

**STUDI PERBEDAAN POLA DEGRADASI AEROB
BIOSURFAKTAN DARI BUAH LERAK (*Sapindus rarak*) DAN
SURFAKTAN SINTETIK SDS (*Sodium dodecyl sulfate*)
DALAM MEDIA AKUATIS**

SKRIPSI

**oleh :
DIAN NOVIANTI
0410920019-92**



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2008**

**STUDI PERBEDAAN POLA DEGRADASI AEROB
BIOSURFAKTAN DARI BUAH LERAK (*Sapindus rarak*) DAN
SURFAKTAN SINTETIK SDS (*Sodium dodecyl sulfat*)
DALAM MEDIA AKUATIS**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
dalam bidang kimia

oleh :
DIAN NOVIANTI
0410920019-92



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2008**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI PERBEDAAN POLA DEGRADASI AEROB BIOSURFAKTAN DARI BUAH LERAK (*Sapindus rarak*) DAN SURFAKTAN SINTETIK SDS (*Sodium dodecyl sulfate*) DALAM MEDIA AKUATIS

oleh :

DIAN NOVIANTI

0410920019-92

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji pada tanggal
24 Desember 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat untuk
memperoleh gelar Sarjana Sains dalam bidang Kimia

Pembimbing I

Pembimbing II

Prof.Dr.Ir.Chandrawati C.,MS

NIP. 130 809 060

Dra.Anna Roosdiana,M.App.Sc

NIP. 132 000 070

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Kimia
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya**

M.Farid Rahman, S.Si., M.Si

NIP. 132 158 726

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : DIAN NOVIANTI

NIM : 0410920019

Jurusan : KIMIA

Penulis skripsi berjudul :

**STUDI PERBEDAAN POLA DEGRADASI AEROB
BIOSURFAKTAN DARI BUAH LERAK (*Sapindus rarak*) DAN
SURFAKTAN SINTETIK SDS (*Sodium dodecyl sulfat*)
DALAM MEDIA AKUATIS**

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Isi dari skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam skripsi ini.
2. Apabila dikemudian hari ternyata skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, Desember 2008
Yang menyatakan,

(Dian Novianti)
NIM. 0410920019

STUDI PERBEDAAN POLA DEGRADASI AEROB BIOSURFAKTAN DARI BUAH LERAK (*Sapindus rarak*) DAN SURFAKTAN SINTETIK SDS (*Sodium dodecyl sulfate*) DALAM MEDIA AKUATIS

ABSTRAK

Studi tentang perbedaan pola degradasi aerob antara biosurfaktan dari buah lerak (mengandung "saponin") dan SDS dalam media akuatis telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perbedaan pola degradasi aerob dalam media akuatis pada suhu ruang dan menentukan efisiensi degradasinya selama satu minggu. Proses degradasi dilakukan dengan cara pengocokan larutan surfaktan dengan variasi konsentrasi 500, 750, dan 1000 ppm dengan kecepatan 100 rpm selama satu minggu. Mikroba berupa *mixed culture* mikroorganisme yang diperoleh dari limbah laundry (berjarak 0,5 m dari *outlet*) dan diinokulasikan ke dalam air pengencer. Analisis larutan sampel dilakukan dengan cara mengukur nilai tegangan permukaannya dengan alat Tensiometer Du Nuoy. Pola degradasi dilihat dari perubahan tegangan permukaan larutan surfaktan. Hasil penelitian menunjukkan pola degradasi aerob pada lerak berbeda dengan SDS. Degradasi lerak kurang efektif dibandingkan dengan SDS. Proses degradasi optimal pada konsentrasi SDS 750 ppm dengan kenaikan tegangan permukaan sebesar 9,16 dyne/cm. Efisiensi degradasi isolat lerak dan SDS optimal pada konsentrasi yang sama yaitu 750 ppm dengan efisiensi berturut-turut 7,46% dan 27,14%. Hal ini berarti bahwa persen *removal* lerak di alam kurang efektif dibandingkan dengan SDS. Penelitian ini membuktikan bahwa bila limbah lerak masuk ke perairan lebih sulit didegradasi dibandingkan limbah SDS karena *mixed culture* yang ada di perairan umumnya didominasi dengan kultur yang lebih selektif terhadap SDS.

