RUMUSAN MASALAH

Karakteristik sistem flotasi ditentukan oleh dinamika gelembung (*bubble*) dan proses penempelan partikel pada *bubble*. Karakteristik gelembung yang meliputi lintasan gerak, *terminal velocity*, dan hubungan karakteristik tersebut dengan ukuran gelembung belum sepenuhnya dipahami

I.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui karakteristik *bubble* pada kolom flotasi meliputi:

- Profil kecepatan
- Terminal velocity
- Pengaruh reagen terhadap *bubble*

1.4 BATASAN MASALAH

Penyusunan Tugas Akhir ini dibatasi pada hal – hal berikut :

- Jenis flotasi yang digunakan adalah *Froth flotation* pada kolom, dimana untuk menghasilkan *bubble* hanya menggunakan udara dari *air pump*.
- *Nozzle* yang digunakan pada penelitian ini berupa jarum dengan diameter dalam masing-masing 0,4mm dan 0,8mm.
- Reagen yang digunakan adalah *Pine Oil* (minyak pinus) dilarutkan dengan konsentrasi tertentu pada kolom.
- Penelitian dilakukan untuk memahami pengaruh reagen dalam air terhadap karakteristik *bubble* yang dihasilkan pada kolom.
- Visualisasi *bubbles* dengan menggunakan video dari hasil percobaan.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan tugas akhir ini, disusun berdasarkan ketentuan sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penulisan, dan sistematika penulisan.

BAB 2 DASAR TEORI

Bab ini membahas tentang konsep-konsep yang menjadi dasar teori dalam perancangan, pengertian umum *Froth Flotation* pada kolom, dasar teori dari berbagai literatur.

BAB 3 PROSEDUR DAN PELAKSANAAN PENELITIAN

Bab ini menjelaskan mengenai proses pembuatan desain *Froth Flotation* dan *test section*. Bab ini juga membahas tentang prosedur pengambilan data visualisasi *bubble*.

BAB 4 PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA

Bab ini membahas cara pengolahan data, hasil dan data dari percobaan yang telah diolah untuk masing-masing variasi. Tahap selanjutnya adalah analisa mengenai fenomena yang terjadi.

BAB 5 KESIMPULAN

Bab ini membahas mengenai kesimpulan yang didapatkan dari hasil perancangan rancang bangun dan percobaan serta saran dari penulis.

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 PENGERTIAN *BUBBLE*

Bubble atau gelembung adalah partikel dengan fase pembentuknya adalah gas. Definisi umum dari *bubble* adalah sebagai lapisan tipis yang berbentuk bola atau setengah bola berisi udara atau gas yang terbentuk di dalam cairan [4].

Ukuran *bubble* dapat dipengaruhi oleh adanya perubahan kecepatan utama aliran, semakin besar kecepatan aliran maka akan semakin kecil ukuran *bubble* [4]. Ketika gelembung udara besar kecepatan menjadi besar, *bubble* yang lebih kecil lebih lama tinggal di dalam air [4]. Dinamika *bubble* pada kolom dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu tegangan permukaan, *buoyancy*, *drag force*, dan *tekanan hidrostatis* [3].

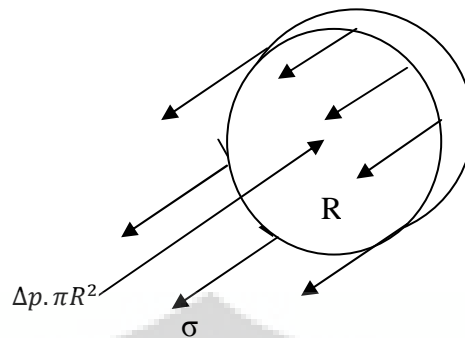
2.1.1 Tegangan permukaan

Pada permukaan temu antara 2 zat (cair-gas atau 2 zat cair yang tidak bercampur), ada gaya yang bekerja menyebabkan seakan-akan pada permukaan terdapat membran. Fenomena ini disebabkan ketidakseimbangan gaya-gaya kohesi yang bekerja pada molekul-molekul cairan. Molekul-molekul bagian dalam saling tarik menarik akibat gaya kohesi. Namun pada bagian permukaan, molekul hanya memperoleh gaya tarik dari dalam tetapi tidak dapat menarik partikel yang lebih luar. Hal ini menyebabkan terbentuk membran.

Sebuah gaya tarik dapat dianggap bekerja di sepanjang permukaan. Besarnya gaya tarik per satuan panjang permukaan disebut tegangan permukaan (σ). Untuk mempermudah dalam memperoleh persamaan tegangan permukaan, butiran dipotong separuhnya. Gaya ini diimbangi oleh perbedaan tekanan antara tekanan dalam (p_i) dan tekanan luar (p_o) butiran.

$$2\pi R\sigma = \Delta p \cdot \pi R^2$$

$$p_i - p_o = \frac{2\sigma}{R} \quad (1)$$



Gambar 2.01 gaya-gaya yang bekerja terhadap sebuah partikel

Dari persamaan diatas dapat terlihat bahwa semakin besar ukuran partikel maka semakin besar pula *surface tension* yang dimiliki.

2.1.2 Buoyancy

Mengacu pada hukum Archimedes dimana partikel yang memiliki nilai densitas rata-rata lebih kecil dibanding densitas *liquid*, akan mengalami *floating* (mengapung). Untuk sebuah *bubble* yang bergerak naik gaya *buoyancy* ditentukan dengan persamaan [3]:

$$F_B = \frac{\pi d_b^3 \cdot g \cdot \rho_l}{6} \quad (2)$$

Dimana d_b adalah diameter bubble, ρ adalah densitas *liquid*.

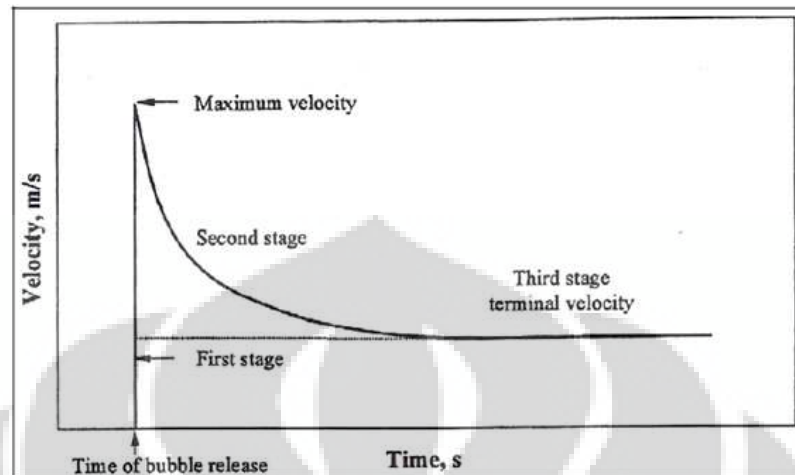
2.1.3 Drag

Drag force didefinisikan sebagai resultan gaya yang bekerja untuk menghambat gerakan partikel. Dalam gerakan *bubble* yang mengarah keatas, maka gaya *drag* yang bekerja adalah kearah bawah. *Drag coefficient* (C_D) besaran tak berdimensi yang digunakan untuk menggambarkan besarnya *drag force* (F_D) [3].

$$F_D = C_D \frac{\rho_l U_B^2 A}{2} \quad (3)$$

Dimana ρ_l densitas *liquid*, U_B *bubble velocity*, dan A Luas area.

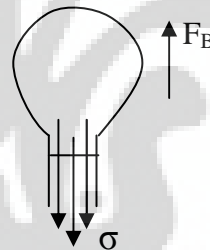
2.1.4 Terminal Velocity



Gambar 2.02 Tahapan profil kecepatan

Menurut hukum Newton

$$\Sigma F = m \cdot a \quad (4)$$



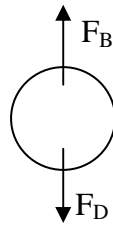
Gambar 2.03 Sesaat *bubble* keluar *nozzle*

Sesaat *bubble* keluar dari *nozzle* belum terdapat *drag force*, gaya yang menghambat gaya *buoyancy* hanya tegangan permukaan (Gambar 2.03). Setelah *bubble* terlepas dari *nozzle*, mulai terdapat *drag force* yang bernilai lebih kecil dibanding *buoyancy force*, sehingga *bubble* memiliki percepatan (Gambar 2.04). Kecepatan terus meningkat hingga mencapai *maximum velocity*.

$$F_B - F_D = m \cdot a$$

dengan

$$F_B > F_D$$



Gambar 2.04 Force bekerja pada *bubble* yang bergerak

Setelah mencapai titik kecepatan maksimum, *drag force* akan meningkat seiring naiknya kecepatan *bubble*. Hal ini menyebabkan berkurangnya percepatan *bubble* (*second stage*). Naik turunnya *drag force* dan *buoyancy force* akan mempengaruhi profil kecepatan. Besarnya *drag force* dan *buoyancy* pada suatu saat akan mulai mencapai keseimbangan, sehingga *bubble* bergerak dengan kondisi tanpa percepatan. Kondisi inilah yang dinamakan *terminal velocity* [3].

$$\Sigma F = 0$$

$$F_B = F_D \quad (5)$$

$$\frac{\pi d_b^3 \cdot g \cdot \rho_l}{6} = C_D \frac{\rho_l U_B^2 A}{2}$$

$$\frac{\pi d_b^3 \cdot g \cdot \rho_l}{6} = C_D \frac{\rho_l U_B^2 \pi d_b^2}{2.4}$$

Kecepatan Terminal velocity (V_N) dari bubble adalah:

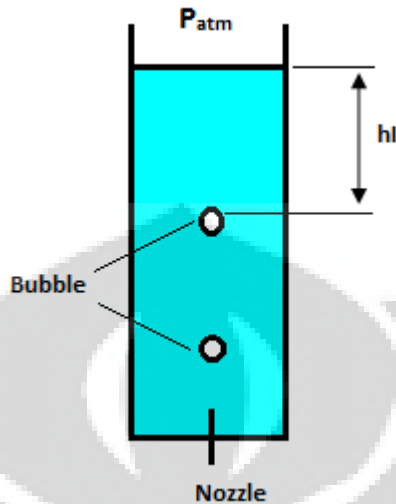
$$U_B = V_N = \sqrt{\frac{4d_b \cdot g}{3C_D}} \quad (6)$$

2.1.5 Ukuran Gelembung (*Bubble Size*)

Ukuran bubble berubah akibat tekanan hidrostatik. Untuk fluida statik, dimana tidak adanya gaya geser (*shear force*), gaya yang bekerja adalah tekanan. Menurut Hukum Pascal, tekanan pada fluida statik disegala arah memiliki nilai yang sama.

$$P_0 = P_{atm} + \rho g h_1 \quad (7)$$

dimana P_{atm} adalah tekanan atmosfer dan h_I adalah tinggi liquid diatas *bubble* (lihat gambar 2.05).

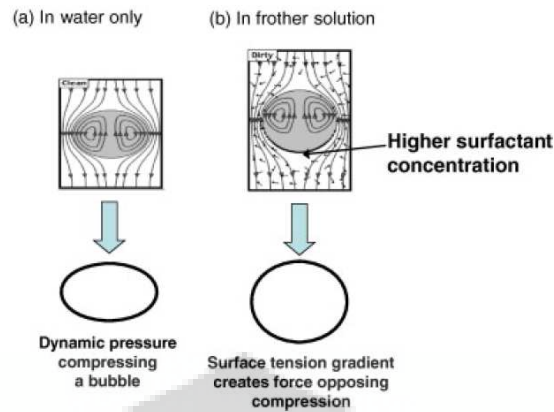


Gambar 2.05 *Bubble* dalam kolom mendapat gaya hidrostatis

Dari persamaan diatas dapat terlihat bahwa semakin tinggi pergerakan *bubble* tekanan akan semakin berkurang. Dengan mengasumsikan berlaku hukum gas ideal dimana dengan berkurangnya tekanan, maka volume *bubble* akan bertambah.

2.1.6 Bentuk *Bubble*

Interaksi antara *bubble* dan cairan medium *bubble* menentukan bentuk *bubble*. *Bubble* dapat berbentuk bola atau elipse. Untuk *bubble* yang memiliki diameter kecil ($d_b < 1\text{mm}$), memiliki bentuk mendekati bola. Meningkatnya ukuran *bubble* dapat menimbulkan gaya lain yang bekerja pada *bubble*, seperti tekanan dinamik. Tekanan dinamik bekerja pada seluruh permukaan *bubble*, tetapi memiliki nilai terbesar pada bagian arah gerak *bubble* (arah atas apabila *bubble* bergerak keatas). Hal inilah yang menyebabkan *bubble* ukuran besar cenderung memiliki bentuk elipse. Namun dengan penambahan reagen (yang berpengaruh terhadap viskositas permukaan dan tegangan permukaan), dapat mengurangi perbedaan tekanan dinamik pada seluruh permukaan *bubble* [3].



Gambar 2.06 Perbandingan pengaruh tekanan dinamik terhadap *bubble* yang berada dalam variasi medium (air dan *frother*)

2.1.7 Bilangan Tak-Berdimensi

Untuk mempermudah analisa dinamika bubble dalam hubungannya dengan parameter fisik lain, dapat digunakan beberapa bilangan tak-berdimensi, yaitu:

A. Bilangan Reynold

Bilangan yang menunjukkan perbandingan antara gaya inersia dengan gaya viskos di dalam fluida.

$$\text{Re (Reynolds No.)} = \frac{\text{inertia force}}{\text{viscous force}} = \frac{\rho_1 U_b^2 d_e}{\mu_1} \quad (8)$$

B. Bilangan Eotvos

Bilangan yang menunjukkan perbandingan antara gaya lift dengan tegangan permukaan.

$$\text{Eo (Eotvos No.)} = \frac{\text{gravity force}}{\text{surface tension force}} = \frac{g \rho_1 d_e^2}{\sigma} \quad (9)$$

C. Bilangan Morton

Bilangan yang menunjukkan perbandingan antara gaya viskos dengan tegangan permukaan.

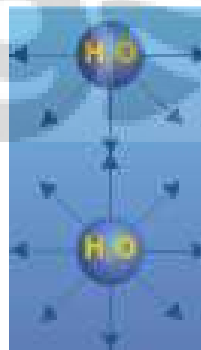
$$\text{Mo (Morton No.)} = \frac{g \mu_1^4}{\rho_1 \sigma^3} \quad (10)$$

2.2 REAGEN/LARUTAN ADITIF

Reagen adalah salah satu faktor penting pada proses flotasi. Pada proses pengolahan limbah sebagian waktu, energi dan perhatian digunakan untuk memilih reagen yang dapat meningkatkan efektifitas pemisahan. Pada dasarnya reagen dibagi berdasarkan efek yang ditimbulkan, yaitu *collector*, *frother*, *regulator* dan *depressant* [3].

Collector adalah senyawa organik yang menghasilkan lapisan hidrofobik pada larutan pengotor agar partikel-partikel pengotor dapat menempel pada *bubble*. Contoh senyawa *collector* adalah *Xanthat*, *Aerofloat*, *Fatty acid*, dan *Oleic acid*. *Frother* adalah senyawa *heteropolar* yang mengurangi tegangan permukaan air dan dapat menempel pada lapisan gelembung-air. Berkurangnya tegangan permukaan *bubble* mempengaruhi ukurannya. Penambahan *frother* pada air juga dapat menambah kekuatan lapisan *bubble*. Contoh *frother* diantaranya *Pine Oil*, *Methyl Iso Butyl Carbinol (MIBC)*, dan *Polypropylene Glycol Ether*.

