

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	i
<b>PENGESAHAN TIM PROMOTOR</b>	ii
<b>PENGESAHAN DEWAN PENGUJI</b>	iii
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI</b>	iv
<b>DAFTAR ISI</b>	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	viii
<b>DAFTAR TABEL</b>	xiv
<b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN</b>	xvii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b>	xvix
<b>KATA PENGANTAR</b>	xx
<b>ABSTRAK</b>	xxi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	8
1.3 Batasan dan Asumsi Masalah	8
1.4 Tujuan penelitian	9
1.5 Keaslian Penelitian	9
1.6 Manfaat Penelitian	10
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	11
2.1 Penelitian Tentang Pola dan Model Aliran <i>Stratified</i>	11
2.2 Penelitian Tentang Parameter Aliran Gas-Cair	18
<b>BAB III DASAR TEORI</b>	25
3.1 Aliran <i>Stratified</i>	25
3.2 Model Aliran Terpisah	27
3.2.1 Profil <i>Plane Interface</i> pada aliran <i>Stratified</i>	28
3.2.2 Profil <i>Uniform Film</i> dan <i>Curve Interface</i> pada Aliran <i>Stratified</i>	30
3.3 Pengukuran <i>Liquid Hold-up</i> dengan CECM dan Beberapa Korelasi untuk Memprediksi <i>Liquid Hold-up</i>	32

3.4 Pengukuran Tebal <i>Liquid Film</i> dengan <i>Parallel Wire</i>	35
3.5 Pengukuran Beda Tekanan dengan <i>Pressure Transducer</i>	37
3.6 Analisis Visual dan Pengolahan Citra	37
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>	39
4.1 Bahan dan Peralatan penelitian	39
4.2 Prosedur Penelitian	45
4.3 Kalibrasi Alat Ukur	47
4.4 Prosedur Pengambilan Data	48
4.5 Matrik Data Penelitian	49
4.6 Analisis Hasil	49
4.6.1 <i>Image Processing</i>	49
4.6.1.1 Langkah-langkah <i>Image Processing</i>	50
4.6.1.2 Pengukuran Parameter Gelombang	53
4.6.2 Pengukuran Parameter Aliran pada Arah Melintang	55
4.6.3 <i>Signal Processing</i>	56
4.6.4 <i>Wavelet Transform Analysis</i>	56
4.7 Pemodelan	61
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	62
5.1 Pengaruh Sifat Fisis Fluida terhadap Sub Rezim dan Peta Pola Aliran	62
5.2 Pengaruh Sifat Fisis Fluida terhadap Karakteristik Aliran pada Posisi Searah Aliran <i>Stratified</i>	69
5.2.1 Karakteristik Gradien Tekanan	69
5.2.1.1 Analisis Stokastik	79
5.2.1.2 <i>Chaotic Analysis</i>	89
5.2.1.3 <i>Wavelet Transform</i>	92
5.2.2 Karakteristik <i>Liquid Film Thickness</i>	104
5.2.3 Frekuensi Gelombang	115
5.2.4 Kecepatan Gelombang	123
5.2.5 Karakteristik <i>Liquid Holdup</i>	129

5.2.5.1	Karakteristik <i>Liquid Holdup</i> Berdasarkan Analisis Menggunakan PDF dan DWT	129
5.2.5.2	Karakteristik <i>liquid holdup</i> berdasarkan analisis menggunakan CWT dan PSD (Frekuensi Dominan)	139
5.2.5.3	Pengaruh Viskositas dan Tegangan Permukaan <i>Liquid</i> terhadap Rata-Rata <i>Liquid Holdup</i> dan Pengembangan Korelasi Prediksi <i>Liquid Holdup</i>	153
5.3	Pengaruh Sifat Fisis Fluida terhadap Karakteristik Aliran pada Posisi Melintang Aliran <i>Stratified</i>	160
5.3.1	Visualisasi Penampang Melintang Aliran pada Sub Rezim Aliran <i>Stratified</i>	161
5.3.2	Distribusi Tebal Lapisan <i>Liquid</i> pada <i>Circumferential</i> Pipa, <i>Wetted Angle</i> dan <i>Wetted Wall Fraction</i>	169
5.3.3	Perimeter dan Tegangan Geser Antarmuka	186
<b>BAB VI</b>	<b>PENUTUP</b>	192
1.	Kesimpulan	192
2.	Saran	193
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		194
<b>LUARAN PUBLIKASI</b>		200

