

**STUDI EKSPERIMENTAL PERILAKU AERASI PELUMAS
MESIN MOTOR SATRIA FU 150 CC**

SKRIPSI

Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana S-1



M. HUSIN RAMADHAN

2110816210020

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT

2026

HALAMAN JUDUL

STUDI EKSPERIMENTAL PERILAKU AERASI PELUMAS

MESIN MOTOR SATRIA FU 150 CC

SKRIPSI

Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana S-1



M. HUSIN RAMADHAN

2110816210020

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT

2026

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN

**STUDI EKSPERIMENTAL PERILAKU AERASI PELUMAS MESIN
MOTOR SATRIA FU 150 CC**

Oleh

M. Husin Ramadhan (2110816210020)

Telah dipertahankan di depan tim penguji pada 29 Juli 2026 dan dinyatakan

LULUS

Komite Penguji:

Ketua

Dr. Ir. Abdul Ghofur, S.T., M.T., IPM
NIP. 197007171998021001

(.....)

Anggota 1

Dr. Eng. Ir. Apip Amrullah, S.T., M.Eng.
NIP. 198108102012121001

(.....)

Anggota 2

Ir. M. Nizar Ramadhan, S.T., M.T.
NIP. 199203222019031010

(.....)

Pembimbing Utama

Prof. Dr. Ir. Rachmat Subagyo, S.T., M.T., IPM.,
ACPE.
NIP. 197608052008121001

(.....)

Banjarbaru, 29 Juli 2026

Diketahui dan disahkan oleh:

Wakil Dekan Bidang Akademik
Fakultas Teknik

Koordinator Program Studi S-1
Teknik Mesin


Dr. Mahmud, S.T., M.T.
NIP. 197401071998021001


Ir. Ma'ruf, S.T., M.T.
NIP. 197601282008121002

HALAMAN IDENTITAS

**JUDUL SKRIPSI : STUDI EKSPERIMENTAL PERILAKU AERASI
PELUMAS MESIN MOTOR SATRIA FU 150 CC**

Nama Mahasiswa : M. Husin Ramadhan

NIM : 2110816210020

KOMITE PEMBIMBING

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Rachmat Subagyo, S.T., M.T, IPM, ACPE.

KOMITE PENGUJI

Dosen Penguji I : Dr. Ir. Abdul Ghofur, S.T., M.T., IP.M.

Dosen Penguji II : Dr.Eng. Apip Amrullah, S.T., M.Eng.

Dosen Penguji III : Ir. Muhammad Nizar Ramadhan, S.T., M.T.

Waktu & Tempat Ujian Skripsi

Seminar Proposal : Senin, 11 Mei 2026

Seminar Akhir : Kamis, 23 Juli 2026

Ujian Akhir : Rabu, 29 Juli 2026

Tempat : Ruang Sidang PSTM

Sk Penguji :

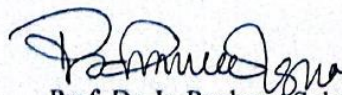
LEMBAR KONSULTASI

PROPOSAL SKRIPSI

Nama Mahasiswa : M. Husin Ramadhan
NIM : 2110816210020
Judul Skripsi : Studi Eksperimental Perilaku Aerasi Pelumas Mesin
Motor Satria FU 150 cc

No	Tanggal	Materi Konsultasi	TTD
1.	10 Mei 2026	Konsultasi judul	R
2.	15 Mei 2026	Konsultasi judul dan Acc	R
3.	23 Mei 2026	Konsultasi desain dan perbaikan latar belakang	R
4.	30 Mei 2026	Perbaiki kutipan, penulisan, bab II	R
5.	6 Juni 2026	Tambah refrensi dan kembangkan paragraph pada bab II	R
6.	11 Juni 2026	Perbaiki diagram alir pada bab III	R
7.	15 Juni 2026	ACC bab I, II, III	R

Banjarbaru,
Pembimbing



Prof. Dr. Ir. Rachmat Subagyo, ST, MT, IPM, ACPE.
NIP.

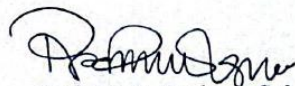
LEMBAR KONSULTASI

SKRIPSI

Nama Mahasiswa : M. Husin Ramadhan
NIM : 2110816210020
Judul Skripsi : Studi Eksperimental Perilaku Aerasi Pelumas Mesin
Motor Satria FU 150 cc

No	Tanggal	Materi Konsultasi	TTD
1.	2 Juli 2026	Perbaikan sistematika susunan BAB IV	R
2.	10 Juli 2026	Penambahan Tabel perbandingan fraksi volume	R
3.	11 Juli 2026	Penambahan uji korelasi	R
4.	13 Juli 2026	Penambahan perbandingan citra	R
5.	15 Juli 2026	Penambahan uji signifikansi BSD	R
6.	20 Juli 2026	Perbaiki kutipan, penulisan, bab IV	R
7.	22 Juli 2026	ACC bab IV dan V	R

Banjarbaru,
Pembimbing



Prof. Dr. Ir. Rachmat Subagyo, ST, MT, IPM, ACPE.