Frother menurunkan tegangan permukaan air sebagai medium. Tanpa kehadiran *frother*, antar-molekul H₂O terjadi saling tarik-menarik (*hydrogen bonding*), seperti gambar 2.07. Namun dengan penambahan *frother pine oil* memperlemah kekuatan tarik-menarik tersebut. Hal ini disebabkan molekul *pine oil* (berada diatas molekul H₂O) memiliki kekuatan tarik-menaik dengan molekul H₂O yang lebih kecil dibanding kekuatan tarik-menaik antar-molekul H₂O.



Gambar 2.07 Hydrogen bonding

Regulator dan *depressant* adalah pembagian kelompok dari *Modifier*. Tujuan penggunaan reagen ini adalah mengurangi atau menambah kemampuan atau sifat dari *collector*. *Activator* adalah *modifier* yang digunakan untuk meningkatkan kemampuan *collector* berinteraksi dengan partikel. Sedangkan *depressant* digunakan untuk membentuk lapisan hidropfilik pada partikel yang tidak diinginkan untuk menempel pada *bubble* [3]. Contoh reagen *activator* diantaranya CuSO₄, sedangkan contoh reagen *depressant* adalah larutan NaCN dan NaCN.

2.3 SISTEM FLOTASI

Flotasi adalah sebuah metode untuk memisahkan padatan dari air atau partikel pengotor ringan dan minyak dari limbah buangnya. Pemisahan padatan partikel dapat terjadi akibat kemampu-basahan partikel tersebut. Partikel yang mampu-basah disebut *hydrophilic*, tetapi partikel ini bersifat tidak menyatu dengan udara (*aerophobic*). Sedangkan partikel tidak-mampu basah bersifat menyatu dengan udara (*aerophilic*) [6].

Metode flotasi yang biasa digunakan untuk pengolahan limbah dapat digolongkan menjadi beberapa jenis:

- *Dissolved Air Flotation* (DAF), gas dilepaskan dari larutan supersaturasi akibat pengurangan tekanan [7].
- *Induced (dispersed) Air Flotation* (IAF), udara dan air dicampurkan secara mekanik pada mixer sehingga formasi *bubble* dapat terbentuk [7].
- *Froth Flotation* adalah salah satu metode flotasi dimana gas di masukkan kedalam air pada kolom pengamatan [8]. Hal ini bertujuan untuk memberikan energi kepada partikel padatan yang sedang melayang di air untuk naik ke permukaan.
- *Electro Flotation, bubble* dihasilkan oleh proses elektrolisis air [9].

Proses flotasi meliputi 4 langkah diantaranya [6]:

1. Terbentuknya *bubble* pada air
2. Kontak antara *bubble* dengan partikel atau minyak terlarut
3. Penempelan partikel atau minyak ke *bubble*
4. Naiknya kombinasi *bubble*-partikel ketas permukaan air

2.4 GERAKAN NAIK *BUBBLE*

Gerakan naik sebuah *bubble* biasa mengikuti garis lurus jika *bubble* berbentuk bola (*spheric*) [3]. Perubahan bentuk *bubble* menjadi elipse yang disebabkan semakin besarnya ukuran *bubble* mengakibatkan *bubble* bergerak zigzag atau berbentuk spiral. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa gerak naik *bubble* dipengaruhi oleh ukuran *bubble* dan pengaruh reagen. Hal ini berkaitan dengan bilangan Reynold dan bilangan Eotvos. Lima tipe pergerakan yang telah diamati dengan Re dan Eo [5], yaitu:

Tabel 2.1 Hubungan Re , Eo , db , dan lintasan *bubble*

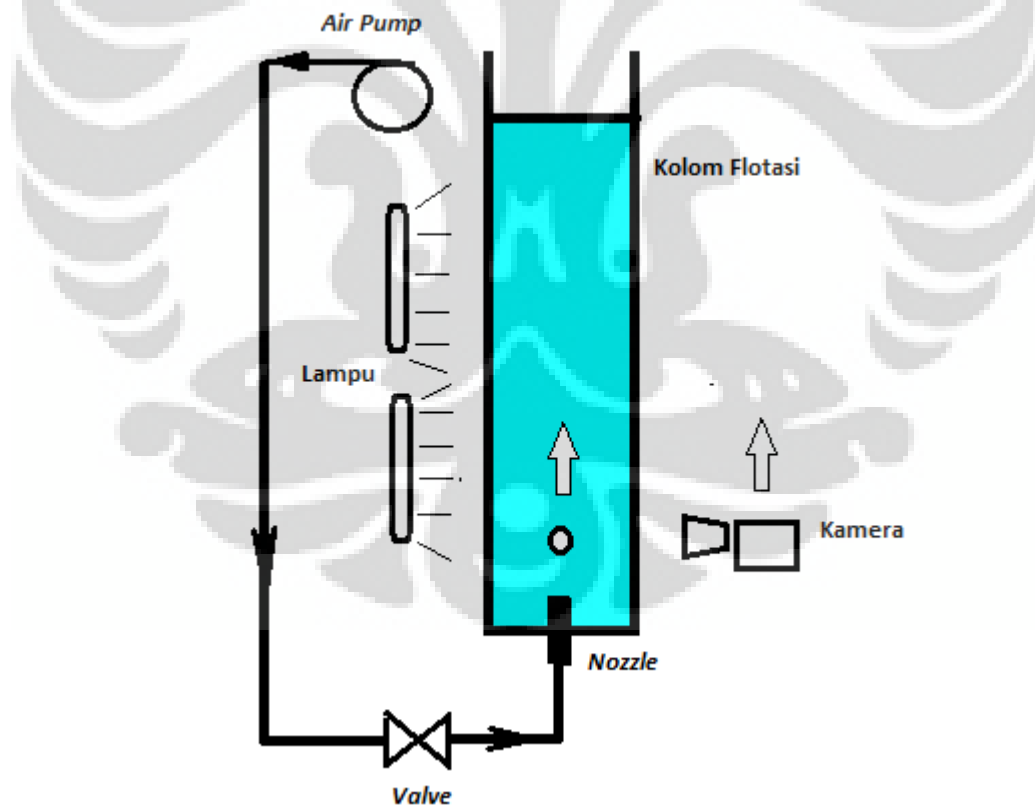
db (mm)	Re	Eo	Lintasan
<1.3	<565	>0.8	Rektilinear
1.3-2.0	565-880	0.8-0.5	Spiral
2.0-3.6	880-1350	0.5-0.36	Zigzag lalu spiral
3.6-4.2	1350-1510	0.36-0.28	zigzag
4.2-17	1510-4700	0.28-9.23	Rektilinear dengan rocking

BAB 3

PROSEDUR DAN PELAKSANAAN PENELITIAN

Penelitian karakteristik *bubble Froth Flotation* pada kolom dilakukan dengan menggunakan sistem air tidak mengalir yang terdiri dari pompa udara, test section, kolom pengamatan, dan *valve*. Test section dipasang pada dasar kolom agar dapat diamati karakteristik *bubble* mulai dari keluar nozzle hingga ketinggian rata-rata 160cm, dimana sepanjang perjalanan *bubble* memiliki profil kecepatan yang beragam.

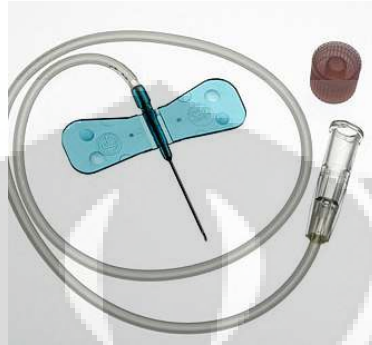
Desain dari peralatan *Froth Flotation* dirangkai sesuai dengan gambar 3.1 dibawah ini, dimana lampu diletakkan dibagian belakang kolom dan bak pengamatan, sedangkan kamera dan pengangkat kamera diletakkan didepan bak pengamatan.



Gambar 3.1 Skematik alat

3.1 TEST SECTION

Penelitian ini menggunakan *test section* berupa variasi 2 nozzle jarum dengan diameter dalam masing-masing 0,8mm dan 0,4mm seperti terlihat di gambar 3.2 sampai dan gambar 3.3.



Gambar 3.2 Wing Needle dengan $d_{in} = 0,8\text{mm}$



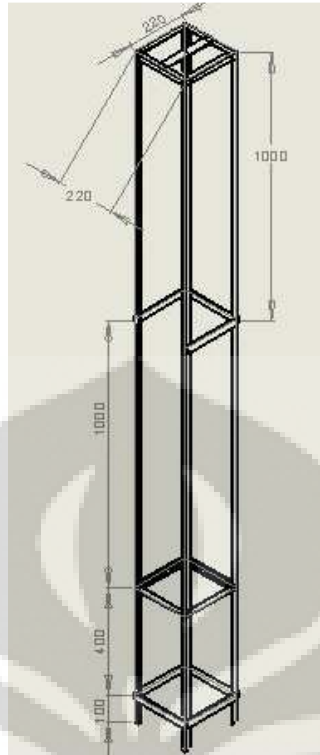
Gambar 3.3 Needle dengan $d_{in} = 0,4\text{mm}$

3.2 PENGAMATAN

3.2.1 Kamera Dan Pengangkat Kamera



Gambar 3.4 Kamera



Gambar 3.5 Pengangkat Kamera

Kamera yang digunakan adalah kamera Nikon d5500 (spesifikasi kamera pada table 3.1) dengan kemampuan maksimum 1080p HD video. Gambar yang jelas dapat mempermudah pengolahan data gambar. Pengangkat kamera digunakan agar lebih mudah dalam melakukan pengambilan video perjalanan *bubble* dari *nozzle* hingga permukaan.

Tabel 3.1 Spesifikasi Kamera

Key Features	
Features	AF Tracking
LCD Screen Size	2.7 in
Resolution	16 MP
	1080p
Weight	1.24 lb
Image Resolutions	4288 x 2848
Video Format	AVI
Video Speed	32 fps
Shutter Speed	30 - 1/4000 sec
White Balance	Auto
Interface Type	USB 2.0

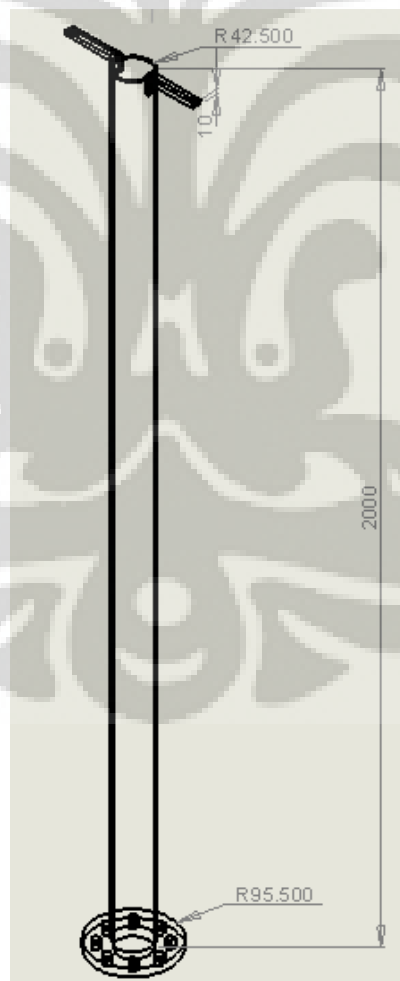
3.2.2 Lampu Penerangan

Pencahayaan dengan lampu diberikan pada kolam pengamatan untuk mendapatkan visualisasi dari bubble dengan hasil yang maksimal. Adapun pencahayaan dilakukan dengan menggunakan 2 buah lampu TL 24 watt yang dipasang seri vertikal.



Gambar 3.6 Lampu Penerangan

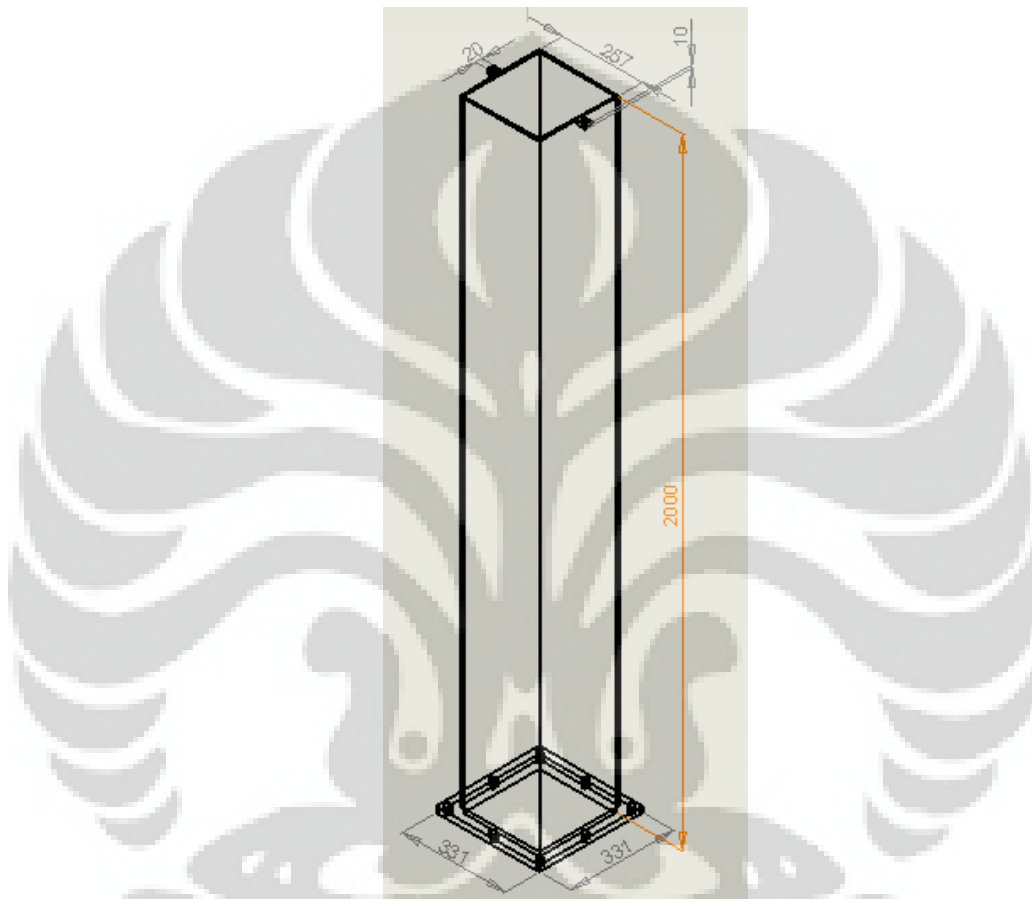
3.2.3 Kolom Flotasi



Gambar 3.7 Kolom Flotasi

Kolom Flotasi terbuat dari bahan *acrylic* tebal 5 mm dengan diameter dalam 80 mm dan tinggi 2000 mm. Bahan *Acrylic* dipilih karena permukaannya yang bening sehingga dapat memudahkan dalam melakukan pengamatan terhadap *bubble*.

3.2.4 Bak Pengamatan



Gambar 3.8 Bak Pengamatan

Bak pengamatan terbuat dari bahan *acrylic* tebal 5 mm berbentuk balok dengan panjang dan lebar sebesar 257 mm dan tinggi 2000 mm. Bak digunakan untuk menghindari pembiasan akibat kolom yang berbentuk silinder.