Kata Kunci : degradasi, SDS, lerak, surfaktan, aerob

STUDY ON AEROBIC DEGRADATION PATTERNS OF LERAK FRUIT (*Sapindus rarak*) BIOSURFACTANT AND SDS(*Sodium dodecyl sulfate*) SYNTHETIC SURFACTANT IN AQUATIC MEDIUM

ABSTRACT

Study on aerobic degradation patterns of lerak fruit biosurfactant (consist of “saponin”) and SDS in aquatic medium has been done. The aim of this research was to understand the aerobic degradation patterns of lerak extract and SDS in aquatic medium at room temperature and also to determine the degradation efficiency. Degradation processes were done by shaking the various concentrations of surfactant solutions (500, 750, and 1000 ppm) at 100 rpm during one week. Microbes were mixed culture of microorganism which were obtained from laundry waste (the distance is 0.5 m from outlet) and were inoculated in an aqueous medium. The analysis were done by measuring the surface tension of surfactant solutions using Tensiometer Du Nuoy. Degradation patterns can be observed from the change of surface tension. The results showed that aerobic degradation pattern of lerak was different to SDS. Lerak degradation was less effective than SDS. The optimal degradation process was occurred at SDS concentration 750 ppm and the value of surface tension raising was 9.16 dyne/cm. The optimal degradation efficiency for lerak and SDS were occurred in same concentration at 750 ppm and their efficiencies respectively were 7.46% and 27.14%. The removal percentage of lerak in nature was less effective than SDS. This experience proved that if lerak waste entered to aquatic sphere, that would be more difficult being degraded than SDS waste, because of the existence of mixed cultures in aquatic sphere were dominated by cultures which are more selective to SDS.

Keywords: degradation, SDS, lerak, surfactant, aerobic

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Studi Perbedaan Pola Degradasi Aerob Biosurfaktan dari Buah Lerak (*Sapindus rarak*) dan Surfaktan Sintetik SDS (*Sodium Dodecyl Sulfate*) Dalam Media Akuatis”** sebagai tugas akhir dalam menyelesaikan studi di Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Brawajaya Malang.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini terutama kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Chandrawati Cahyani, MS selaku Dosen Pembimbing pertama dan Dra. Anna Roosdiana, M.App.Sc selaku Dosen Pembimbing kedua
2. M. Farid Rahman, S.Si, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia
3. Dr. Diah Mardiana, MS selaku Kepala Laboratorium Kimia Fisik
4. Dosen-dosen Penguji: Darjito, S.Si, MSi, Dr. Atikah, Apt.Msi, Drs. Warsito, MS, dan Arie Srihardyastuti S.Si, M.Kes
5. Elvina Dhiaul Iftitah, S.Si, MSi selaku Dosen Penasehat Akademik
6. Kedua orang tua yang penulis cintai, terima kasih atas segala dukungan serta doa yang selalu diberikan kepada penulis
7. Seluruh staf dosen pengajar dan staf pengajaran Fakultas MIPA Jurusan Kimia
8. Seluruh laboran di Laboratorium Kimia, terima kasih atas bantuan dan kerjasamanya
9. Adik-adikku: Winda, Andre, dan Al Fitra serta seluruh keluarga
10. Jitu Laksono, S.Si, terima kasih atas semangat, dukungan serta kasih sayang yang selalu diberikan kepada penulis
11. Semua teman-teman kimia 2004 yang selalu kompak
12. Semua pihak yang telah membantu