NIP.

**ORISINALITAS
PENELITIAN SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah Penelitian Skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di perguruan tinggi, terkecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan Skripsi, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Banjarbaru, 29 Juli 2026
Mahasiswa



M. Husin Ramadhan

RIWAYAT HIDUP

M. Husin Ramadhan lahir di Kotabaru pada tanggal 22 November 2002. Penulis merupakan anak ketiga dari lima bersaudara dari pasangan Bapak Syahrhan dan Ibu Kartini. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SD Baharu Selatan 2, kemudian melanjutkan pendidikan tingkat menengah di SMP Negeri 1 Kotabaru dan SMA Negeri 2 Kotabaru. Pada tahun 2021, penulis melanjutkan studi Strata-1 (S-1) di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru, Kalimantan Selatan

RINGKASAN

Pelumas berperan penting dalam kinerja mesin pembakaran dalam melalui pengurangan gesekan, pendinginan, dan pembersihan komponen, namun degradasinya dipercepat oleh aerasi (gelembung udara dalam oli) yang memicu kavitasi dan oksidasi. Pada motor berkapasitas kecil, kompartemen mesin dan transmisi berbagi pelumas yang sama sehingga beban pelumasan meningkat, namun studi aerasi selama ini terkonsentrasi pada mesin besar, dan pengamatan langsung mekanisme *dissolution-precipitation* gelembung pada saluran oli bertekanan mesin kecil belum pernah dilakukan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh RPM dan temperatur oli terhadap karakteristik aerasi (distribusi ukuran gelembung, fraksi volume, dan luas permukaan kontak oli-udara), membandingkan karakter gelembung antara kondisi *dissolution* di saluran oli dan *precipitation* di wadah oli, serta mengevaluasi kesesuaian fraksi volume antara metode pengolahan citra dan metode drain. Penelitian eksperimental kuantitatif dilakukan pada mesin motor Satria FU 150cc DOHC yang dimodifikasi dengan jendela pengamatan dan port sampling, pada variasi RPM 2000–5000 dan temperatur 75–115°C, menggunakan sistem pencahayaan kilat berbasis LED-ESP32 untuk pencitraan gelembung serta metode drain terkompensasi ekspansi termal. Hasil menunjukkan RPM merupakan faktor dominan yang secara konsisten meningkatkan aerasi pada kedua metode, sedangkan temperatur justru menurunkan fraksi volume aerasi, berlawanan dengan mayoritas literatur mesin besar, diduga akibat bak oli dangkal yang mempercepat pelepasan gelembung. Tingkat kejenuhan kelarutan aktual pada saluran oli hanya 14,4–40,3% dari kapasitas teoritis, mengindikasikan proses *dissolution* bersifat dibatasi waktu tinggal. Temuan ini mengimplikasikan bahwa mitigasi aerasi pada mesin kecil sebaiknya difokuskan pada desain terkait RPM dan geometri bak oli, serta evaluasi aerasi perlu mempertimbangkan distribusi ukuran gelembung dan luas kontak, bukan hanya fraksi volume.

Kata kunci: Aerasi oli, Mesin motor kapasitas kecil, Metode pengolahan citra, Metode drain, *dissolution*, *precipitation*

SUMMARY

Lubricating oil plays a critical role in internal combustion engine performance by reducing friction, cooling components, and removing contaminants, yet its degradation is accelerated by aeration — air bubbles entrained in the oil — which promotes cavitation and oxidation. In small-capacity motorcycle engines, the engine and transmission compartments share the same lubricant, increasing the lubrication load, but aeration research has largely focused on large-capacity engines, and direct observation of the bubble dissolution-precipitation mechanism inside a pressurized oil line of a small engine has never been conducted. This study analyzes the effect of engine RPM and oil temperature on aeration characteristics (bubble size distribution, volume fraction, and oil-air contact surface area), compares bubble characteristics between the dissolution condition in the oil line and the precipitation condition in the oil reservoir, and evaluates the agreement of volume fraction measurements between the image-processing method and the drain method. A experimental study was conducted on a Satria FU 150cc DOHC motorcycle engine modified with observation windows and a sampling port, across RPM variations of 2000–5000 and oil temperatures of 75–115°C, using an LED-ESP32-based short-pulse lighting system for bubble imaging together with a thermal-expansion-compensated drain method. Results show RPM is the dominant factor consistently increasing aeration across both methods, whereas temperature actually decreased the aeration volume fraction — contrary to most large-engine literature — likely due to the shallow oil sump accelerating bubble release. The actual solubility saturation level in the oil line was only 14.4–40.3% of the theoretical capacity, indicating the dissolution process is residence-time limited. These findings imply that aeration mitigation in small engines should focus on RPM-related design aspects and oil sump geometry, and that aeration evaluation should consider bubble size distribution and contact area, not volume fraction alone.