3.3 PENGAMBILAN DATA

Proses pengambilan data dilakukan untuk mengetahui karakteristik bubble dari *Froth Flotation* pada kolom. Jenis dan kadar penggunaan reagen dan jenis

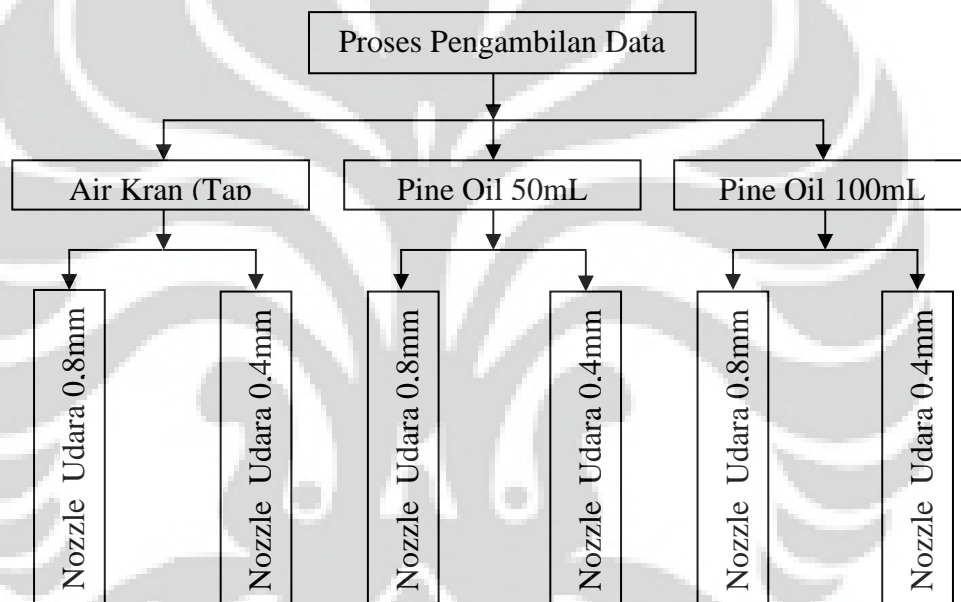
jarum sebagai *nozzle* akan divariasikan dalam penelitian. Untuk mengetahui karakter diameter dan kecepatan *bubble* maka dilakukan proses pengambilan data visual berupa video pada bak pengamatan. Peralatan dipasang sesuai dengan gambar skematik pada gambar 3.1.

Bagian pengamatan mejadi hal yang penting diperhatikan dalam pengambilan data visual. Pada bagian kolam pengamatan, karton hitam dipasangkan pada sisi samping bak pengamatan kecuali bagian belakang dan sisi dimana akan diambil gambar. Hal ini dimaksudkan agar cahaya hanya akan diterima dari bagian belakang (*back light*) dan sisi atas. Dengan sistem penerangan *back light* dan *overhead light* diharapkan *bubble* dapat semakin jelas dan mudah untuk diolah dalam *image processing*. Bagian belakang kolam pengamatan diberikan kertas kalkir sebagai pemberi tanda profil ketinggian dicapai oleh *bubble* dan untuk membuat cahaya lampu yang diletakkan di bagian belakang mengalami *diffuse* sehingga tidak ada efek pemantulan cahaya. Kamera diletakkan dibagian depan kolam pengamatan pada pengangkat kamera agar dapat mengambil video perjalanan *bubble* dari saat keluar *nozzle* hingga permukaan. Pada pengangkat kamera posisi kamera ada pada dudukan untuk menjaga kamera lebih steady. Selanjutnya gambar yang dihasilkan akan diolah dengan bantuan *software* pada komputer.

Adapun tahapan-tahapan dalam persiapan dan pengambilan data visual dari karakteristik *bubble froth flotation* pada kolom adalah sebagai berikut :

- 1) Memasang *test section*, *valve*, dan *air pump*.
- 2) Mengisi bak pengamatan dan kolom dengan air hingga ketinggian 1600mm untuk percobaan yang tidak menggunakan reagen dan ketinggian 1600mm – n untuk yang menggunakan reagen. (n=volume reagen ditambahkan)
- 3) Menyalakan *air pump*, mengatur debit udara hingga *single bubble* keluar.
- 4) Memasukkan larutan reagen 50 mL (0,11%) dan 100 mL (0,22%) ke dalam kolom. Untuk percobaan yang tidak menggunakan reagen abaikan langkah 4.
- 5) Menyalakan lampu sebagai penerang, menyiapkan kamera untuk mendapatkan pengambilan gambar.
- 6) Memastikan alat bekerja dengan stabil.

- 7) Mengambil video perjalanan *bubble* dengan kamera hingga ketinggian 1200mm s/d 1600mm.
- 8) Mengganti konsentrasi larutan *pine oil* pada kolom. Lakukan langkah 1 hingga 7.
- 9) Mengganti *test section* diameter *nozzle* dengan ukuran lain. Lakukan langkah 1 hingga 8.
- 10) Pengambilan data video dilakukan sebanyak 9 kali untuk satu kondisi.
- 11) Untuk setiap pengambilan data visual dengan konsentrasi berbeda, kolam pengamatan harus dikuras untuk memastikan tidak ada partikel pengotor yang dapat mengganggu karakteristik *bubble* dan hasil visual.



Gambar 3.9 Diagram proses pengambilan data

BAB 4

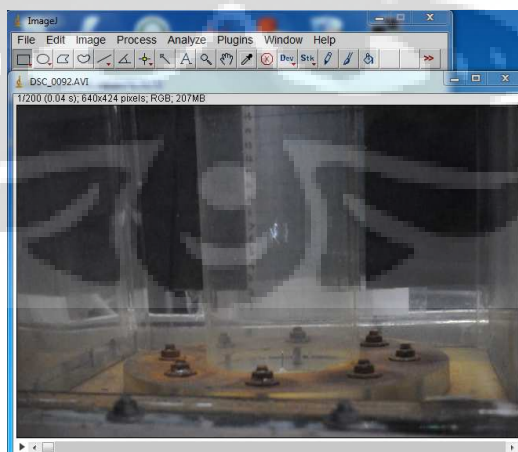
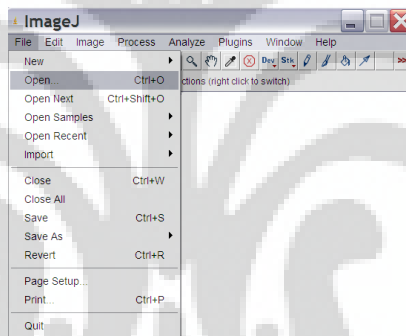
PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA

4.1 PENGOLAHAN DATA

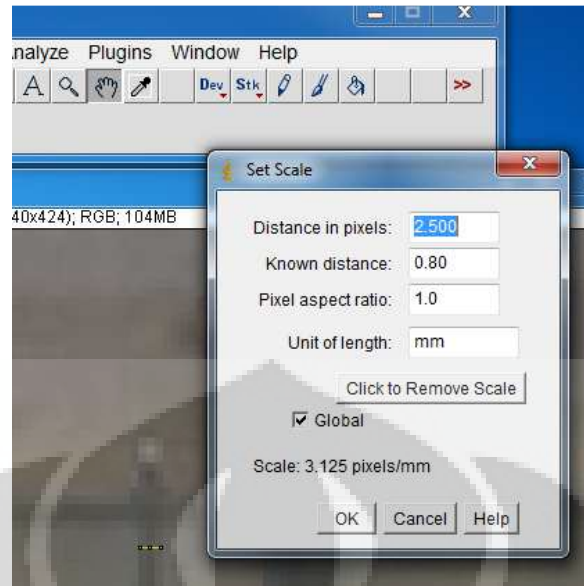
Metode pengolahan data visual diperoleh dengan melakukan *running* pada alat untuk mengambil video pada kondisi tertentu, yang selanjutnya akan diolah dengan *image processing* menggunakan software *Image J*. Hasil dari *image processing* adalah diameter *bubble* dan kecepatan *bubble* dengan langkah - langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Membuka file Gambar (*File – Open*)

Aktifkan software *Image J*, kemudian klik *File – Open* untuk membuka video yang akan diproses.



Gambar 4.01 Langkah membuka file gambar



Gambar 4.03 Menentukan skala

3. Proses pengukuran

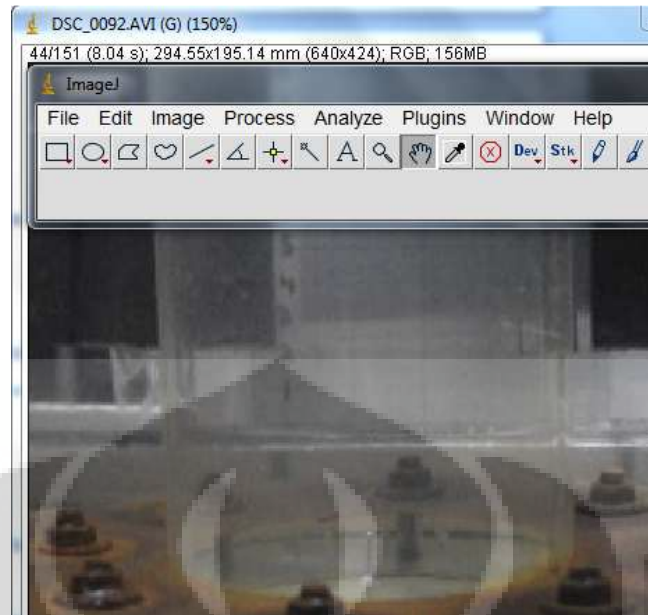
Proses pengukuran dilakukan untuk mengetahui beberapa karakteristik *bubble*, diantaranya kecepatan dan diameter *bubble*.

A. Pengukuran Kecepatan *Bubble*

Untuk mendapatkan profil atau karakteristik *bubble*, diperlukan titik bantu sebagai patokan pergerakan posisi *bubble* pada *frame* video. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- Menentukan waktu awal *bubble*

Untuk mendapatkan waktu tersebut, gunakan *frame* sebelum *bubble* muncul dari *nozzle*. Hal ini dilakukan karena waktu *start* pengambilan tidak sama dengan waktu dimana *bubble* mulai keluar *nozzle*. Setelah itu jadikan waktu yang tertera pada *frame* tersebut sebagai titik awal (Pada gambar 4.04 adalah 8,04 *seconds*).



Gambar 4.04 Sesaat sebelum *bubble* keluar *Nozzle*

- Menentukan patokan *bubble*

Pada saat *bubble* mulai bergerak, kamera akan mengikuti mulai dari dasar hingga permukaan air/larutan. Ketinggian dari dasar hingga permukaan sekitar 1600mm. Dalam perjalanan mengikuti pergerakan *bubble* satuan terletak pada kalkir akan terlihat berbayang pada kamera. Untuk menanggulangi hal tersebut digunakan patokan sebagai pembanding jarak tempuh *bubble*. Namun karena kamera hanya mampu menangkap sekitar 18cm tinggi gambar agar profil diameter *bubble* dapat dilihat dengan baik, perlunya patokan baru di beberapa *frame*. Patokan pertama adalah ujung *nozzle*, sedangkan patokan selanjutnya adalah titik yang dapat terlihat pada *frame* saat ini dan *frame* dimana patokan pertama sesaat mulai tidak terlihat.



Gambar 4.05 Frame patokan pertama (*nozzle*) masih terlihat



Gambar 4.06 Frame patokan pertama (*nozzle*) sesaat tidak terlihat

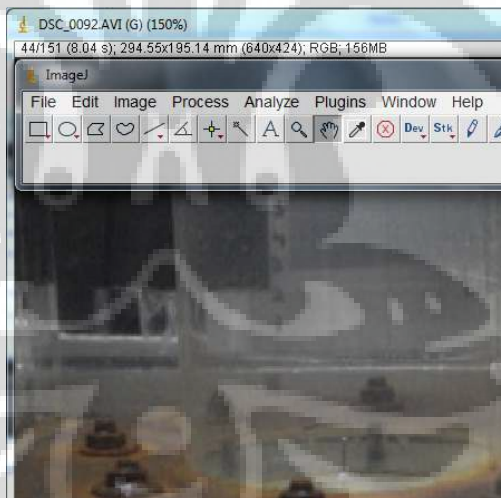
Dari kedua gambar diatas dapat terlihat sebuah garis melintang yang dapat dijadikan patokan kedua untuk perjalanan *bubble*. Sebelum dijadikan garis tersebut harus diukur jaraknya terhadap patokan pertama. Pada gambar 4.07 terlihat jarak sebesar 150.5 mm.



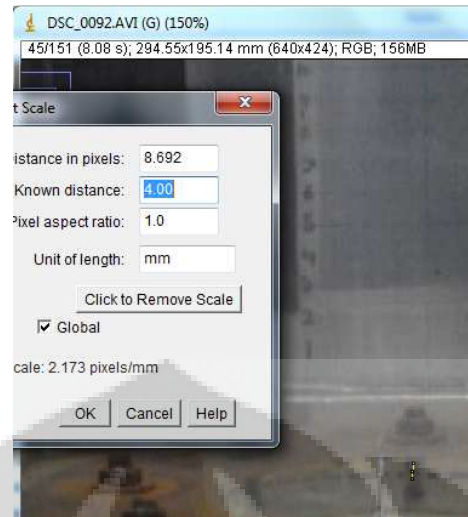
Gambar 4.07 Menentukan jarak patokan sebelum dan berikutnya

- Menentukan jarak tempuh/pergerakan *bubble*

Dalam menentukan jarak tempuh, pengukuran dilakukan dari patokan.



Gambar 4.08 Titik awal *bubble* dengan $t_0=0$ s dan $s_0=0$ mm



Gambar 4.09 Titik 2 *bubble* dengan $t_1=0,04$ s dan $s_1=4$ mm

- Menentukan kecepatan *bubble*

Untuk menentukan kecepatan *bubble* di titik tertentu, dibutuhkan data waktu (t) dan ketinggian (s). Kemudian gunakan persamaan:

$$v_i = \frac{S_i - S_{(i-1)}}{t_i - t_{(i-1)}}$$

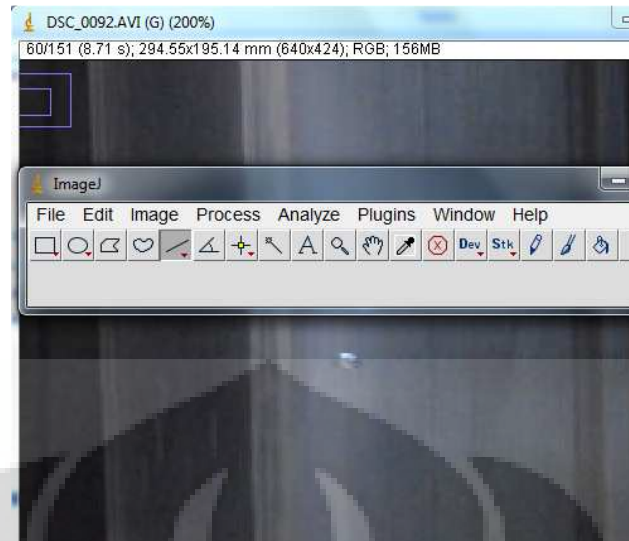
Untuk mencari kecepatan dapat dilihat contoh gambar 4.08 dan gambar 4.09.

$$v_i = \frac{4 - 0}{0,04 - 0}$$

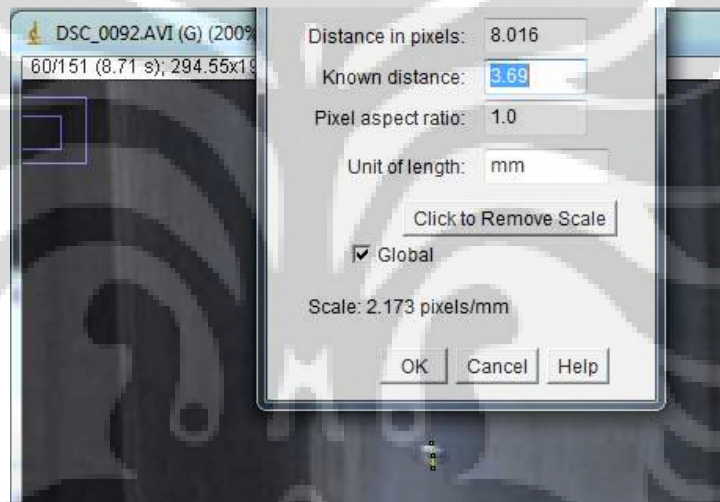
$$v_i = 100 \frac{mm}{s} = 0,1m/s$$

B. Pengukuran Diameter *Bubble*

Hal pertama yang harus dilakukan untuk mengukur diameter *bubble* adalah menentukan skala seperti pada gambar 4.02 dan gambar 4.03. Setelah itu gunakan perintah *line* sepanjang diameter *bubble* pada *frame* video.