Penulis menyadari tulisan ini belum sempurna. Kritik dan saran sangat diharapkan. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca

Malang, Desember 2008

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Surfaktan.....	5
2.2 Konsentrasi Kritis Misel (KKM).....	5
2.3 Biosurfaktan dari Buah Lerak.....	7
2.4 <i>Sodium dodecyl sulfate</i> (SDS).....	8
2.5 Degradasi Surfaktan secara Aerob.....	10
2.6 Analisis Surfaktan dengan Metode Tensiometri.....	10
2.7 Hipotesis.....	11
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	13
3.2 Bahan dan Alat Penelitian	
3.2.1 Bahan Kimia.....	13
3.2.2 Bahan Penelitian.....	13
3.2.3 Alat Penelitian.....	13
3.3 Rancangan Penelitian.....	13
3.4 Tahapan Penelitian.....	14

3.5 Cara Kerja.....	14
3.5.1 Pengambilan dan Pembiakan Sampel Starter Mikroba.....	14
3.5.2 Penentuan KKM Isolat Lerak dan SDS.....	15
3.5.2.1 Penentuan KKM Isolat Lerak.....	15
3.5.2.2 Penentuan KKM SDS.....	15
3.5.3 Preparasi Larutan Sampel Isolat Lerak dan SDS dengan Variasi Konsentrasi.....	15
3.5.3.1 Preparasi isolat lerak 500, 750, dan 1000 ppm.....	15
3.5.3.2 Preparasi SDS 500, 750, dan 1000 ppm.....	15
3.5.4 Degradasi Larutan Sampel Isolat Lerak dan SDS secara Aerob dengan Pengocokan ($v=100$ rpm) pada Suhu Ruang ($23-26^0$ C).....	16
3.5.5 Analisis Larutan Sampel.....	16
3.5.6 Analisis Data.....	16
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pembiakan Starter Mikroba dalam Air Pengencer.....	17
4.2 Penentuan KKM Isolat Lerak dan SDS.....	17
4.3 Degradasi Larutan Sampel Isolat Lerak dan SDS secara Aerob dengan Pengocokan ($v=100$ rpm) pada Suhu Ruang ($23-26^0$ C).....	19
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	27
5.2 Saran.....	27
 DAFTAR PUSTAKA.....	29
LAMPIRAN.....	33

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Struktur Molekul Surfaktan.....5
Gambar 2.2	Penentuan KKM dengan Tegangan Permukaan dan Daya Hantar.....6
Gambar 2.3	Struktur Dasar Saponin Triterpenoid (a) dan Saponin Steroid (b).....7
Gambar 2.4	Struktur Molekul <i>Sodium dodecyl sulfate</i>8
Gambar 4.1	Pengaruh Variasi Konsentrasi Isolat Lerak dan Waktu Degradasi terhadap Tegangan Permukaan Nyata.....19
Gambar 4.2	Pengaruh Variasi Konsentrasi SDS dan Waktu Degradasi terhadap Tegangan Permukaan Nyata...20
Gambar 4.3	Hubungan antara Perubahan Tegangan Permukaan Nyata Terhadap Konsentrasi Isolat Lerak dan SDS Setelah Proses Degradasi selama Satu Minggu.....22
Gambar 4.4	Perubahan Nilai pH dengan Variasi Konsentrasi Isolat Lerak terhadap Waktu Degradasi23
Gambar 4.5	Perubahan Nilai pH dengan Variasi Konsentrasi SDS terhadap Waktu Degradasi24
Gambar 4.6	% Efisiensi Degradasi Isolat Lerak.....25
Gambar 4.7	% Efisiensi Degradasi SDS.....26
Gambar L.4.1	Ilustrasi Kamar Hitung (<i>Chamber</i>).....47
Gambar L.6.1	Penentuan KKM Isolat Lerak.....49
Gambar L.7.1	Penentuan KKM SDS.....55
Gambar L.8.1	Alat Tensiometer Du Nouy.....56
Gambar L.8.2	Kurva Kalibrasi Alat Tensiometer Du Nouy.....57