Keywords: Oil aeration, Small-capacity motorcycle engine, Image processing method, Drain method, dissolution, precipitation

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puja dan puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Studi Eksperimental Perilaku Aerasi Pelumas Mesin Motor Satria FU 150 cc”**, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.

Penulis Menyadari bahwa skripsi ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya dukungan, bantuan, bimbingan, dan nasehat dari berbagai pihak selama penyusunan skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih setulus-tulusnya kepada:

1. Kedua orang tua, yang memberi dukungan dalam bentuk materil maupun moril yang tidak terhingga, sampai penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Rachmat Subagyo, S.T., M.T., IPM., ACPE., selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi, serta dukungan kepada penulis.
3. Bapak Ir. Ma'ruf, S.T., M.T., selaku Koordinator Program Studi Teknik Mesin yang telah bersedia mengarahkan penulis menyelesaikan sidang susulan dan membantu mengarahkan dalam pemberkasan akhir.
4. Deni Saputra, Yoga Aiman Witjaksono, dan teman-teman Asrama Tala yang membantu, memberi makan, dan mempersilahkan asrama sebagai tempat mengerjakan skripsi.
5. Teman-teman Wasaka Team Car yang mempersilahkan penulis menggunakan berbagai fasilitas bengkel Wasaka untuk merakit alat penelitian dan sebagai tempat pengambilan data.
6. Nada Aliyatunnisa sebagai sahabat yang selalu membantu dan menemani penulis dalam menghadapi berbagai kendala dalam penelitian.
7. Dr. Susana Anggar Kusuma yang telah memberi banyak masukan dan dukungan pada berbagai permasalahan yang dihadapi penulis.
8. Kaka Listya dan Erwin yang telah membantu membiayai perbaikan laptop penulis yang rusak ketika ditengah-tengah pengerjaan skripsi.

9. Almahrum Pyotr Ilyich Tchaikovsky, Dmitri Shostakovich, dan Sergei Rachmaninoff yang telah menciptakan musik yang sangat indah (Piano Concerto No.1, Symphony No. 7, dan Piano Concerto No. 3) yang telah menemani dan memotivasi dalam penulisan skripsi hingga selesai.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis memohon maaf atas segala kekurangan dan kekhilafan yang terdapat dalam penulisan ini. Semoga Skripsi ini dapat menyumbang pengembangan ilmu dan teknologi, khususnya dalam bidang tribologi.

Banjarbaru, 10 Agustus 2026

Penulis,

M. Husin Ramadhan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN IDENTITAS.....	iii
LEMBAR KONSULTASI SKRIPSI	iv
ORISINALITAS.....	vi
RINGKASAN	viii
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xx
DAFTAR PERSAMAAN.....	xxi
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Manfaat Penelitian	7
1.5 Batasan Masalah	7
1.6 Sistematika Penulisan	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Aerasi Pelumas	9
2.1.1 Deskripsi Aerasi Oli	9
2.1.2 Penyebab Aerasi Oli.....	9
2.1.2.1 Kecepatan Mesin	10
2.1.2.2 Temperatur Oli	11
2.1.2.3 Tekanan Oli	15
2.1.3 Dampak Aerasi	20
2.1.3.1 Vibrasi dan Keausan Roda Gigi	21
2.1.3.2 Degradasi Oli	21
2.1.3.3 Kavitasi	22
2.1.3.4 Gangguan Kontrol Mesin.....	22
2.1.3.5 Keausan Bantalan.....	23
2.1.3.6 Kerugian Daya Pada Roda Gigi	23
2.2 Sistem Pelumasan Mesin Satria FU	24
2.2.1 Spesifikasi Motor dan Mesin	24
2.2.2 Sistem Pelumasan	25
2.3 Pengukuran Aerasi.....	26
2.3.1 Metode Pengukuran Aerasi	26
2.3.2 Metode Drain	28
2.3.3 Metode Pengolahan Citra	29
2.3.3.1 Filtrasi	31