Gambar 4.10 Profil *bubble* pada kolom



Gambar 4.11 *Bubble* dengan diameter y 3,69mm

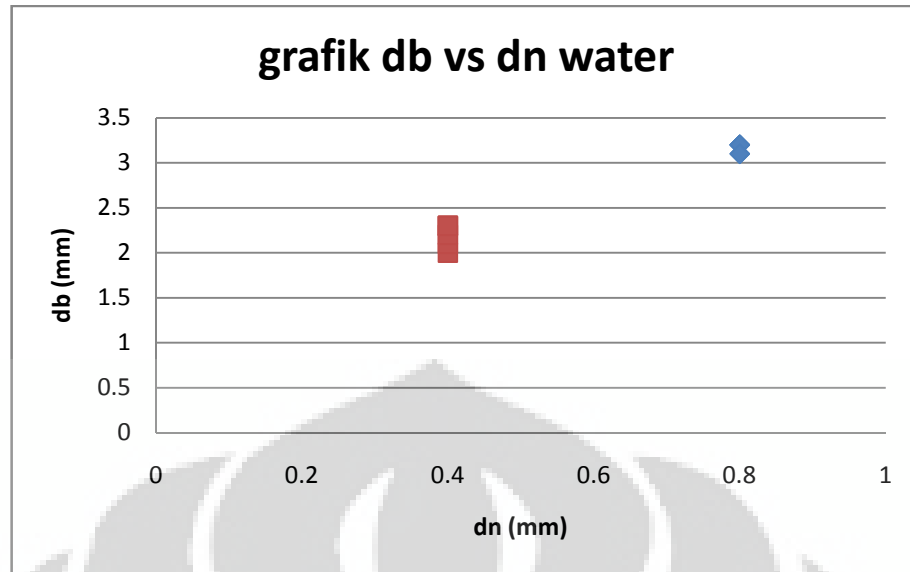
4.2 ANALISA HASIL

4.2.1 Analisa Diameter

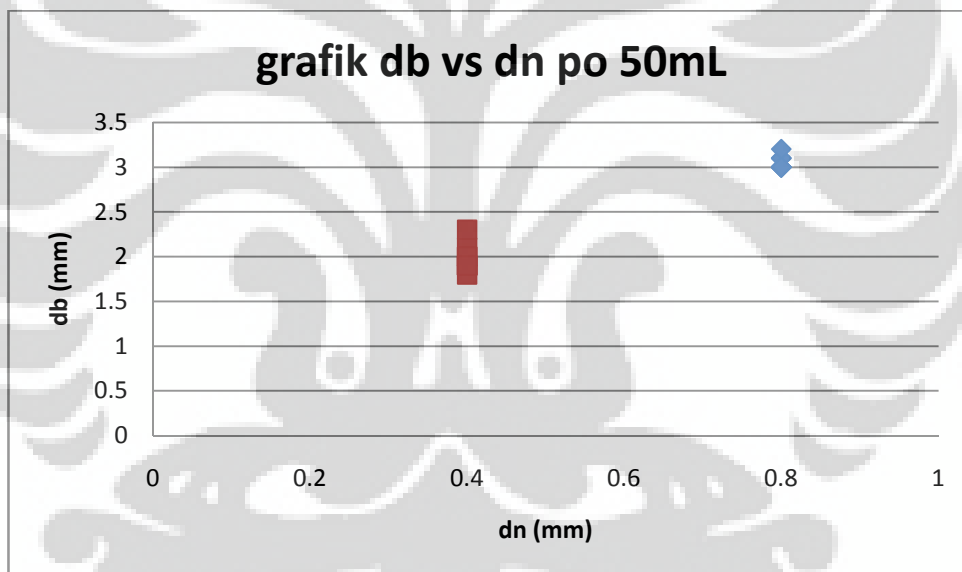
Tabel 4.1 Data diameter *bubble* (*db*) dan diameter *nozzle* dalam variasi konsentrasi larutan *pine oil* pada ketinggian *bubble* 1280mm

data	db(mm)	dn(mm)	type
219	3	8	
220	3.2	8	
221	3	8	pine oil
222	3.1	8	100mL
223	3	8	(0,22%)
224	3.1	8	nozzle
225	2.9	8	4mm
226	3	8	
227	3	8	
229	3	8	
230	3	8	
231	3	8	pine oil
232	3.1	8	50mL
233	3	8	(0,11%)
234	3.1	8	nozzle
235	3	8	4mm
236	3.2	8	
237	3	8	
92	3.2	8	
95	3.2	8	
96	3.2	8	
97	3.1	8	nozzle
110	3.2	8	4mm tap
111	3.2	8	water
112	3.2	8	
113	3.1	8	
122	3.1	8	

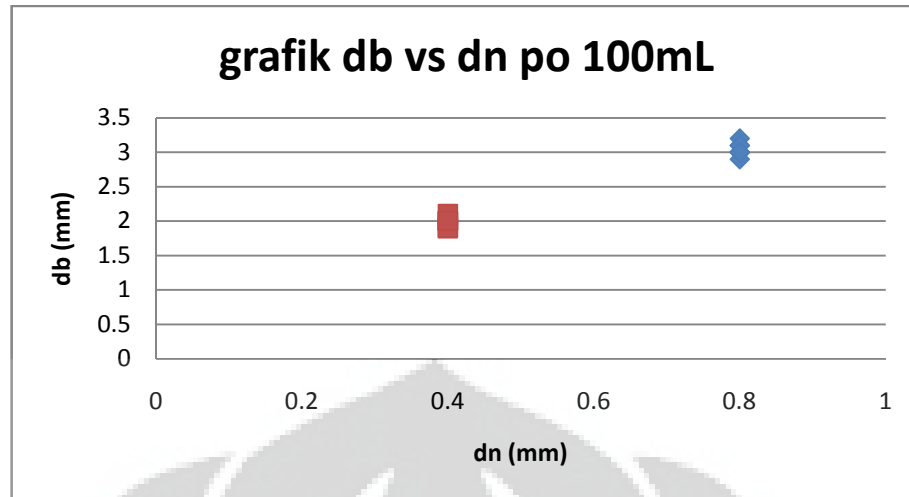
data	db(mm)	dn(mm)	type
194	2	4	
195	2	4	
196	2	4	pine oil
197	1.9	4	100mL
198	2.1	4	(0,22%)
199	2	4	nozzle
201	1.9	4	4mm
202	2	4	
203	2	4	
206	1.8	4	
207	2.1	4	
208	1.9	4	pine oil
209	2.3	4	50mL
210	1.9	4	(0,11%)
211	2	4	nozzle
212	1.9	4	4mm
213	2	4	
214	1.9	4	
134	2	4	
153	2.3	4	
154	2.1	4	
155	2.1	4	nozzle
156	2.1	4	4mm tap
157	2.3	4	water
158	2.2	4	
159	2.3	4	
160	2.3	4	



Gambar 4.20 Grafik perbandingan diameter *bubble* (db) terhadap diameter *nozzle* (dn) dalam air kran dengan memvariasikan ukuran *nozzle*



Gambar 4.21 Grafik perbandingan diameter *bubble* (db) terhadap diameter *nozzle* (dn) dalam *pine oil* 50mL (0,11%) dengan memvariasikan ukuran *nozzle*



Gambar 4.22 Grafik perbandingan diameter *bubble* (d_b) terhadap diameter *nozzle* (d_n) dalam *pine oil* 100mL dengan memvariasikan ukuran *nozzle*

Dari gambar 4.20, gambar 4.21, dan gambar 4.22 terlihat bahwa semakin besar diameter *nozzle* yang digunakan maka semakin besar pula diameter *bubble* yang dihasilkan. Selain itu semakin besar konsentrasi *pine oil*, maka semakin kecil ukuran *bubble*. Hasil grafik tersebut dapat dibandingkan dengan menggunakan persamaan empiris yang dirumuskan Koide [3]:

$$d_b = 1,35 \frac{d_n \cdot v / g}{(d_n \cdot v^2 \cdot \rho_w / \sigma_w)^{1/2}} \left[\frac{\sigma_w \cdot d_n}{g \cdot \rho_w} \right]^{1/9} \quad (11)$$

dimana:

d_b =diameter bubble

v =kecepatan bubble

d_n =diameter nozzle

σ_w =tegangan permukaan air

ρ_w =densitas air

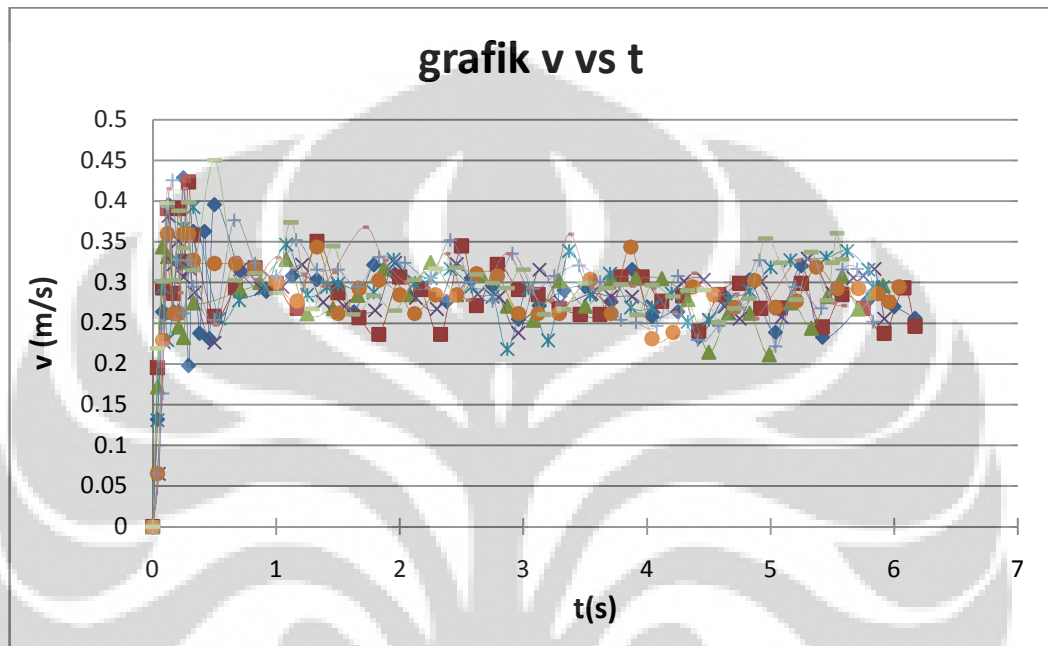
Tabel 4.2 Properti data

ρ_w (kg/L)	1.34
ρ_{po50} (kg/L)	1.2872
ρ_{po100} (kg/L)	1.2344
ρ_{po} (kg/L)	0.86
σ_{po} (N/m)	0.069
σ_w (N/m)	0.0712

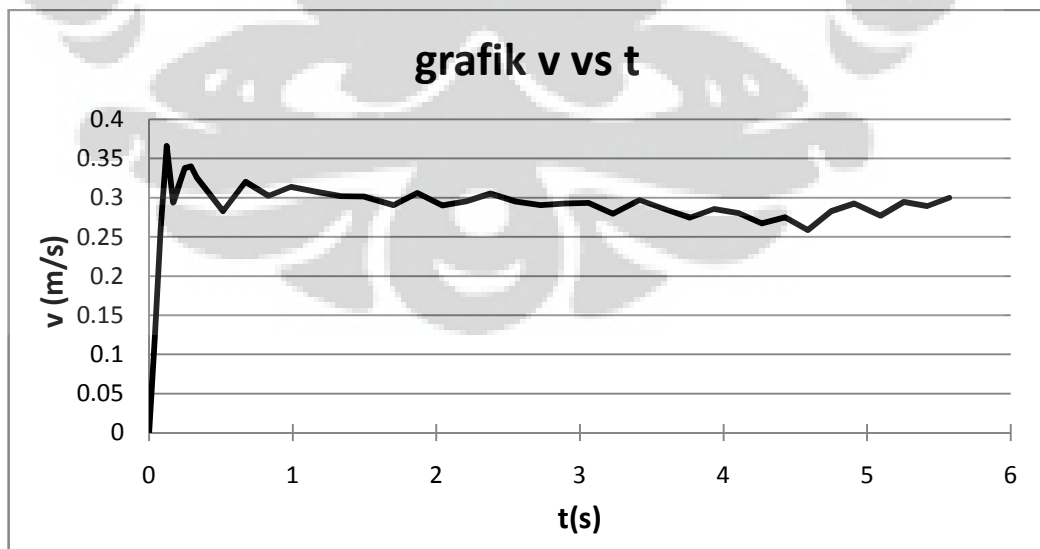
Persamaan diatas juga menunjukkan bahwa diameter *bubble* berbanding lurus dengan diameter *nozzle*. Selain dipengaruhi oleh diameter *nozzle*, ketiga

grafik, persamaan (1) dan persamaan (11) diatas juga menunjukkan bahwa tegangan permukaan *liquid* atau air memiliki peran terhadap perubahan diameter *bubble*. Semakin tinggi tegangan permukaan *liquid*, maka akan semakin besar diameter *bubble*.