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Rancangan Percobaan RAK.....	14
Tabel 4.1 Nilai KKM pada Suhu 24-25° C	18
Tabel L.5.1 Data Pengukuran Oksigen Terlarut pada Inokulan (Setelah Aerasi).....	48
Tabel L.6.1 Data Pengukuran Tegangan Permukaan terhadap Konsentrasi Isolat Lerak.....	49
Tabel L.7.1 Data Pengukuran Daya Hantar terhadap Konsentrasi SDS.....	50
Tabel L.8.1 Perhitungan Data Kalibrasi Alat Tensiometer Du Nuoy.....	57
Tabel L.9.1 Perhitungan Data Tegangan Permukaan Nyata dengan Variasi Konsentrasi Isolat Lerak (Ulangan ke-1).....	59
Tabel L.9.2 Perhitungan Data Tegangan Permukaan Nyata dengan Variasi Konsentrasi Isolat Lerak (Ulangan ke-2).....	60
Tabel L.9.3 Perhitungan Data Tegangan Permukaan Nyata dengan Variasi Konsentrasi SDS (Ulangan ke-1).....	61
Tabel L.9.4 Perhitungan Data Tegangan Permukaan Nyata dengan Variasi Konsentrasi SDS (Ulangan ke-2).....	62
Tabel L.10.1 Data Penentuan KKM Isolat Lerak.....	63
Tabel L.10.2 Data Degradasi Isolat Lerak (Ulangan ke-1).....	64
Tabel L.10.3 Data Degradasi Isolat Lerak (Ulangan ke-2).....	65
Tabel L.10.4 Data Degradasi SDS (Ulangan ke-1).....	66
Tabel L.10.5 Data Degradasi SDS (Ulangan ke-2).....	67
Tabel L.11.1 Data Tegangan Permukaan Nyata Rata-rata Isolat Lerak dan SDS.....	68
Tabel L.12.1 Data % Efisiensi Degradasi Isolat Lerak.....	72
Tabel L.12.2 Data % Efisiensi Degradasi SDS.....	72

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1	Pembuatan dan Perhitungan Larutan.....33
Lampiran 2	Alur Penelitian.....38
Lampiran 3	Diagram Kerja Penelitian.....39
Lampiran 4	Perhitungan Jumlah Mikroba pada Inokulan (Setelah Aerasi) dengan Metode <i>Direct Counting</i>47
Lampiran 5	Perhitungan Kadar Oksigen Terlarut pada Inokulan (Setelah Aerasi).....48
Lampiran 6	Penentuan KKM Isolat Lerak.....49
Lampiran 7	Penentuan KKM SDS.....50
Lampiran 8	Kalibrasi Alat dan Pembuatan Kurva Kalibrasi.....56
Lampiran 9	Pengukuran dan Perhitungan Tegangan Permukaan..58
Lampiran 10	Data Lengkap.....63
Lampiran 11	Hasil Analisis RAK dan BNT 5%.....68
Lampiran 12	Perhitungan % Efisiensi Degradasi Isolat Lerak dan SDS.....72

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Surfaktan telah banyak digunakan di berbagai bidang penelitian dan teknologi, seperti di bidang farmasi, kosmetik, industri tekstil, dan bioteknologi (Hosseini, *et al.*, 2007). Penggunaan surfaktan terbesar adalah pada rumah tangga dan laundry yakni sebagai *detergen* sebesar 54% (Cameotra and Makkar, 1998). Limbah surfaktan dalam air sulit terdegradasi di lingkungan, dan akan terakumulasi serta berdampak buruk terhadap lingkungan secara langsung ataupun tidak langsung terhadap makhluk hidup dan lingkungan global.