2.3.3.2 Segmentasi Gelembung Tumpang Tindih (Teknik Watershedding)	32
2.3.3.3 Pengukuran Diameter Gelembung	33
2.3.3.4 Permodelan Volumetrik	34
2.3.4 <i>ImageJ</i>	35
2.3.5 <i>Python</i>	36
2.4 Pencitraan Gelembung Aerasi Oli	37
2.4.1 Pencitraan Kecepatan Tinggi	37
2.4.1.1 Laju Bingkai (<i>Frame Rate</i>)	38
2.4.1.2 Durasi Pemajanan (<i>Exposure Time</i>)	39
2.4.1.3 Pembesaran (<i>Magnification</i>)	39
2.4.1.4 Skala dan Permasalahan Pengskalaan	40
2.4.2 Durasi Pemajanan Aliran Oli Mesin Motor Satria FU	41
2.4.2.1 Kecepatan Aliran Oli	41
2.4.2.2 Durasi Pemajanan Pencitraan Aliran Oli	42
2.4.3 Sistem Pencahayaan Pulsa-singkat Biaya-rendah	43
2.5 Analisis Statistik	46
2.5.1 Rata-rata	46
2.5.2 Simpangan Baku	47
2.5.3 Koefisien Keragaman	48
2.5.4 Bilah Galat	48
2.5.5 Koefisien Determinasi	49
2.5.6 Regresi Linear Sederhana	50
2.5.7 Regresi Linear Berganda	51
2.5.8 Statistik Non-parametrik	53
2.5.8.1 Uji Kolmogorov-Smirnov (K-S)	53
2.5.8.2 Uji Mann-Whitney U (MWU)	54
2.5.8.3 Kombinasi Uji K-S dan MWU Pada Distribusi Ukuran Gelembung	55
BAB III METODE PENELITIAN	57
3.1 Pendahuluan	57
3.2 Jadwal Pelaksanaan Penelitian	57
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	57
3.3.1 Alat	57
3.3.2 Bahan	64
3.4 Variabel Penelitian	66
3.4.1 Variabel terikat	66
3.4.2 Variabel bebas	66
3.4.3 Variabel kontrol	66
3.5 Kerangka Konsep	67
3.6 Aparatus dan Prosedur Eksperimen	68
3.6.1 Jendela Pengamatan Aliran oli	68

3.6.2 Sistem Pencahayaan, Kendali, dan Pemantauan Data	71
3.6.3 Penyesuaian Persneling dan Roda Gigi.....	74
3.6.4 Tahap Pra-percobaan.....	75
3.6.4.1 Pengujian Profil Pendinginan Mesin.....	75
3.6.4.2 Sinkronisasi Kamera dan Pencahayaan.....	76
3.6.5 Tahap Percobaan	77
3.6.5.1 Pengambilan Sampel Oli Metode Drain	77
3.6.5.2 Pengambilan Sampel Citra Aerasi Oli	77
3.7 Prosedur Ekstraksi Data	78
3.7.1 Metode Drain	78
3.7.2 Pengolahan gambar dengan <i>ImageJ</i> dan <i>Python</i>	79
3.8 Analisis Data	84
3.8.1 Perhitungan Fraksi Volume Metode Drain	84
3.8.2 Uji statistik pada metode drain.....	84
3.8.3 Uji Statistik Pada Distribusi Ukuran Gelembung Antar Variabel	85
3.8.4 Perhitungan Fraksi Volume Citra Aerasi	85
3.8.5 Korelasi Perhitungan Fraksi Volume Kedua Metode	85
3.8.6 Perbandingan Fraksi Volume Dengan Model Kelarutan Henry-	
Dalton	85
3.8.7 Perhitungan Luas Permukaan Kontak Oli-Udara.....	86
3.9 Rencana Waktu Kegiatan	87
BAB IV HASIL & PEMBAHASAN.....	88
4.1 Pra-percobaan	88
4.1.1 Profil Pendinginan Mesin.....	88
4.1.2 Sinkronisasi Kamera dan Pencahayaan.....	90
4.2 Evaluasi Metode Ekstraksi Data.....	92
4.2.1 Metode Kompensasi Volumetrik Metode Drain	92
4.2.2 Metode Segmentasi Citra Gelembung	94
4.3 Hasil Pengukuran Aerasi Oli	95
4.3.1 Pengukuran Aerasi Oli Metode Drain.....	95
4.3.1.1 Statistik Deskriptif Fraksi Volume Metode Drain.....	97
4.3.1.2 Analisis Regresi Fraksi Volume Metode Drain.....	99
4.3.2 Pengukuran Aerasi Oli Metode Pengolahan Citra	102
4.3.2.1 Distribusi Ukuran Gelembung	106
4.3.2.2 Fraksi Volume	111
4.3.2.3 Area Permukaan Kontak Oli	119
4.4 Implikasi Hasil Temuan Pada Pengukuran Aerasi Metode Drain dan	
Metode Pengolahan Citra	122
4.4.1 Pembentukan Gelembung Akibat Turbulensi Vs Pelepasan	
Gelembung Akibat Gaya Apung	122