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1.</b>	<i>Sub rezime aliran stratified wavy pada pipa horizontal</i>	12
<b>Gambar 2.2.</b>	<i>Calibrated angle gauge</i>	14
<b>Gambar 3.1.</b>	Asumsi bentuk tebal <i>liquid film</i> dari beberapa model (a). <i>uniform film</i> , (b) <i>plane interface</i> , (c) <i>curve interface</i> , (d) <i>double circle</i>	26
<b>Gambar 3.2.</b>	Penyederhanaan model aliran <i>stratified</i>	26
<b>Gambar 3.3.</b>	Representasi skematis dari aliran gas-cair dengan <i>liquid holdup</i> kecil	30
<b>Gambar 3.4.</b>	Diagram peralatan CECM	32
<b>Gambar 3.5.</b>	(a) Sensor <i>parallel wire</i> (b) Skema pengukuran sistem <i>parallel wire</i>	35
<b>Gambar 3.6.</b>	Skema rangkaian pembagi tegangan pada metode <i>parallel wire</i>	36
<b>Gambar 3.7.</b>	Respon tegangan <i>output</i> dari beberapa jenis cairan	36
<b>Gambar 3.8.</b>	Pengukuran perbedaan tekanan	37
<b>Gambar 4.1.</b>	Skema diagram peralatan eksperimen ( <i>experiment apparatus</i> )	40
<b>Gambar 4.2.</b>	Skema area pengamatan visual dan potongan melintang pipa	42
<b>Gambar 4.3.</b>	Monitoring sinyal perbedaan tekanan	43
<b>Gambar 4.4.</b>	<i>Constant Electric Current Method</i> (CECM)	44
<b>Gambar 4.5.</b>	(a) <i>Mounting</i> sensor <i>parallel wire</i> pada pipa uji (b) skema pengukuran ketebalan <i>liquid film</i>	44
<b>Gambar 4.6.</b>	Diagram alir penelitian	46
<b>Gambar 4.7.</b>	Diagram alir pengambilan data visual dan akuisisi data sinyal dari sensor (CECM, <i>parallel wire</i> , <i>differential pressure transducer</i> )	48
<b>Gambar 4.8.</b>	Langkah-langkah <i>image processing</i>	49
<b>Gambar 4.9.</b>	(a) <i>Raw image</i> , (b) Gambar setelah proses komplemen, (c) Gambar setelah proses <i>background subtraction</i> , (d) Gambar setelah proses <i>filtering</i> , (e) Proses deteksi <i>liquid film</i>	51



	<i>thickness</i> , (f) Hasil deteksi <i>liquid film thickness</i> pada gambar <i>grayscale</i>	
<b>Gambar 4.10.</b>	Proses <i>smoothing</i> untuk mendeteksi tebal <i>liquid film</i> lokal pada aliran <i>stratified wavy</i>	53
<b>Gambar 4.11.</b>	(a) Hasil deteksi ketebalan <i>liquid film</i> pada empat posisi referensi yang berbeda (b) <i>time series plot</i>	53
<b>Gambar 4.12.</b>	Penentuan frekuensi gelombang dengan <i>power spectral density</i> (PSD) pada $J_L = 0,03$ m/s serta $J_G =$ (a) 10 m/s dan (b) 14 m/s dengan cairan uji air (W)	54
<b>Gambar 4.13.</b>	(a) Skema pengukuran <i>wetting angle</i> (b) Skema pengambilan visualisasi pada arah melintang aliran	55
<b>Gambar 4.14.</b>	Contoh peta koefisien LWE	60
<b>Gambar 5.1.</b>	Peta sub rezim pada aliran <i>stratified</i> gas-cair dengan cairan uji W	62
<b>Gambar 5.2.</b>	Peta sub rezim pada aliran <i>stratified</i> gas-cair dengan cairan uji G30	62
<b>Gambar 5.3.</b>	Peta sub rezim pada aliran <i>stratified</i> gas-cair dengan cairan uji G50	63
<b>Gambar 5.4.</b>	Peta sub rezim pada aliran <i>stratified</i> gas-cair dengan cairan uji B2	63
<b>Gambar 5.5.</b>	Peta sub rezim pada aliran <i>stratified</i> gas-cair dengan cairan uji B5	63
<b>Gambar 5.6.</b>	Mekanisme fisik dari transisi sub-rezim dalam aliran <i>stratified</i> gas-cair	67
<b>Gambar 5.7.</b>	Contoh pandangan atas dari struktur antarmuka sub rezim 2D <i>wave</i> dan 3D <i>wave</i>	69
<b>Gambar 5.8.</b>	Pengaruh $J_L$ dan $J_G$ pada rata-rata gradien tekanan	80
<b>Gambar 5.9.</b>	Pengaruh $J_L$ dan $J_G$ pada standar deviasi gradien tekanan	83
<b>Gambar 5.10.</b>	Pengaruh $J_L$ dan $J_G$ pada <i>skewness</i> gradien tekanan dengan cairan uji (W)	84