Buah lerak merupakan salah satu sumber surfaktan alami yang disebut juga sebagai biosurfaktan. Biosurfaktan menjadi populer karena mampu menggantikan kedudukan detergen sintetis. Buah lerak banyak dipakai dalam mencuci terutama batik. Lerak termasuk famili *Sapindus* yang artinya sabun Indonesia (*sapo Indus*), karena dinding buahnya mengandung saponin (Wulan, 2007). Penelitian yang dilakukan pada tumbuhan lerak (*Sapindus rarak*) menunjukkan bahwa dari senyawa saponin, alkaloid, steroid dan triterpen masing-masing berurutan mengandung bahan aktif sebesar 12%, 1%, 0,036% dan 0,029%. (Siti, 1998). Saponin yang terdapat dalam ekstrak buah lerak merupakan detergen alami yang digunakan untuk membersihkan pakaian. Saponin aman digunakan untuk pencucian bahan-bahan yang terbuat dari sutera, wool, dan bahan kain lembut lainnya (Anonymous, 2006). Saponin dipilih sebagai surfaktan karena tidak berbahaya dan mudah terdegradasi (Park and Nam, 2005).

SDS (*sodium dodecyl sulfate*) merupakan surfaktan sintetis komersial dan banyak digunakan secara luas sebagai produk atau agen pembersih dalam rumah tangga seperti detergen, shampo, dan pasta gigi (HSDB, 2002). SDS merupakan surfaktan yang *biodegradable* karena struktur alkil sulfat dari SDS dapat didegradasi (Jerabkova, *et al.*, 1999).

Proses degradasi alami merupakan mekanisme yang sangat penting untuk menghilangkan bahan kimia berbahaya dari lingkungan (Swisher, 1987). Degradasi surfaktan biasanya dilakukan

oleh mikroba yang terdapat di alam, sehingga dalam penelitian ini digunakan mikroba campuran alam (*mixed culture*) yang diambil dari limbah laundry (berjarak 0,5 m dari *outlet*). Mikroba yang diambil dari limbah laundry akan lebih selektif dan resisten terhadap limbah detergen yang masuk ke perairan.

Proses degradasi secara aerob sering terjadi di lingkungan perairan. Keadaan aerob berlangsung jika persediaan oksigen mencukupi, biasanya terjadi di lingkungan permukaan perairan. Menurut Cserhati *et al.* (2002), tingkat biodegradasi di lingkungan perairan adalah sekitar 45-95% dalam waktu 24 jam. Oleh karena keadaan aerob ini sering terjadi di lingkungan perairan dan didukung dengan penelitian sebelumnya mengenai biodegradasi surfaktan di lingkungan perairan maka dipilih penelitian mengenai proses degradasi surfaktan secara aerob di lingkungan perairan untuk dipelajari lebih jauh.

Pola degradasi surfaktan dilihat dari parameter perubahan tegangan permukaan larutan surfaktan. Nilai KKM perlu ditentukan terlebih dahulu untuk menentukan konsentrasi yang dipakai dalam proses degradasi surfaktan. Konsentrasi surfaktan untuk proses degradasi dipilih konsentrasi yang berada di bawah KKM agar dapat dianalisa perubahan tegangan permukaannya. KKM dapat ditentukan menggunakan beberapa metode berdasarkan sifat fisiknya antara lain berdasarkan tegangan permukaan (tensiometri) dan daya hantar (konduktometri) (Ho, 2000). Pengukuran KKM diperbolehkan menggunakan kedua metode ini dan sangat dianjurkan karena diperoleh hasil pengukuran KKM yang nilainya hampir sama atau perbedaannya sangat kecil (perbedaan hanya 0,05) (Kang, *et al.*, 2001)

Proses degradasi surfaktan sangat penting untuk dipelajari karena merupakan salah satu kriteria dalam penyelamatan lingkungan. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang perbedaan pola degradasi aerob antara biosurfaktan dari buah lerak dan surfaktan sintetik SDS dan khususnya di lingkungan akuatis.