4.4.2 Tingkat Kejenuhan Kelarutan sebagai Bukti Waktu Tinggal Oli	123
4.4.3 Desain Sistem Pelumasan Mesin Berkapasitas Kecil	123
4.5 Keterbatasan Penemuan dan Hasil Analisis	124
4.5.1 Jumlah Sampel	124
4.5.2 Koreksi Temperatur Awal Metode Drain	124
4.5.3 Pra-proses Citra Dalam Membedakan Gelembung <i>in-focus</i> dan <i>out-of-focus</i>	125
4.5.4 Resolusi Optik Pada Deteksi Gelembung Berukuran Kecil.....	126
4.5.5 Kontrol Perubahan Viskositas Oli Selama Pengujian.....	127
4.5.6 Hasil Statistik Uji Kolmogorov-Smirnov dan Uji Mann-Whitney U	127
BAB V PENUTUP	128
5.1 Kesimpulan.....	128
5.2 Saran	129
5.2.1 Saran Perbaikan Penelitian.....	129
5.2.2 Saran Penelitian Lanjutan	129
DAFTAR PUSTAKA	130
LAMPIRAN.....	135

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi berbagai interaksi antara udara dan oli.....	9
Gambar 2.2 Skema parameter mesin dan interaksinya dalam mempengaruhi aerasi oli.....	10
Gambar 2.3 BSD pada RPM 3000 dan 6000	10
Gambar 2.4 Fraksi Volume Terukur Pada Jalur Masuk Hisap Pompa Oli di RPM 3000 dan 6000	11
Gambar 2.5 Pengaruh Temperatur Pada Karakteristik Aerasi	12
Gambar 2.6 Distribusi Ukuran Gelembung Pada Temperatur 80°C dan 120°C Pada RPM 200 dan 5000 Di Berbagai Titik Pelumasan Mesin	14
Gambar 2.7 Tingkat Aerasi Pada Rentang Temperature Mesin	14
Gambar 2.8 Hubungan tekanan dan tingkat kelarutan jenuh gas pada oli	15
Gambar 2.9 Koefisien Transfer massa Oli Pada Berbagai Temperatur	17
Gambar 2.10 Perubahan Ukuran Gelembung Akibat Transfer massa dan Kompresi Pada Peningkatan Tekanan Oli	18
Gambar 2.11 Distribusi Ukuran Gelembung Pada Sirkulasi Normal	19
Gambar 2.12 Distribusi Ukuran Gelembung Pada Sumber Oli Eksternal	19
Gambar 2.13 Demonstrasi Siklus Dissolution-Precipitation Pada Perubahan Tekanan Oli	20
Gambar 2.14 Properti dan gaya dari getaran yang dihasilkan gelembung udara..	21
Gambar 2.15 Tingkat aerasi tiga jenis oli yang tingkat aditif antibusanya dikurangi (kiri). Tingkat keausan bantalan masing-masing oli (kanan).....	23
Gambar 2.16 Kenaikan rugi daya pada roda gigi pada peningkatan aerasi	24
Gambar 2.17 Motor Satria FU	25
Gambar 2.18 Sistem Pelumasan Mesin Motor Satria FU	25
Gambar 2.19 Urutan pengolahan citra pada identifikasi dan segmentasi gelembung	30
Gambar 2.20 Langkah-langkah filtrasi citra	31
Gambar 2.21 Ilustrasi transformasi watershed pada bidang dua dimensi.....	33
Gambar 2.22 Citra Setelah Segmentasi Menggunakan Algoritma Watershed	33
Gambar 2.23 Citra Setelah Rekognisi Gelembung	34
Gambar 2.24 Deteksi Tepi Gambar Menggunakan Python	36
Gambar 2.25 Deteksi Objek Menggunakan Python.....	36
Gambar 2.26 Sebuah tetesan pewarna merah berdiameter 2 mm menumbuk lapisan tipis susu.....	37
Gambar 2.27 Representasi skematis dari definisi laju bingkai (frame rate), waktu antar bingkai (interframe time), waktu pencahayaan sensor (exposure time), dan waktu iluminasi (illumination time).....	39
Gambar 2.28 Pencitraan berkecepatan tinggi terhadap proses pinch-off fluida. ..	40
Gambar 2.29 Instalasi Sistem Pencahayaan Pulsa-singkat Pada Mikroskop.....	43
Gambar 2.30 Karakteristik kilatan (flash) LED yang diukur menggunakan fotodiode dan osiloskop	44