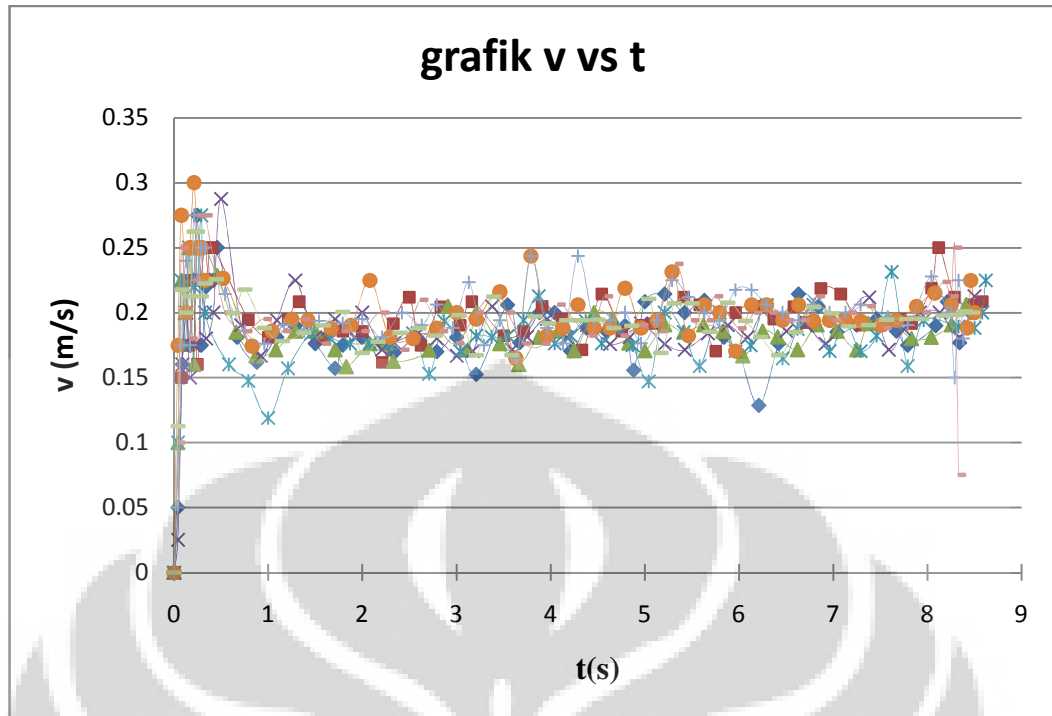
4.2.2 Profil Kecepatan



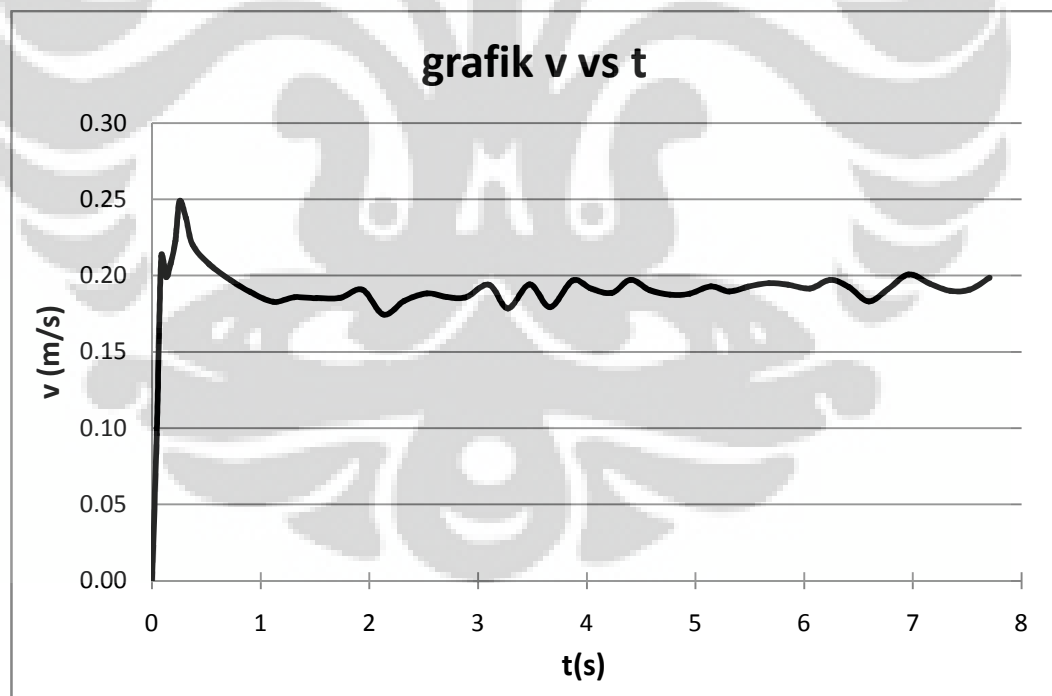
Gambar 4.23 Profil kecepatan *bubble* dari 9 data dalam air kran dengan diameter *nozzle* udara 0,8mm



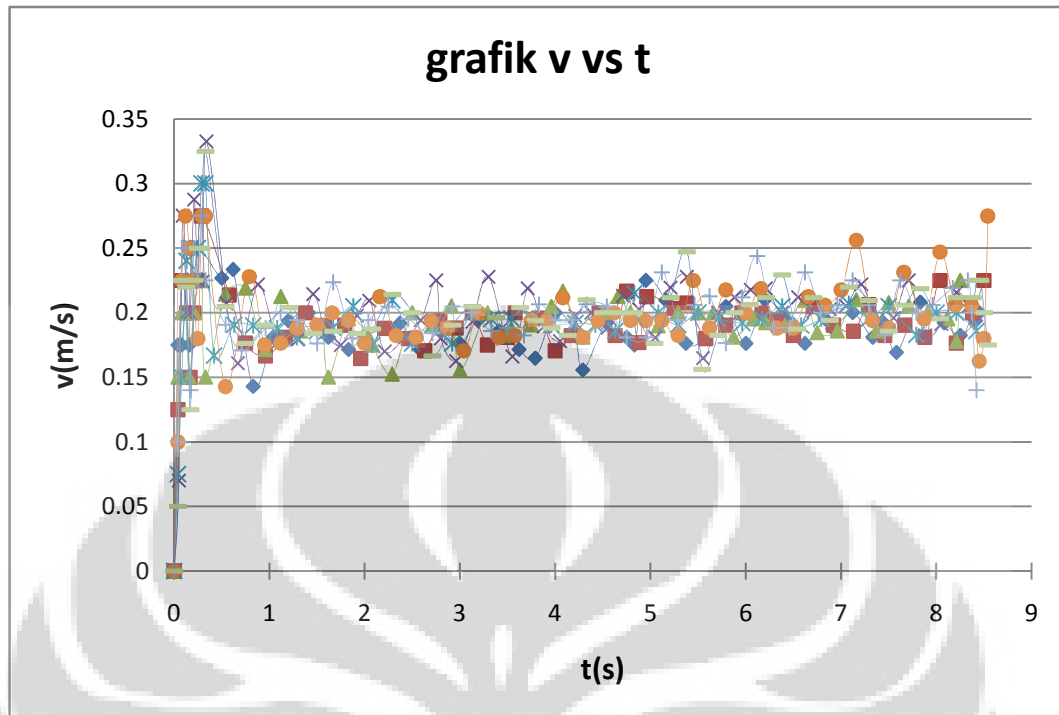
Gambar 4.24 Profil kecepatan rata-rata *bubble* dalam air kran dengan diameter *nozzle* udara 0,8mm



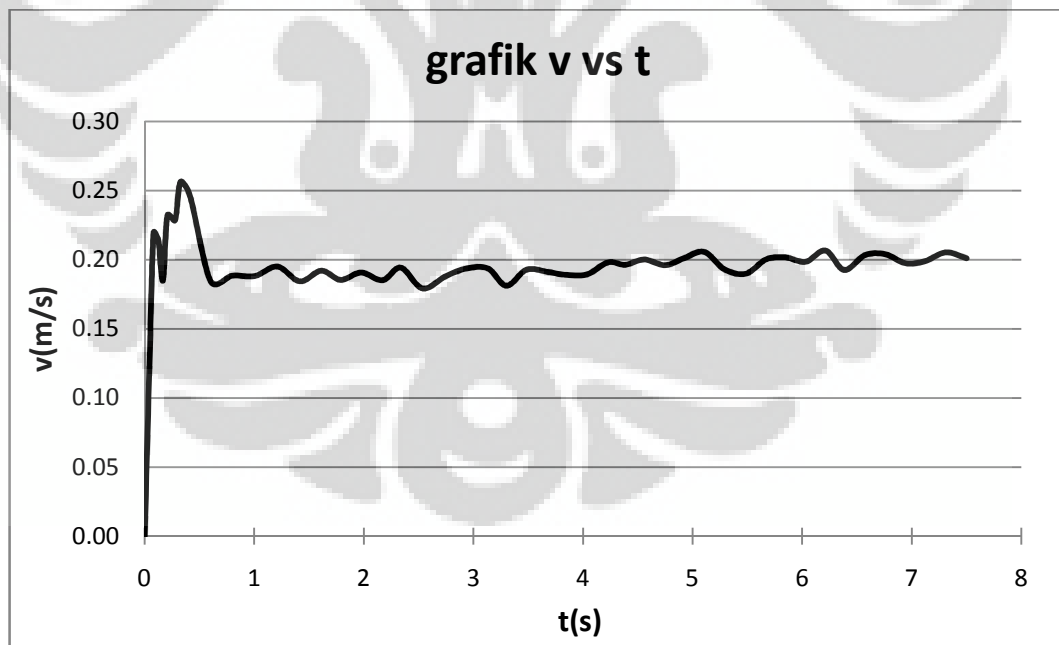
Gambar 4.25 Profil kecepatan *bubble* dari 9 data dalam larutan *pine oil* 0,11% dengan diameter *nozzle* udara 0,8mm



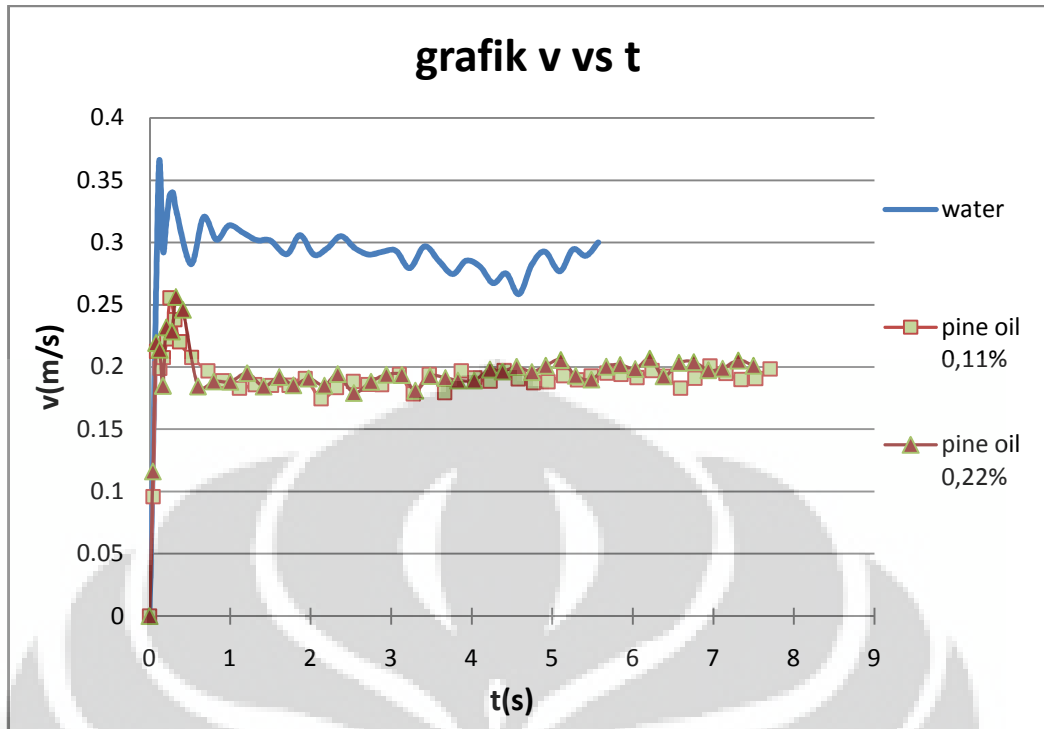
Gambar 4.26 Profil kecepatan rata-rata *bubble* dalam larutan *pine oil* 0,11% dengan diameter *nozzle* udara 0,8mm



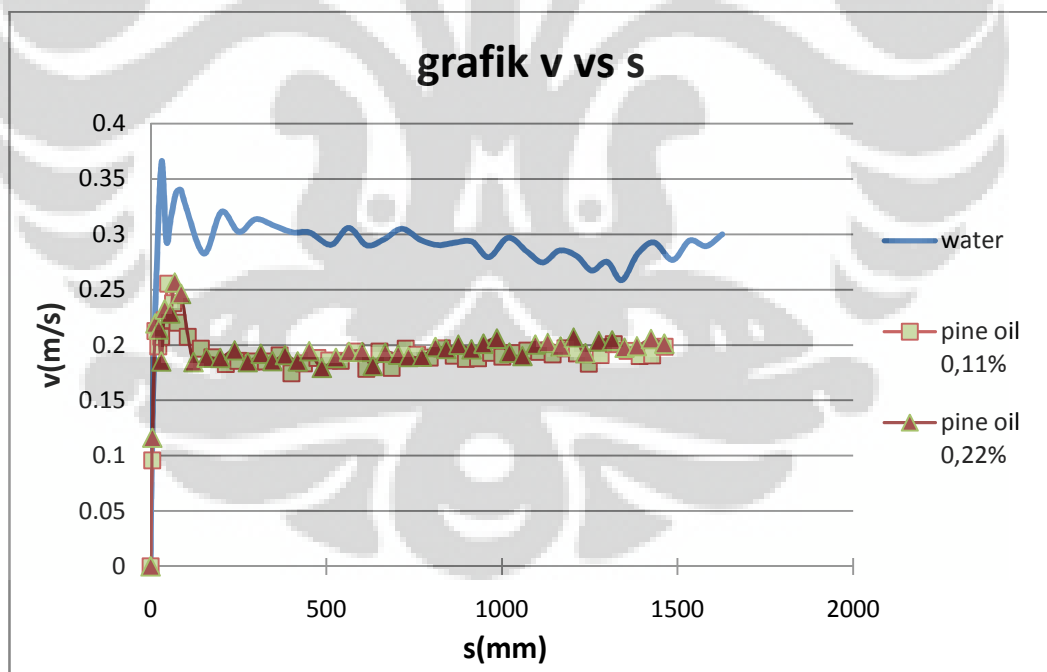
Gambar 4.27 Profil kecepatan *bubble* dari 9 data dalam larutan *pine oil* 0,22% dengan diameter *nozzle* udara 0,8mm



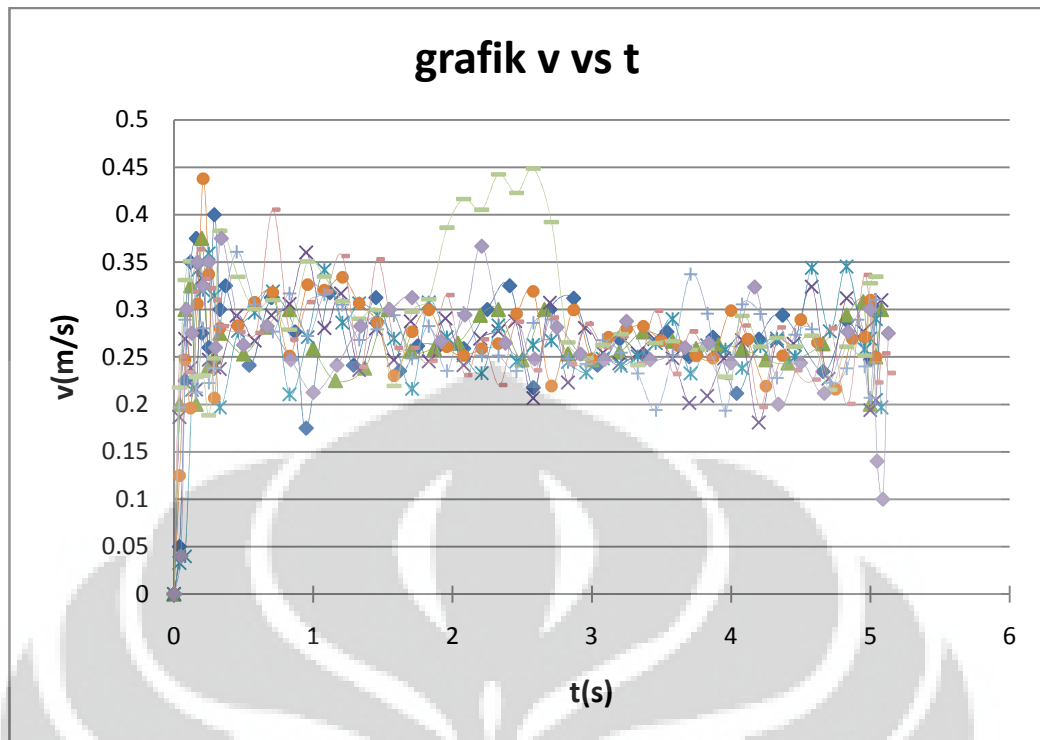
Gambar 4.28 Profil kecepatan rata-rata *bubble* dalam larutan *pine oil* 0,22% dengan diameter *nozzle* udara 0,8mm