<b>Gambar 5.11.</b>	Pengaruh $J_L$ dan $J_G$ pada <i>skewness</i> gradien tekanan dengan cairan uji (G30)	84
<b>Gambar 5.12.</b>	Pengaruh $J_L$ dan $J_G$ pada <i>skewness</i> gradien tekanan dengan cairan uji (G50)	84
<b>Gambar 5.13.</b>	Pengaruh $J_L$ dan $J_G$ pada <i>skewness</i> gradien tekanan dengan cairan uji (B2)	85
<b>Gambar 5.14.</b>	Pengaruh $J_L$ dan $J_G$ pada <i>skewness</i> gradien tekanan dengan cairan uji (B5)	85
<b>Gambar 5.15.</b>	Pengaruh $J_L$ dan $J_G$ pada kurtosis gradien tekanan dengan cairan uji (W)	85
<b>Gambar 5.16.</b>	Pengaruh $J_L$ dan $J_G$ pada kurtosis gradien tekanan dengan cairan uji (G30)	86
<b>Gambar 5.17.</b>	Pengaruh $J_L$ dan $J_G$ pada kurtosis gradien tekanan dengan cairan uji (G50)	86
<b>Gambar 5.18.</b>	Pengaruh $J_L$ dan $J_G$ pada kurtosis gradien tekanan dengan cairan uji (B2)	86
<b>Gambar 5.19.</b>	Pengaruh $J_L$ dan $J_G$ pada kurtosis gradien tekanan dengan cairan uji (B5)	87
<b>Gambar 5.20.</b>	Pengaruh $J_G$ terhadap kurtosis dari data penelitian ini dan dari data peneliti sebelumnya	88
<b>Gambar 5.21.</b>	Pengaruh $J_L$ dan $J_G$ pada entropi fluktuasi gradien tekanan	90
<b>Gambar 5.22.</b>	Rata-rata <i>liquid film thickness</i> dengan variasi $J_G$ dan sifat fisis <i>liquid</i> (viskositas dan tegangan permukaan)	114
<b>Gambar 5.23.</b>	Perbandingan data frekuensi gelombang dari hasil penelitian ini dengan penelitian sebelumnya	118
<b>Gambar 5.24.</b>	Performansi dari korelasi baru yang diajukan untuk memprediksi frekuensi gelombang	122
<b>Gambar 5.25.</b>	Perbandingan data kecepatan gelombang dari hasil penelitian ini dengan penelitian sebelumnya	127
<b>Gambar 5.26.</b>	Performansi dari korelasi baru yang diajukan untuk memprediksi kecepatan gelombang	128