Gambar 2.31 Uji sitometri deformabilitas sel menggunakan iluminasi stroboskop	46
Gambar 2.32 Bilah Galat Deskriptif	49
Gambar 3.33 Mesin Satria FU	58
Gambar 3.34 Termokopel dan MAX6675	58
Gambar 3.35 Arduino Uno dan Kabel Konektor	59
Gambar 3.36 Laptop Acer Aspire 3 a314 dan Manometer	59
Gambar 3.37 CULPM1, Kapasitor Elco 1000 μ F, dan Kapasitor MKP 0,1 μ F ...	60
Gambar 3.38 Kapasitor MKP 1 μ F, dan Kapasitor SMD 0,1 μ F	60
Gambar 3.39 Resistor 2,7 ohm, IRLZ44N, dan UCC37322	61
Gambar 3.40 Adaptor SOIC 8, MUR160, dan Optocoupler PC817	61
Gambar 3.41 Fotodiode, Sakelar tombol, dan Jack 2,5 mm stereo	62
Gambar 3.42 Kamera Canon EOS 77D, Lensa Canon EF-S 60mm f/2.8 USM macro, dan Godox TT520III	63
Gambar 3.43 Gelas ukur 100 ml dan Kipas Angin 55W	63
Gambar 2.44 Kaca Korosilikat dan Aluminium Cor	64
Gambar 2.45 Selang Pneumatik dan Lem Epoksi	64
Gambar 3.46 Lem tribon dan oli Shell Advance AX7 10W-40	65
Gambar 3.47 PCB Lubang dan Timah Solder	65
Gambar 3.48 Klem dan Kabel Jumper	66
Gambar 3.49 Diagram Alir Tahapan Penelitian	67
Gambar 3.50 Modifikasi Radiator Satria FU	68
Gambar 3.51 Jendela Pengamatan Aliran Oli, Desain Awal (kiri), dan Hasil Perancangan (kanan)	69
Gambar 3.52 Desain Jendela Pengamatan Aliran Oli. Desain Awal (kiri), dan Hasil Perancangan (kanan)	70
Gambar 3.53 Diagram Listrik Pencahayaan, Kontrol, dan Pemantauan Data	71
Gambar 3.54 Aparatus Eksperimen Pengambilan Data Citra Aerasi	72
Gambar 3.55 Papan PCB Sirkuit Pencahayaan	73
Gambar 3.56 Pemantauan Data Temperatur Pada Excel	74
Gambar 3.57 Setup Pendinginan Mesin	76
Gambar 3.58 Pengambilan Sampel Oli	77
Gambar 3.59 Level Volume Oli (Saat Diambil Dan Didiamkan)	78
Gambar 3.60 Tahap Kalibrasi Ukuran Pada ImageJ	80
Gambar 3.61 Tahap Konversi Grayscale Pada ImageJ	80
Gambar 3.62 Tahap Thresholding Gambar Pada ImageJ	80
Gambar 3.63 Tahap Penyimpanan Gambar Pada ImageJ	81
Gambar 3.64 Tahap impor dokumen pada Python	81
Gambar 3.65 Tahap tahap penampilan gambar pada Python	82
Gambar 3.66 Tahap Tahap Pemrosesan Watershed Pada Python	82
Gambar 3.67 Tahap Pemrosesan Least Square Circle Fitting Pada Python	83
Gambar 3.68 Tahap visualisasi gelembung pada Python	83