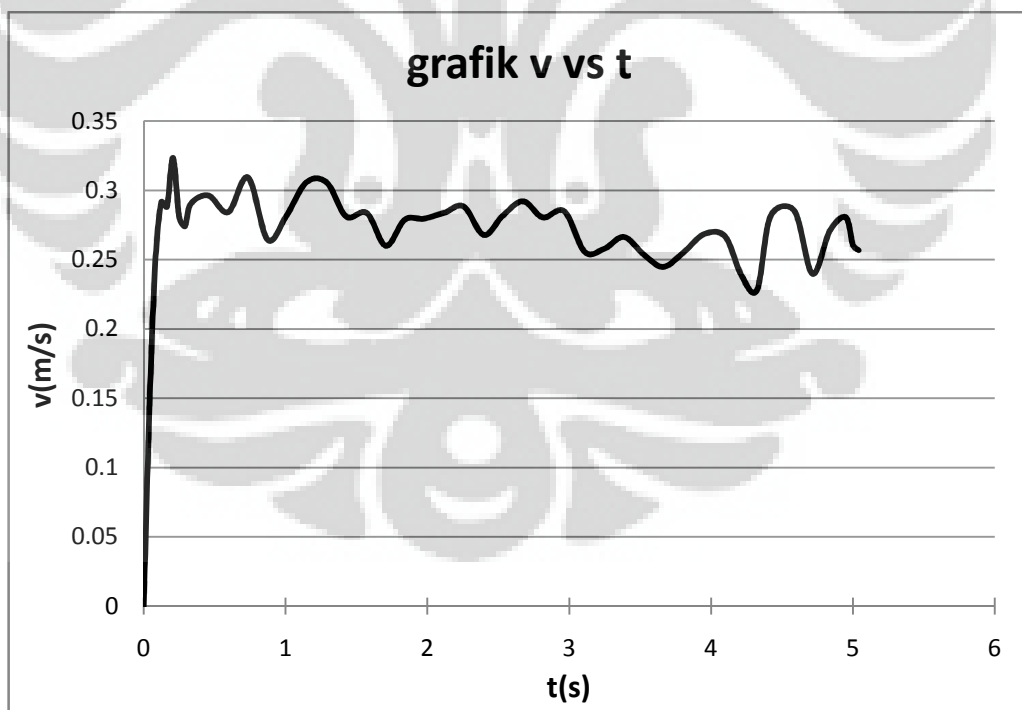
Gambar 4.29 Grafik perbandingan kecepatan rata-rata *bubble* (v) terhadap waktu (t) dalam air dan larutan *pine oil* diameter *nozzle* udara 0,8mm



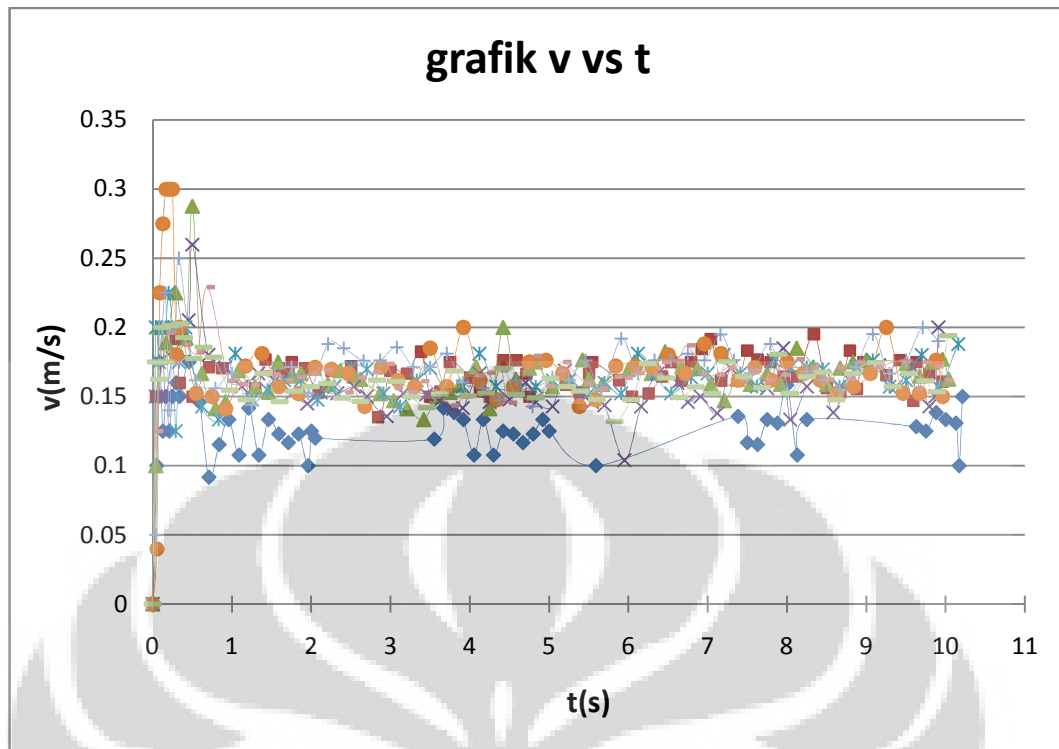
Gambar 4.30 Grafik perbandingan kecepatan rata-rata *bubble* (v) terhadap jarak tempuh (s) dalam air dan larutan *pine oil* diameter *nozzle* udara 0,8mm



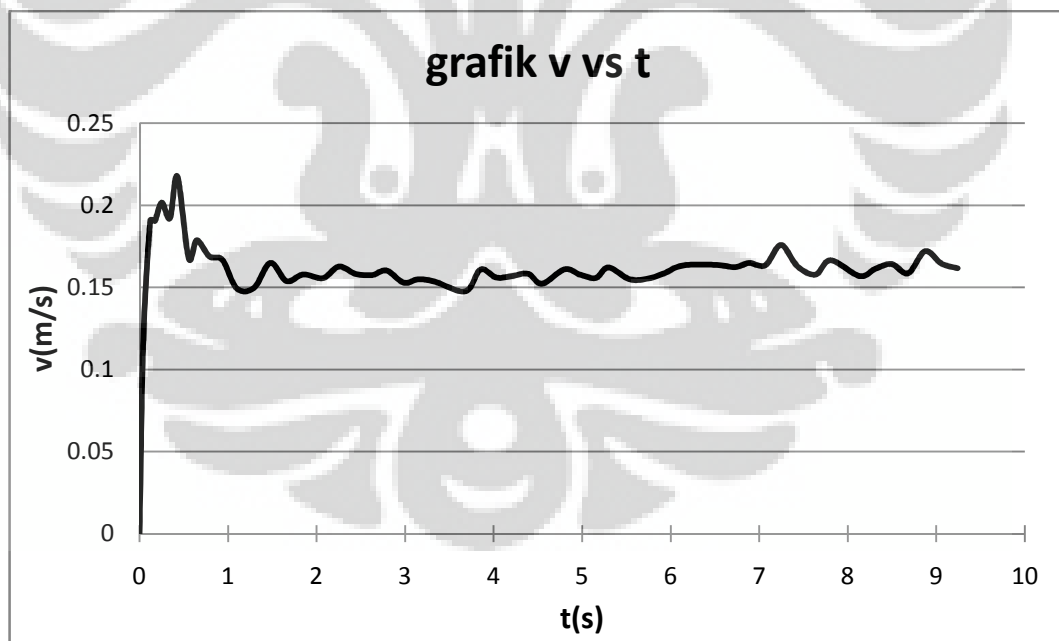
Gambar 4.31 Profil kecepatan *bubble* dari 9 data dalam air kran dengan diameter *nozzle* udara 0,4mm



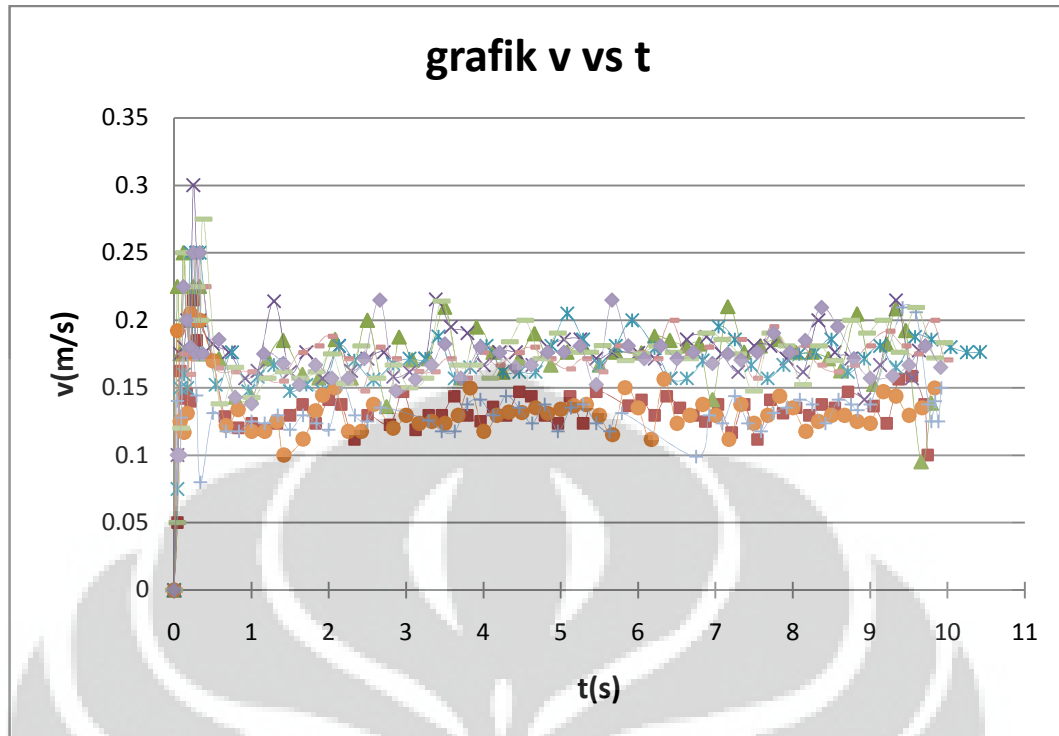
Gambar 4.32 Profil kecepatan rata-rata *bubble* dalam air kran dengan diameter *nozzle* udara 0,4mm



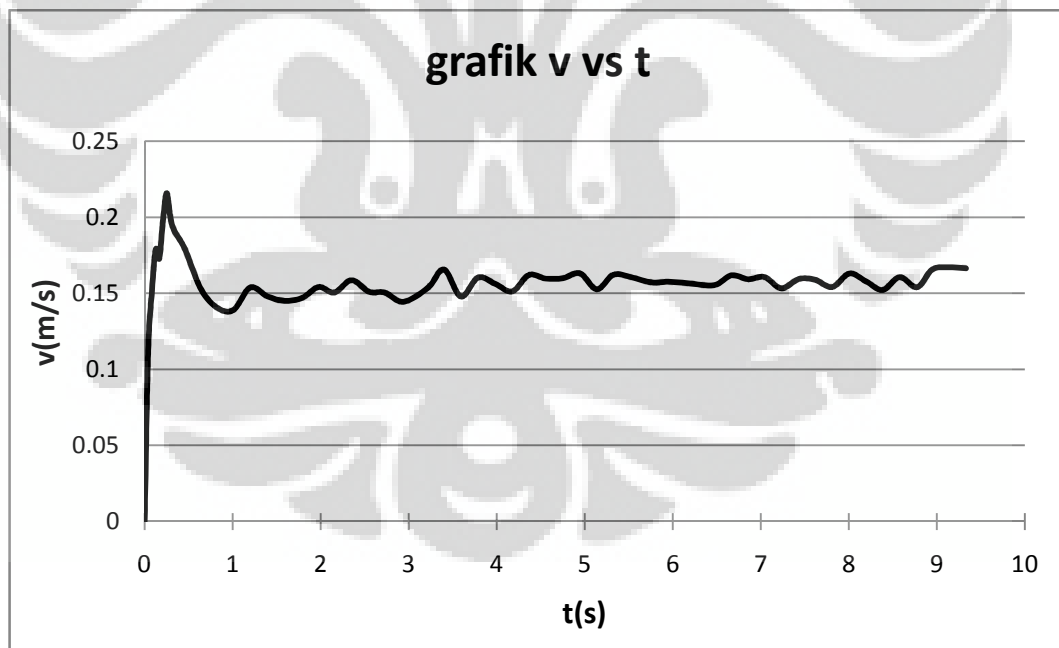
Gambar 4.33 Profil kecepatan *bubble* dari 9 data dalam larutan *pine oil* 0,11% dengan diameter *nozzle* udara 0,4mm



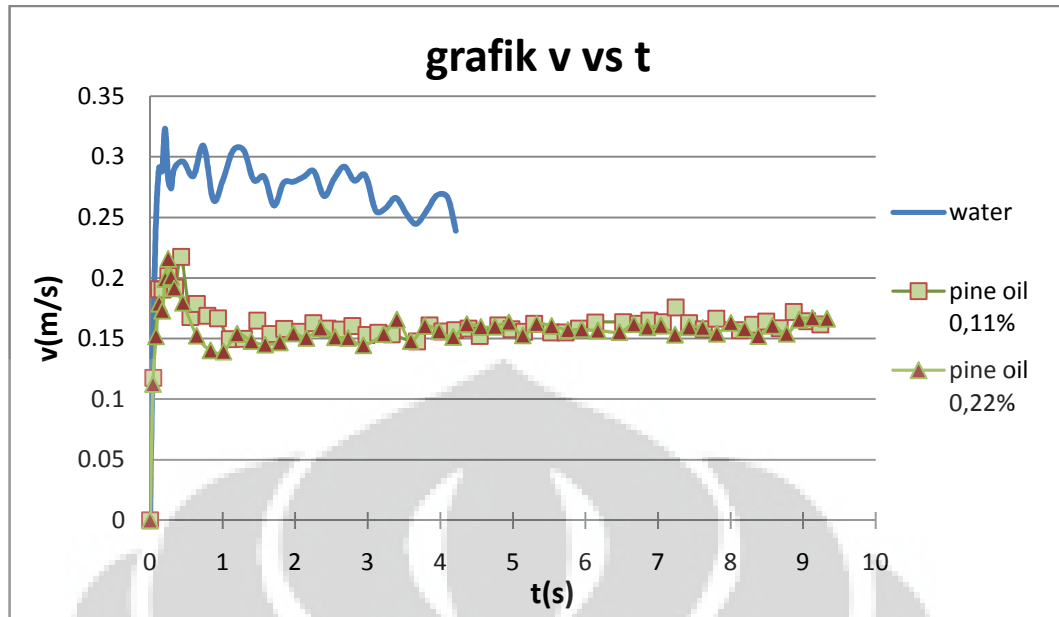
Gambar 4.34 Profil kecepatan rata-rata *bubble* dalam larutan *pine oil* 0,11% dengan diameter *nozzle* udara 0,4mm



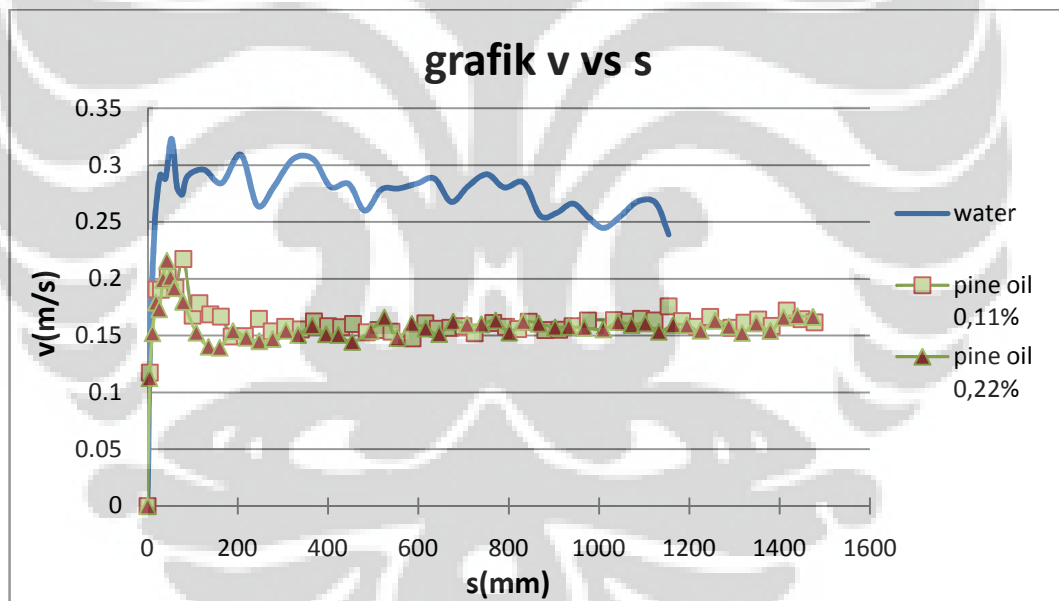
Gambar 4.35 Profil kecepatan *bubble* dari 9 data dalam larutan *pine oil* 0,22% dengan diameter *nozzle* udara 0,4mm