<b>Gambar 5.27.</b>	Tipikal sinyal dan peta koefisien LWE dari sub rezim aliran <i>stratified</i> dengan cairan uji W	141
<b>Gambar 5.28.</b>	Tipikal sinyal dan peta koefisien LWE dari sub rezim aliran <i>stratified</i> dengan cairan uji G30	142
<b>Gambar 5.29.</b>	Tipikal sinyal dan peta koefisien LWE dari sub rezim aliran <i>stratified</i> dengan cairan uji G50	143
<b>Gambar 5.30.</b>	Tipikal sinyal dan peta koefisien LWE dari sub rezim aliran <i>stratified</i> dengan cairan uji B2	144
<b>Gambar 5.31.</b>	Tipikal sinyal dan peta koefisien LWE dari sub rezim aliran <i>stratified</i> dengan cairan uji B5	145
<b>Gambar 5.32.</b>	Peta identifikasi sub rezim aliran <i>stratified</i> berdasarkan nilai LWE dan frekuensi gelombang dengan cairan uji W, G30 dan G50	148
<b>Gambar 5.33.</b>	Peta identifikasi sub rezim aliran <i>stratified</i> berdasarkan nilai LWE dan frekuensi gelombang dengan cairan uji W, B2 dan B5	151
<b>Gambar 5.34.</b>	Peta identifikasi sub rezim aliran <i>stratified</i> berdasarkan nilai LWE dan frekuensi gelombang dengan cairan uji W, G30, G50, B2 dan B5	151
<b>Gambar 5.35.</b>	Diagram alir metode identifikasi sub rezim aliran <i>stratified</i>	153
<b>Gambar 5.36.</b>	Pengaruh $J_G$ dan $J_L$ terhadap <i>liquid holdup</i>	154
<b>Gambar 5.37.</b>	Rata-rata <i>liquid holdup</i> dengan variasi $J_G$ dan sifat fisis <i>liquid</i> (viskositas dan tegangan permukaan)	155
<b>Gambar 5.38.</b>	Perbandingan antara data eksperimen dengan korelasi dari para peneliti sebelumnya	157
<b>Gambar 5.39.</b>	Performansi korelasi baru yang diajukan untuk memprediksi <i>liquid holdup</i>	159
<b>Gambar 5.40.</b>	Visualisasi penampang melintang pembentukan sub rezim pada aliran <i>stratified</i>	162

<b>Gambar 5.41.</b>	Pengaruh $J_G$ terhadap tebal lapisan <i>liquid</i> pada <i>circumferential</i> pipa dan <i>wetted angle</i> pada $J_L$ konstan (0,03 m/s dan 0,075 m/s) dengan variasi viskositas <i>liquid</i>	170
<b>Gambar 5.42.</b>	Pengaruh viskositas <i>liquid</i> dan $J_G$ terhadap rata-rata <i>wetted angle</i> ( $\theta$ )	171
<b>Gambar 5.43.</b>	Pengaruh $J_L$ dan $J_G$ pada <i>wetted wall fraction</i> ( $\Theta$ ) dengan variasi viskositas <i>liquid</i>	171
<b>Gambar 5.44.</b>	Pengaruh viskositas <i>liquid</i> dan $J_G$ terhadap rata-rata <i>wetted wall fraction</i> ( $\Theta$ )	172
<b>Gambar 5.45.</b>	Pengaruh $J_G$ terhadap tebal lapisan <i>liquid</i> pada <i>circumferential</i> pipa dan <i>wetted angle</i> pada $J_L$ konstan (0,03 m/s dan 0,075 m/s) dengan variasi tegangan permukaan <i>liquid</i>	173
<b>Gambar 5.46.</b>	Pengaruh tegangan permukaan <i>liquid</i> dan $J_G$ terhadap rata-rata <i>wetted angle</i> ( $\theta$ )	174
<b>Gambar 5.47.</b>	Pengaruh $J_L$ dan $J_G$ pada <i>wetted wall fraction</i> ( $\Theta$ ) dengan variasi tegangan permukaan <i>liquid</i>	174
<b>Gambar 5.48.</b>	Pengaruh tegangan permukaan <i>liquid</i> dan $J_G$ terhadap rata-rata <i>wetted wall fraction</i> ( $\Theta$ )	175
<b>Gambar 5.49.</b>	Perbandingan data <i>wetted wall fraction</i> ( $\Theta$ ) hasil eksperimen dengan hasil prediksi menggunakan korelasi dari beberapa peneliti sebelumnya	178
<b>Gambar 5.50.</b>	a). Contoh visualisasi aliran <i>stratified</i> pada penumpang melintang b). Geometri antarmuka <i>flat</i>	179
<b>Gambar 5.51.</b>	Hubungan antara <i>liquid holdup</i> ( $\eta$ ) dan sudut pusat ( $\theta_0$ )	180
<b>Gambar 5.52.</b>	a). Contoh visualisasi aliran <i>stratified</i> pada penumpang melintang b). Geometri antarmuka <i>concave</i>	180
<b>Gambar 5.53.</b>	Hubungan antara $\frac{(G_1 - G_0)}{R}$ dan $(\theta_1 - \theta_0)$	182
<b>Gambar 5.54.</b>	Hubungan antara $Fr_L$ dan $\frac{(G_1 - G_0)}{R}$	183