Gambar 3.69 Hasil Gambar Pemisahan Dan Identifikasi Gelembung.....	84
Gambar 4.70 Grafik Temperatur Stabil RPM 2000 Pada Temperatur 75°C, 85°C, 95°C, dan 105°C	89
Gambar 4.71 Grafik Temperatur Stabil RPM 5000 Pada Temperatur 85°C, 95°C, 105°C, dan 115°C	89
Gambar 4.72 Uji Coba Sinkronisasi dan Pengambilan Sampel Citra Aerasi	90
Gambar 4.73 Diagram Ilustrasi Sinkronisasi Kamera dan LED	91
Gambar 4.74 Perbandingan antara citra riil (kiri) yang didapatkan pada percobaan, dengan citra sintetik (kanan) yang digunakan pada demonstrasi ekstraksi data	94
Gambar 4.75 Hasil Pra-proses dan Segmentasi Citra Menggunakan Alur Proses Sesuai Dengan Rencana Proposal	95
Gambar 2.76 Langkah-langkah Pra-proses dan segmentasi citra menggunakan proses filtrasi untuk menyisihkan gelembung yang out-of-focus dan derau latar belakang.	95
Gambar 4.77 Grafik Bilah Galat Fraksi Volume Udara Terhadap Temperatur Oli pada RPM 2000 dan RPM 5000.....	98
Gambar 4.78 Grafik Regresi Fraksi Volume Terhadap RPM–Temperatur	100
Gambar 4.79 Perbandingan antara bak oli mesin kapasitas kecil (kiri) dengan mesin kapasitas besar (kanan)	101
Gambar 4.80 Potret sampel citra aerasi oli RPM 2000 pada temperatur 75, 85, 95, dan 105°C (dari kiri ke kanan)	102
Gambar 4.81 Potret sampel citra aerasi oli RPM 5000 pada temperatur 85 dan 95°C, dan citra aerasi oli jendela pengamatan wadah oli pada RPM 5000 di temperatur 85°C (dari kiri ke kanan).....	103
Gambar 4.82 Tekanan yang terukur pada saluran oli. Tekanan oli pada RPM 2000 di temperatur 75, 85, 95, 105°C (atas, dari kiri ke kanan), dan tekanan oli pada RPM 5000 di temperatur 85, 95°C (bawah, dari kiri ke kanan)	103
Gambar 4.83 Histogram distribusi ukuran gelembung RPM 2000 temperatur 75, 85, 95, dan 105°C	108
Gambar 4.84 Histogram distribusi ukuran gelembung RPM 5000 temperatur 85 dan 95°C	109
Gambar 4.85 Histogram distribusi ukuran gelembung RPM 2000 dan 5000 temperatur 85°C dan 95°C.....	110
Gambar 4.86 Histogram distribusi ukuran gelembung RPM 5000 temperatur 85°C antar jendela pengamatan saluran oli dan wadah oli.....	111
Gambar 4.87 Fraksi volume RPM 2000 temperatur 75°C, 85°C, 95°C, dan 105°C di empat metrik.....	112
Gambar 4.88 Fraksi volume RPM 2000 dan 5000 temperatur 85°C dan 95°C pada empat metrik.....	113
Gambar 4.89 Fraksi volume RPM 5000 temperatur 85°C jendela saluran oli dan jendela wadah oli.....	114

Gambar 4.90 Perbandingan citra aerasi antara jendela pengamatan saluran oli (kiri) dengan jendela pengamatan wadah oli (kanan)	115
Gambar 4.91 Fraksi volume Metode Pengolahan Citra vs Metode Drain	115
Gambar 4.92 Perbandingan antara citra gelembung out-of-focus (kiri) dan in- focus (kanan)	116
Gambar 4.93 Fraksi volume RPM 5000 Temperatur 85°C Metode Drain vs Metode Pengolahan Citra (Wadah Oli)	117
Gambar 4.94 Area permukaan kontak oli RPM 2000 temperatur 75°C, 85°C, 95°C, 105°C dan RPM 5000 temperatur 85°C, 95°C	120
Gambar 4.95 Area permukaan kontak oli RPM 5000 temperatur 85°C antar jendela saluran oli dan jendela wadah oli	121
Gambar 4.96 Kegagalan Deteksi Gelembung Secara Akurat Pada Proses Segmentasi	126
Gambar 4.97 Keterbatasan Ketajaman Gelembung Dan Artefak Pada Latar Belakang Citra Yang Mengurangi Akurasi Segmentasi Gelembung	126