Gambar 4.36 Profil kecepatan *bubble* dalam larutan *pine oil* 0,22% dengan diameter *nozzle* udara 0,4mm



Gambar 4.37 Perbandingan kecepatan rata-rata *bubble* (v) terhadap waktu (t) dalam air dan larutan *pine oil* diameter *nozzle* udara 0,4mm



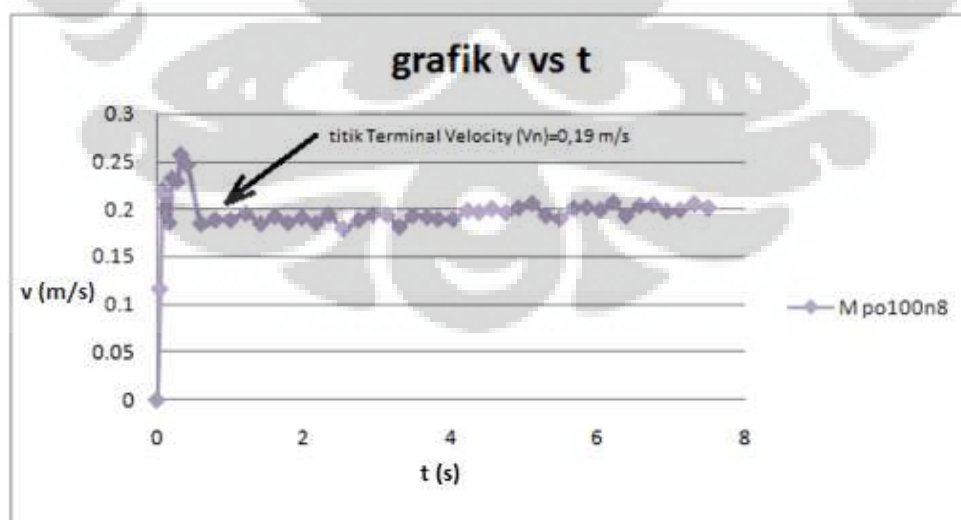
Gambar 4.38 Perbandingan kecepatan rata-rata *bubble* (v) terhadap jarak tempuh (s) dalam air dan larutan *pine oil* diameter *nozzle* udara 0,4mm

Gambar 4.23, gambar 4.25, gambar 4.27, gambar 4.31, gambar 4.33, dan gambar 4.35 menunjukkan profil kecepatan *bubble* (masing-masing 9 sample data) dalam air kran dan *pine oil* (konsentrasi 0,11% dan 0,22%) dengan memvariasikan diameter *nozzle* udara 0,8mm dan 0,4mm. Gambar 4.24, gambar 4.26, gambar 4.28, gambar 4.32m, gambar 4.34, dan gambar 4.36 merupakan

profil kecepatan rata-rata terhadap waktu untuk menyederhanakan data profil kecepatan. Gambar 4.29 dan gambar 4.30 membandingkan profil-profil kecepatan *nozzle* udara 0,8mm dengan memvariasikan konsentrasi *pine oil* terlarut. Sedangkan gambar 4.37 dan gambar 4.38 membandingkan profil-profil kecepatan menggunakan *nozzle* udara 0,4mm dengan memvariasikan konsentrasi *pine oil* terlarut.

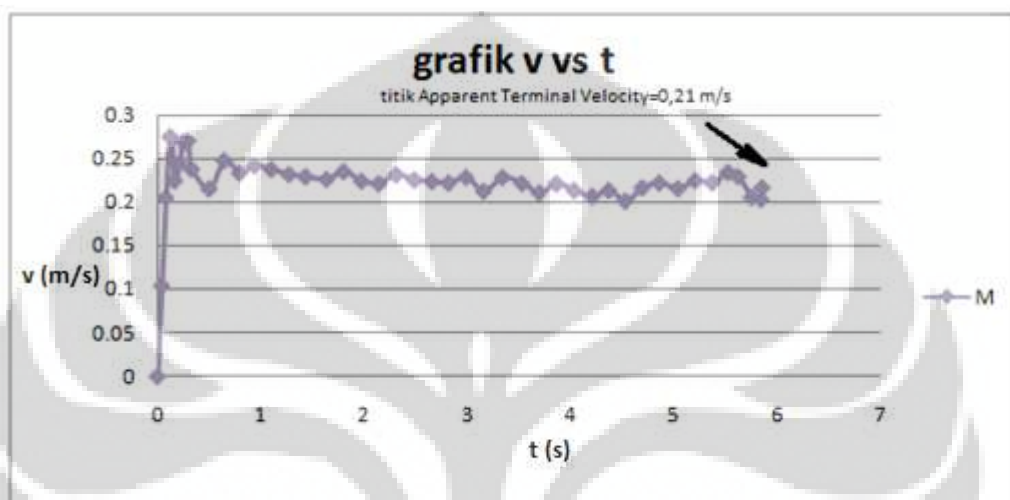
4.2.3 Terminal Velocity

Secara teoritis pada Bab II telah dibahas mengenai *terminal velocity*, dimana *bubble* bergerak dengan kecepatan konstan. Namun dalam praktiknya sukar menemukan pergerakan *bubble* dengan kecepatan konstan. Dalam praktik hal yang dibutuhkan untuk menentukan *terminal velocity* adalah grafik profil kecepatan. Grafik profil kecepatan dibuat berdasarkan data penelitian yang telah dilakukan. Dari grafik profil kecepatan dapat ditarik sebuah garis lurus horizontal yang sebagai *terminal velocity*[3]. Berdasarkan gambar 2.14 *terminal velocity* (*stage 3*) tercapai ketika *trendline* kecepatan naik kembali (akibat meningkatnya ukuran *bubble*) setelah mengalami penurunan kecepatan (*stage 2*). Titik mulai naik tersebut dapat dikatakan titik awal *terminal velocity*. Sebagai contoh pada gambar 4.39 dibawah, titik awal mulai tercapai *terminal velocity* terletak pada $t=0,83$ s dan $v=0,19$ m/s.



Gambar 4.39 Terminal Velocity bubble dalam larutan *pine oil* 0,22% dengan diameter *nozzle* udara 0,8mm

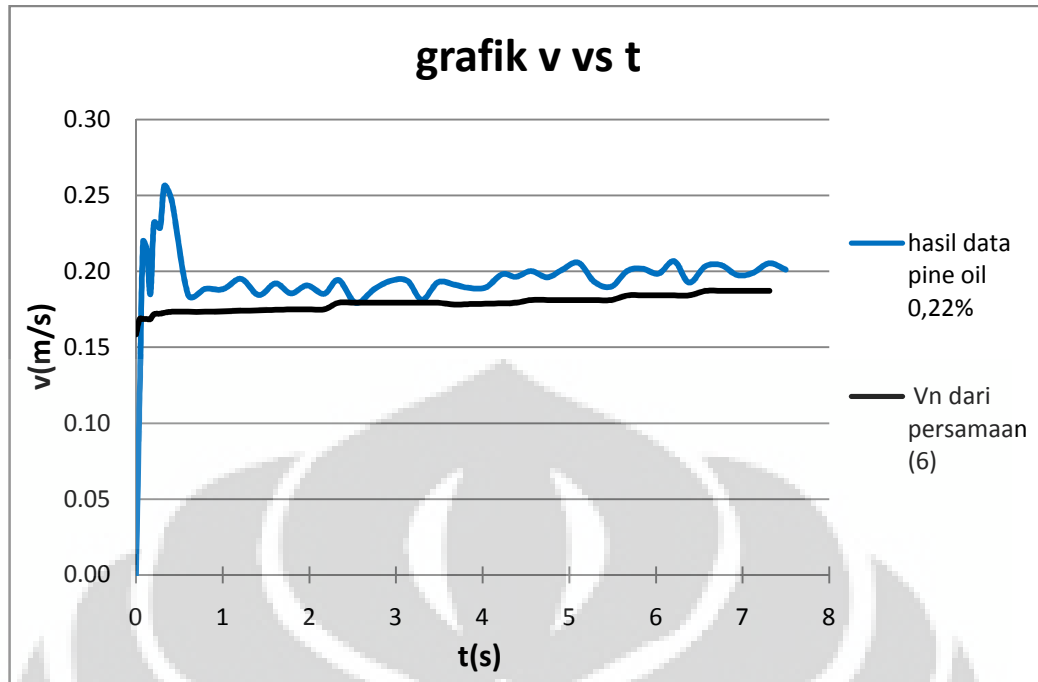
Namun terdapat beberapa kasus, dimana pada *stage 3 trendline* data terus mengalami penurunan kecepatan. Untuk kasus dimana *trendline* mulai mengalami penurunan dapat dikatakan *apparent terminal velocity*[3]. Sedangkan titik sampel pada data yang mengalami *trendline* turun disebut titik *apparent terminal velocity*. Contohnya pada gambar 4.40, diambil sebuah sembarang titik sampel sebagai titik *apparent terminal velocity* yang terletak pada $t=0,65$ s dan $v=0,25$ m/s.



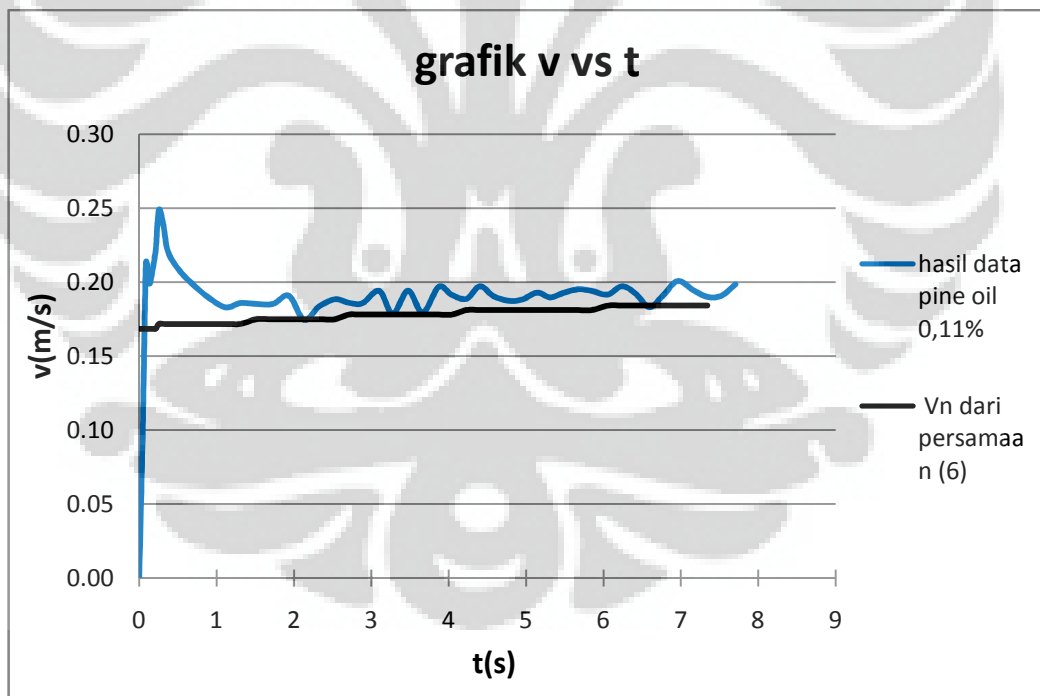
Gambar 4.40 *Apparent Terminal Velocity bubble* dalam air kran dengan diameter nozzle udara 0,8mm

Gambar 4.24 menunjukkan bahwa tanpa kandungan *pine oil bubble* hanya mampu mencapai *apparent terminal velocity*. Dengan penambahan *pine oil* 0,11% baru dapat mencapai *terminal velocity* pada saat $t=1,21$ s. Kemudian ketika ditambahkan *pine oil* sehingga konsentrasi menjadi 0,22%, *terminal velocity* dapat dicapai saat $t= 0,83$ s. Jadi dari gambar 4.29 dapat dikatakan bahwa penambahan konsentrasi *pine oil* kedalam medium *bubble* dapat mempercepat tercapainya *terminal velocity*.

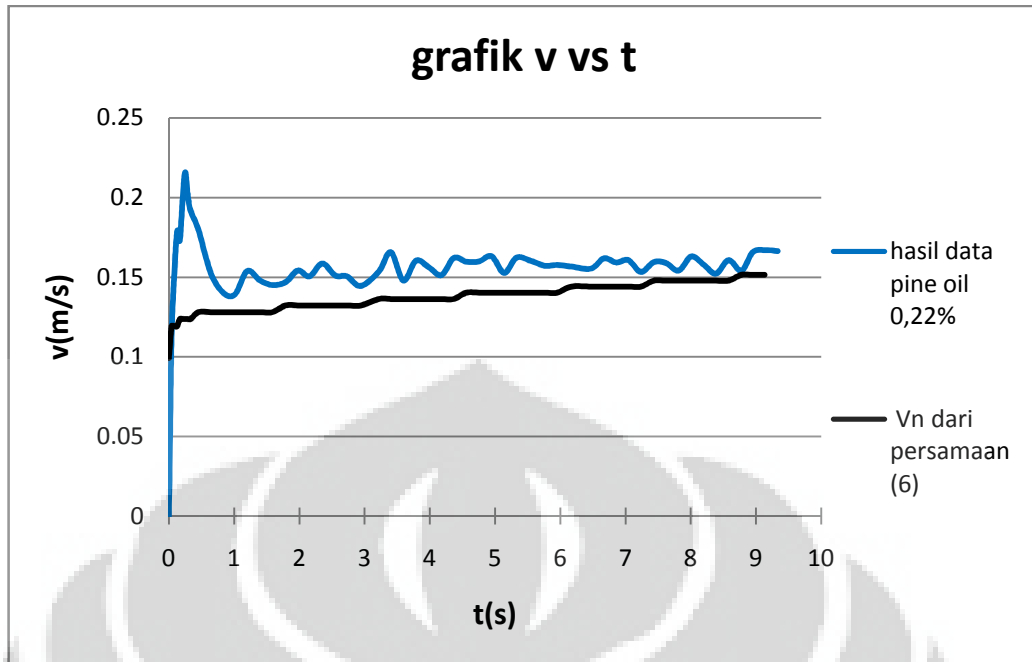
Dari persamaan (6) diperoleh hubungan antara kecepatan *terminal velocity*, diameter *bubble*, dan koefisien *drag*. Dengan mengasumsikan bentuk *bubble* adalah *hollow semi-sphere* berlawanan arah arus ($C_D=1,42$), maka dapat diperoleh kecepatan *terminal velocity*.