<b>Gambar 5.55.</b>	Perbandingan data <i>wetted wall fraction</i> hasil eksperimen saat ini dan peneliti sebelumnya dengan hasil prediksi menggunakan korelasi yang diajukan	185
<b>Gambar 5.56.</b>	Perbandingan data <i>wetted wall fraction</i> hasil eksperimen dengan hasil prediksi menggunakan korelasi yang diajukan saat ini dan dari peneliti sebelumnya	186
<b>Gambar 5.57.</b>	Rata-rata perimeter antarmuka ( $S_i$ ) dengan variasi $J_G$ dan sifat fisis <i>liquid</i> (viskositas dan tegangan permukaan)	188
<b>Gambar 5.58.</b>	Pengaruh $J_L$ dan $J_G$ terhadap tegangan geser antarmuka gas-cair ( $\tau_i$ )	189
<b>Gambar 5.59.</b>	Rata-rata perimeter antarmuka ( $S_i$ ) dengan variasi $J_G$ dan sifat fisis <i>liquid</i> (viskositas dan tegangan permukaan)	190

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1.</b>	Penelitian karakteristik gelombang aliran gas-cair dari beberapa peneliti	22
<b>Tabel 3.1.</b>	Identifikasi pola gelombang secara visual dan dengan analisis <i>image processing</i>	25
<b>Tabel 3.2.</b>	Kelompok korelasi untuk memprediksi <i>liquid holdup</i> dari para peneliti sebelumnya	34
<b>Tabel 4.1.</b>	Sifat fisis fluida cair ( <i>liquid</i> )	39
<b>Tabel 4.2.</b>	Matrik data penelitian	49
<b>Tabel 5.1.</b>	Contoh foto, sinyal gradien tekanan, PDF dan PSD dari sub-rezim aliran <i>stratified</i> dengan cairan uji (W)	72
<b>Tabel 5.2.</b>	Contoh foto, sinyal gradien tekanan, PDF dan PSD dari sub-rezim aliran <i>stratified</i> dengan cairan uji (G30)	73
<b>Tabel 5.3</b>	Contoh foto, sinyal gradien tekanan, PDF dan PSD dari sub-rezim aliran <i>stratified</i> dengan cairan uji (G50)	74
<b>Tabel 5.4.</b>	Contoh foto, sinyal gradien tekanan, PDF dan PSD dari sub-rezim aliran <i>stratified</i> dengan cairan uji (B2)	75
<b>Tabel 5.5.</b>	Contoh foto, sinyal gradien tekanan, PDF dan PSD dari sub-rezim aliran <i>stratified</i> dengan cairan uji (B5)	76
<b>Tabel 5.6.</b>	Hasil <i>wavelet transform</i> pada sub-rezim aliran <i>stratified</i> dengan cairan uji (W)	95
<b>Tabel 5.7.</b>	Hasil <i>wavelet transform</i> pada sub-rezim aliran <i>stratified</i> dengan cairan uji (G30)	96
<b>Tabel 5.8.</b>	Hasil <i>wavelet transform</i> pada sub-rezim aliran <i>stratified</i> dengan cairan uji (G50)	97
<b>Tabel 5.9.</b>	Hasil <i>wavelet transform</i> pada sub-rezim aliran <i>stratified</i> dengan cairan uji (B2)	98
<b>Tabel 5.10.</b>	Hasil <i>wavelet transform</i> pada sub-rezim aliran <i>stratified</i> dengan cairan uji (B5)	99