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Mesin Motor Satria FU (Suzuki Ltd)	24
Tabel 2.2 Metode Pengukuran Aerasi Oli.....	27
Tabel 2.3 Kecepatan Aliran Oli Pada RPM 2000 & 5000	41
Tabel 2.4 Komparasi antar model regresi	52
Tabel 3.5 Skema Variabel Karakter Pendinginan Mesin	75
Tabel 3.6 Skema Pengambilan Sampel di Titik Variabel Mesin	78
Tabel 3.7 Skema Data Pengukuran Metode Drain	79
Tabel 3.8 Rencana Waktu Kegiatan Penelitian.....	87
Tabel 4.9 Variabel Karakter Pendinginan Mesin	88
Tabel 4.10 Fraksi volume dengan kompensasi volumetrik menggunakan temperatur awal yang terukur di saluran oli	92
Tabel 4.11 Fraksi volume dengan kompensasi volumetrik menggunakan temperatur awal yang disesuaikan.....	93
Tabel 4.12 Data Volume Oli Metode Drain	96
Tabel 4.13 Variabel Karakter Pendinginan Mesin	97
Tabel 4.14 Regresi Berganda Dengan Suku Interaksi	99
Tabel 3.15 Regresi Berganda Tanpa Suku Interaksi	99
Tabel 4.16 Tekanan pada saluran oli pada RPM dan temperatur oli	103
Tabel 4.17 Tabel Statistik Deskriptif Distribusi Ukuran Gelembung.....	107
Tabel 4.18 Tabel Statistik Uji K-S dan Mann-Whitney U antar Temperatur Pada RPM sama	107
Tabel 4.19 Tabel Statistik Uji K-S dan Mann-Whitney U antar RPM Pada Temperatur Sama	107
Tabel 4.20 Tabel Statistik Uji K-S dan Mann-Whitney U pada temperatur dan RPM sama pada dua jendela pengamatan berbeda	108
Tabel 4.21 Estimasi Tingkat Kejenuhan Aktual Berdasarkan Selisih A_m , atm dengan A_m , $drain$	118

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1 Angka Weber	13
Persamaan 2.2 Hukum Kelarutan Gas Henry-Dalton	15
Persamaan 2.3 Model Transfer Masa Gelembung Epstein-Plesset	16
Persamaan 2.4 Perubahan Diameter Gelembung di Saluran Bertekanan	18
Persamaan 2.5 Fraksi Volume Udara di Kompensasi Volumetrik	29
Persamaan 2.6 Volume Oli di Kompensasi.....	29
Persamaan 2.7 Fraksi Volume Udara di Normalisasi	29
Persamaan 2.8 Volume Oli Murni di Kompensasi.....	29
Persamaan 2.9 Volume Oli di Kompensasi.....	29
Persamaan 2.10 Nilai Ambang Batas Lokal Nilai Keabuan	31
Persamaan 2.11 Rata-rata Derajat Keabuan.....	32
Persamaan 2.12 Derajat Abu Latar Depan dan Latar Belakang	32
Persamaan 2.13 Derajat Abu Latar Depan dan Latar Belakang.....	32
Persamaan 2.14 Least Square Fitting	34
Persamaan 2.15 Derivatif Parsial Least Square Fitting.....	34
Persamaan 2.16 Tingkat Aerasi.....	35
Persamaan 2.17 Tingkat Aerasi Gelembung ($d_i \leq D$)	35
Persamaan 2.18 Tingkat Aerasi Gelembung ($d_i > D$)	35
Persamaan 2.19 Laju Bingkai Optimum	38
Persamaan 2.20 Durasi Pemajanan Efektif	39
Persamaan 2.21 Pembesaran Efektif	40
Persamaan 2.22 Luas Penampang	41
Persamaan 2.23 Kecepatan Aliran Oli	41
Persamaan 2.24 Ukuran Piksel Sensor Kamera	42
Persamaan 2.25 Durasi Pemajanan Efektif	42
Persamaan 2.26 Durasi Pulsa LED	45
Persamaan 2.27 Nilai Rata-rata.....	47
Persamaan 2.28 Nilai Total.....	47
Persamaan 2.29 Simpangan Baku	47
Persamaan 2.32 Koefisien Keragaman	48
Persamaan 2.33 Koefisien Determinasi	50
Persamaan 2.34 Regresi Linear Sederhana	50
Persamaan 2.36 Regresi Linear Berganda	51
Persamaan 2.37 Uji Kolmogorov-Smirnov	53
Persamaan 2.38 Uji Mann-Whitney U	54
Persamaan 3.36 Luas Permukaan Gelembung	86
Persamaan 3.37 Luas Permukaan Gelembung Pada Volume Pengamatan.....	86
Persamaan 3.38 Luas Permukaan Spesifik.....	86

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran. A1 Baris kode/*Sketch* Arduino IDE ESP32 dan Arduino Uno
- Lampiran. A2 Baris Kode *Macro Imagej* Pra-proses dan Segmentasi Citra
- Lampiran. A3 Data Hasil Kalkulasi Fraksi Volume Metode Drain
- Lampiran. A4 Hasil Kalkulasi Statistik SPSS
- Lampiran. A5 Potret Citra Aerasi Pada Berbagai Variabel Mesin