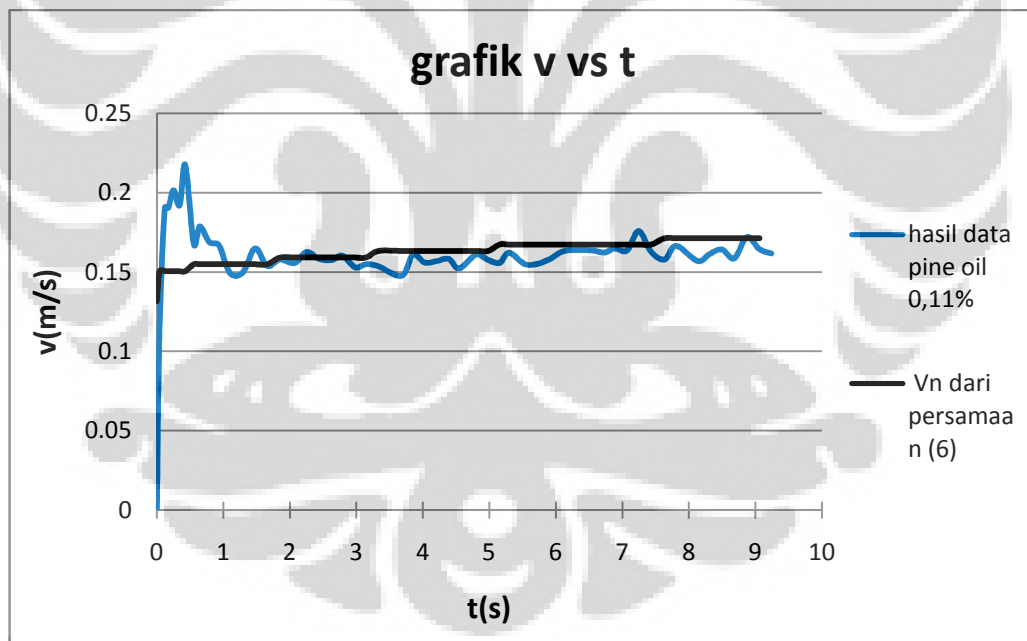
Gambar 4.41 Perbandingan grafik data penelitian terhadap persamaan *Terminal Velocity bubble* dalam larutan *pine oil* 0,22% dengan diameter *nozzle* udara 0,8mm



Gambar 4.42 Perbandingan grafik data penelitian terhadap persamaan *Terminal Velocity bubble* dalam larutan *pine oil* 0,11% dengan diameter *nozzle* udara 0,8mm



Gambar 4.43 Perbandingan grafik data penelitian terhadap persamaan *Terminal Velocity bubble* dalam larutan *pine oil* 0,22% dengan diameter *nozzle udara* 0,4mm



Gambar 4.44 Perbandingan grafik data penelitian terhadap persamaan *Terminal Velocity bubble* dalam larutan *pine oil* 0,11% dengan diameter *nozzle udara* 0,4mm

Tabel 4.3 Data *terminal velocity* (v_n) dan diameter (d) dalam variasi konsentrasi larutan *pine oil* pada ketinggian *bubble* 180mm

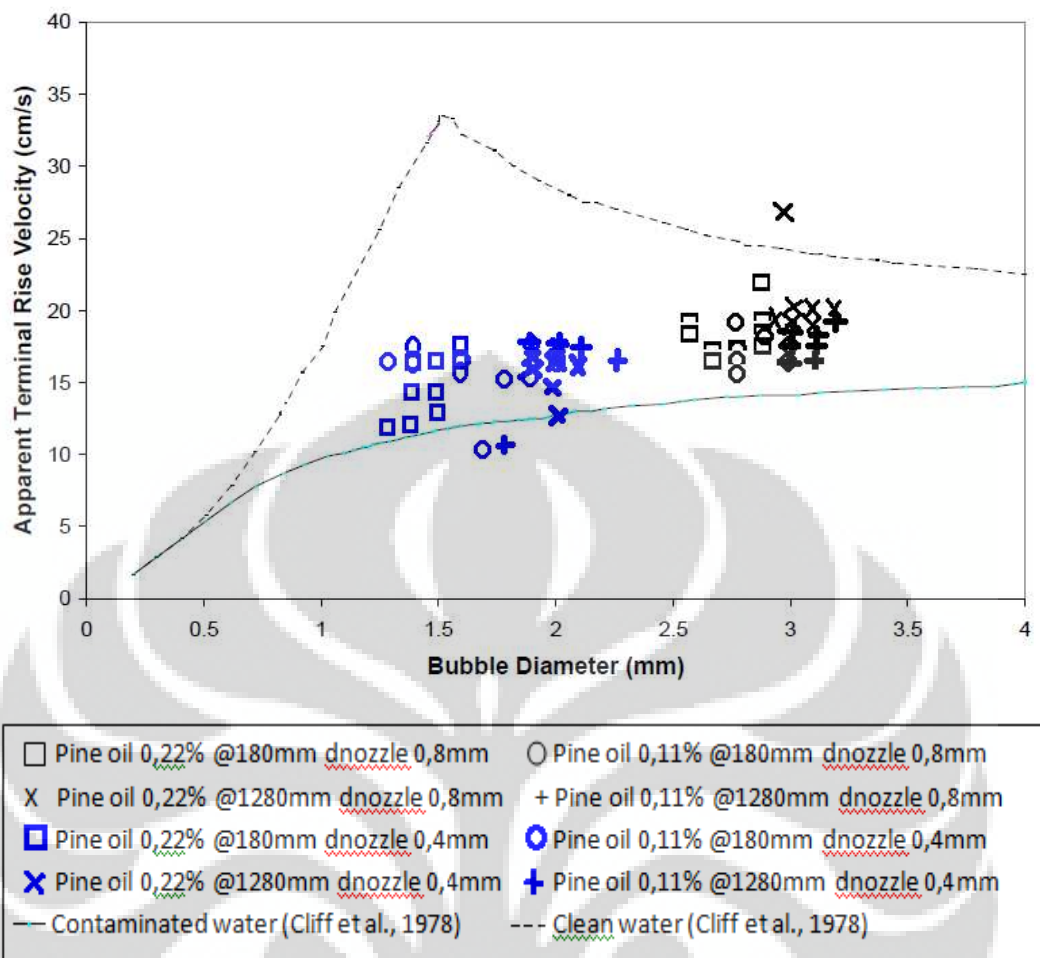
data	v_n (m/s)	d (mm)	type	s (mm)
219	0.180952	2.6	pine oil 100mL (0,22%) nozzle 8mm	180
220	0.166667	2.7		
221	0.171429	2.8		
222	0.221667	2.9		
223	0.19	2.6		
224	0.175	2.7		
225	0.188	2.9		
226	0.17619	2.9		
227	0.190476	2.9		
229	0.161905	3		
230	0.180952	3		
231	0.171429	3		
232	0.166667	2.8		
233	0.157143	2.8		
234	0.174194	2.8		
235	0.17619	3		
236	0.195238	2.8		
237	0.188095	2.9		

data	v_n (m/s)	d (mm)	type	s (mm)
194	0.123529	1.3	pine oil 100mL (0,22%) nozzle 4mm	180
195	0.142857	1.4		
196	0.1625	1.4		
197	0.158333	1.5		
198	0.125	1.4		
199	0.129412	1.5		
201	0.161905	1.6		
202	0.142857	1.5		
203	0.175	1.6		
206	0.107692	1.7		
207	0.16	1.3		
208	0.154	1.8		
209	0.166	1.4		
210	0.180952	1.9		
211	0.16	1.6		
212	0.156667	1.6		
213	0.16	2		
214	0.154762	1.9		

Tabel 4.4 Data *terminal velocity* (v_n) dan diameter (d) dalam variasi konsentrasi larutan *pine oil* pada ketinggian *bubble* 1280mm

data	v_n (m/s)	d (mm)	type	s (mm)
219	0.195238	3	pine oil 100mL (0,22%) nozzle 8mm	1280
220	0.204762	3.2		
221	0.209524	3		
222	0.207647	3.1		
223	0.19	3		
224	0.196	3.1		
225	0.197	2.9		
226	0.209524	3		
227	0.1875	3		
229	0.161905	3		
230	0.180952	3		
231	0.171429	3		
232	0.166667	3.1		
233	0.157143	3		
234	0.174194	3.1		
235	0.17619	3		
236	0.195238	3.2		
237	0.188095	3		

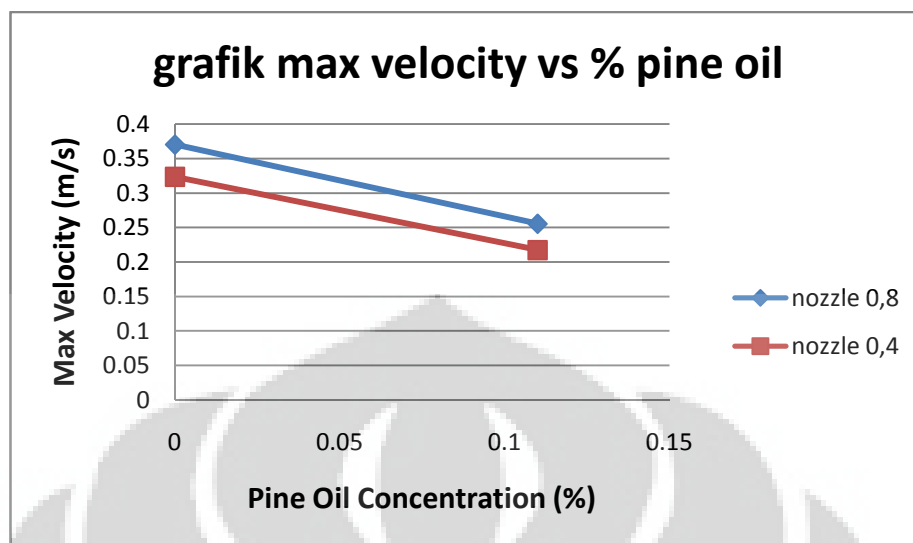
data	v_n (m/s)	d (mm)	type	s (mm)
194	0.158824	2	pine oil 100mL (0,22%) nozzle 4mm	1280
195	0.17619	2		
196	0.161905	2		
197	0.166667	1.9		
198	0.15	2.1		
199	0.1375	2		
201	0.157143	1.9		
202	0.147619	2		
203	0.17619	2		
206	0.1	1.8		
207	0.175	2.1		
208	0.166667	1.9		
209	0.157143	2.3		
210	0.17619	1.9		
211	0.171429	2		
212	0.166667	1.9		
213	0.161765	2		
214	0.152381	1.9		



Gambar 4.45 Terminal velocity vs diameter bubble pada ketinggian 180mm dan 1280mm dalam larutan pine oil

Dari gambar 4.23 hingga gambar 4.38 pada sub bab 4.2.2, dapat diketahui bahwa pada ketinggian 180mm bubble dalam larutan pine oil telah mencapai terminal velocity. Terminal velocity dan diameter bubble pada ketinggian 180mm dan 1280mm di plot sesuai gambar 4.45 diatas. Dari gambar dapat dikatakan bahwa kondisi air yang digunakan mengandung kontaminan, karena tidak berada pada area yang tergolong clean water sesuai penelitian Cliff tahun 1978 [3].

4.2.4 Kecepatan Maksimum



Gambar 4.46 Pengaruh konsentrasi reagen *pine oil* terhadap kecepatan maksimum

Tabel 4.5 Data kecepatan maksimum rata-rata dan konsentrasi *pine oil*

0,8mm	%	max V	0,4mm	%	max V
w n8	0	0.37	w n4	0	0.323322
po n50	0.11	0.25546	po n50	0.11	0.217454

Kecepatan maksimum yang ditempuh oleh *bubble* dipengaruhi oleh besar konsentrasi reagen yang terlarut. Dalam penelitian ini reagen yang digunakan adalah *pine oil* dengan konsentrasi dan ukuran *nozzle* udara yang divariasikan. Persentase atau konsentrasi *pine oil* yang divariasikan adalah 0% (hanya air kran tanpa kandungan *pine oil*) dan 0,11% (50mL). Dari gambar 4.46 dan tabel 4.5 terlihat bahwa *bubble* pada konsentrasi *pine oil* memiliki *max velocity* (kecepatan maksimum) lebih kecil dibanding dengan *bubble* pada air kran (*tap water*).

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan diperoleh kesimpulan-kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin tinggi pergerakan *bubble* mengapung (*floating*), semakin besar diameter *bubble* tersebut.
2. *Bubble* yang dihasilkan oleh *nozzle* udara berdiameter 0,8mm lebih besar daripada yang menggunakan *nozzle* udara berdiameter 0,4mm. Hal ini menyebabkan *bubble* yang dihasilkan oleh *nozzle* 0,8mm memiliki kecepatan yang lebih tinggi dibanding menggunakan *nozzle* 0,4mm.
3. *Bubble* yang dihasilkan pada *pine oil* memiliki diameter lebih kecil dibanding yang dihasilkan tanpa kandungan *pine oil*. Semakin besar konsentrasi *pine oil*, maka semakin kecil ukuran *bubble*.
4. Penambahan *frother pine oil* mempercepat tercapainya *terminal velocity*. Semakin tinggi konsentrasi *pine oil* dalam medium *bubble*, maka semakin cepat *bubble* mencapai *terminal velocity*.
5. Kecepatan maksimum (*maximum velocity*) yang mampu dicapai *bubble* berkurang seiring meningkatnya konsentrasi *frother pine oil*.

5.2.1.SARAN

Penelitian yang dilakukan membutuhkan penambahan variasi reagen, khususnya reagen dari jenis *frother* yang dapat mempengaruhi karakteristik dan dinamika *bubble* yang dihasilkan. Untuk menghindari pengaruh kontaminan pada medium, sebaiknya penelitian dilakukan menggunakan air mineral bukan air kran.

DAFTAR ACUAN

- [1] <http://news.okezone.com/read/2008/07/1/124777/1/pencemaran-limbah-batik-di-pekalongan-makin-parah> (AKSES TANGGAL 12 DESEMBER 2010)
- [2] <http://www.kitco.com/charts/livegold.html> (AKSES TANGGAL 20 JANUARI 2012)
- [3] Mehrabadi, A.A.R., Effects of Frother Type on Single Bubble Rise Velocity, Department of Mining, Metals and Materials Engineering, McGill University., 6 (2009).
- [4] Lee J.E., Choi W.S., Lee J.K., A Study of the Bubble Properties in the Column Flotation System, *Korean J. Chem. Eng.*, **20**, 5 (2003).
- [5] Lawskoski J.S., Melo N.S., Fundamental Properties of Flotation Frothers and Their Effect on Flotation, *Korean J. Chem. Eng.*, **20**, 5 (2003).
- [6] Shammas NK, Wang LK, Hahn HH (2010)., Fundamentals of wastewater flotation, Chapter 4. In: Wang LK, Shammas NK, Selke WA, Aulenbach DB (eds.) Flotation technology. Humana Press, Totowa, NJ, pp 121–164
- [7] Wang LK (1985) Theory and applications of flotation processes, US Department of Commerce. National Technical Information Service, Springfield, VA. PB 86–194198/AS, 15p, Nov
- [8] Krofta M, Wang LK (2000) Flotation engineering, 1st edn. Technical Manual No. Lenox/1–06–2000/368. Lenox Institute of Water Technology, Lenox, MA
- [9] Gelinas S, Finch JA (2005) Colorimetric determination of common industrial frothers. *Miner Eng* 18:2
- [10] http://www.engineeringtoolbox.com/drag-coefficient-d_627.html (AKSES TANGGAL 18 JUNI 2012)
- [11] http://www.epinions.com/reviews/Nikon_D5500_Body_Digital_Camera (AKSES TANGGAL 22 JULI 2012)

DAFTAR PUSTAKA

- Munson, Bruce R., Donald F. Young, Theodore H. Okiishi, “Mekanika Fluida Jilid 1”, Erlangga, 2003.
- Munson, Bruce R., Donald F. Young, Theodore H. Okiishi, “Mekanika Fluida Jilid 2”, Erlangga, 2003.
- Ghiaasiaan , Mostafa Georgia . Two-Phase Flow, Boiling and Condensation S. Institute of Technology. 2008
- Clift R, Grace J. R, Weber M. E. Bubbles, Drops and Particles. Academic Press. 1978.