<b>Tabel 5.11.</b>	Foto dan <i>wavelet energy</i> pada sub rezim 2-D wave	100
<b>Tabel 5.12.</b>	Foto dan <i>wavelet energy</i> pada sub rezim 3-D wave	102
<b>Tabel 5.13.</b>	Contoh foto, <i>time series</i> , PDF dan <i>Wavelet energy</i> dari <i>liquid film thickness</i> pada sub rezim aliran <i>stratified</i> dengan cairan uji (W)	107
<b>Tabel 5.14.</b>	Contoh foto, <i>time series</i> , PDF dan <i>Wavelet energy</i> dari <i>liquid film thickness</i> pada sub rezim aliran <i>stratified</i> dengan cairan uji (G30)	108
<b>Tabel 5.15.</b>	Contoh foto, <i>time series</i> , PDF dan <i>Wavelet energy</i> dari <i>liquid film thickness</i> pada sub rezim aliran <i>stratified</i> dengan cairan uji (G50)	109
<b>Tabel 5.16.</b>	Contoh foto, <i>time series</i> , PDF dan <i>Wavelet energy</i> dari <i>liquid film thickness</i> pada sub rezim aliran <i>stratified</i> dengan cairan uji (B2)	110
<b>Tabel 5.17.</b>	Contoh foto, <i>time series</i> , PDF dan <i>Wavelet energy</i> dari <i>liquid film thickness</i> pada sub rezim aliran <i>stratified</i> dengan cairan uji (B5)	111
<b>Tabel 5.18.</b>	Pengaruh $J_G$ , viskositas <i>liquid</i> dan tegangan permukaan <i>liquid</i> terhadap frekuensi gelombang	117
<b>Tabel 5.19.</b>	Dimensi dari variabel frekuensi gelombang	119
<b>Tabel 5.20.</b>	Pengaruh $J_G$ , viskositas <i>liquid</i> dan tegangan permukaan <i>liquid</i> terhadap kecepatan gelombang	126
<b>Tabel 5.21.</b>	Contoh foto, <i>time series</i> , PDF dan <i>Wavelet energy</i> dari <i>liquid holdup</i> pada sub rezim aliran <i>stratified</i> dengan cairan uji W	134
<b>Tabel 5.22.</b>	Contoh foto, <i>time series</i> , PDF dan <i>Wavelet energy</i> dari <i>liquid holdup</i> pada sub rezim aliran <i>stratified</i> dengan cairan uji G30	135
<b>Tabel 5.23.</b>	Contoh foto, <i>time series</i> , PDF dan <i>Wavelet energy</i> dari <i>liquid holdup</i> pada sub rezim aliran <i>stratified</i> dengan cairan uji G50	136
<b>Tabel 5.24.</b>	Contoh foto, <i>time series</i> , PDF dan <i>Wavelet energy</i> dari <i>liquid holdup</i> pada sub rezim aliran <i>stratified</i> dengan cairan uji B2	137

<b>Tabel 5.25.</b>	Contoh foto, <i>time series</i> , PDF dan <i>Wavelet energy</i> dari <i>liquid holdup</i> pada sub rezim aliran <i>stratified</i> dengan cairan uji B5	138
<b>Tabel 5.26.</b>	Rangkuman kriteria dari masing-masing sub rezim berdasarkan nilai frekuensi dan LWE Maksimum	152
<b>Tabel 5.27.</b>	Contoh visualisasi penampang melintang sub rezim aliran <i>stratified</i> pada $J_L = 0,03$ m/s dengan variasi $J_G$ dan viskositas <i>liquid</i>	165
<b>Tabel 5.28.</b>	Contoh visualisasi penampang melintang sub rezim aliran <i>stratified</i> pada $J_L = 0,075$ m/s dengan variasi $J_G$ dan viskositas <i>liquid</i>	166
<b>Tabel 5.29.</b>	Contoh visualisasi penampang melintang sub rezim aliran <i>stratified</i> pada $J_L = 0,03$ m/s dengan variasi $J_G$ dan tegangan permukaan <i>liquid</i>	167
<b>Tabel 5.30.</b>	Contoh visualisasi penampang melintang sub rezim aliran <i>stratified</i> pada $J_L = 0,075$ m/s dengan variasi $J_G$ dan tegangan permukaan <i>liquid</i>	168