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana perbedaan pola degradasi aerob biosurfaktan dari buah lerak dan surfaktan sintetik SDS dalam media akuatis pada suhu ruang (23-26⁰ C)?

2. Berapa efisiensi degradasi (%) biosurfaktan dari buah lerak dan surfaktan sintetik SDS selama satu minggu?

1.3 Batasan Masalah

1. Lerak yang digunakan adalah lerak yang ada di pasar. Biosurfaktan diperoleh dari isolat lerak (mengandung saponin) didapatkan dengan maserasi daging buah lerak dalam aquades selama 24 jam.
2. Diasumsikan biosurfaktan aktif dalam buah lerak adalah saponin dengan prosentase 12% (Siti,1998).
3. Mikroba berupa *mixed culture* mikroorganisme yang diperoleh dari limbah laundry (berjarak 0,5 m dari *outlet*), di daerah Sumbersari, dan diinokulasikan ke dalam air pengencer.
4. Larutan surfaktan dikondisikan secara aerob yakni dengan proses pengocokan dengan *shaker* dengan kecepatan 100 rpm pada suhu ruang (23-26⁰ C).
5. Batas waktu degradasi surfaktan maksimal satu minggu.
6. Pola degradasi dilihat dari parameter perubahan tegangan permukaan (γ) larutan surfaktan.
7. Efisiensi degradasi dihitung berdasarkan data tegangan permukaan (γ) yang diperoleh sebagai prosentase (%) surfaktan yang terdegradasi di lingkungan.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mempelajari perbedaan pola degradasi aerob biosurfaktan dari buah lerak dan surfaktan sintetik SDS dalam media akuatis pada suhu ruang (23-26⁰ C).
2. Menentukan efisiensi degradasi (%) biosurfaktan dari buah lerak dan surfaktan sintetik SDS selama satu minggu.

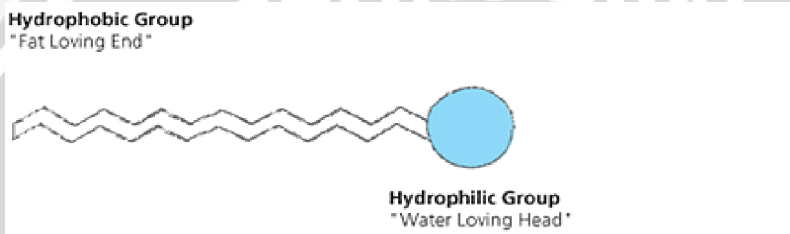
1.5 Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dalam pemilihan surfaktan yang akan digunakan, sehingga tidak menimbulkan resiko terhadap lingkungan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Surfaktan

Surfaktan adalah molekul atau ion yang teradsorpsi pada antar muka. Surfaktan memiliki "ekor" yang bersifat hidrofobik (non-polar) dan "kepala" yang bersifat hidrofil (polar) seperti tersaji pada Gambar 2.1 (Procter and Gamble,2005):



Gambar 2.1. Struktur Molekul Surfaktan

Senyawa ini sering disebut amfifil karena molekul tersebut mempunyai afinitas tertentu baik terhadap pelarut polar maupun non-polar. Amfifil dapat bersifat suka air (hidrofilik), suka minyak (hidrofobik), atau bersifat amfoter. Karena sifat inilah surfaktan mampu mengangkat kotoran (biasanya lemak) dari badan dan pakaian.

Surfaktan diklasifikasikan berdasarkan muatan pada gugus aktif permukaannya (pada gugus hidrofilnya) menjadi empat tipe utama yakni kationik, anionik, non-ionik, dan amfoterik. Surfaktan digunakan sebagai emulsifier, pendispersi, dan agen pembasah karena kemampuannya untuk menurunkan tegangan permukaan larutan (Procter and Gamble, 2005).

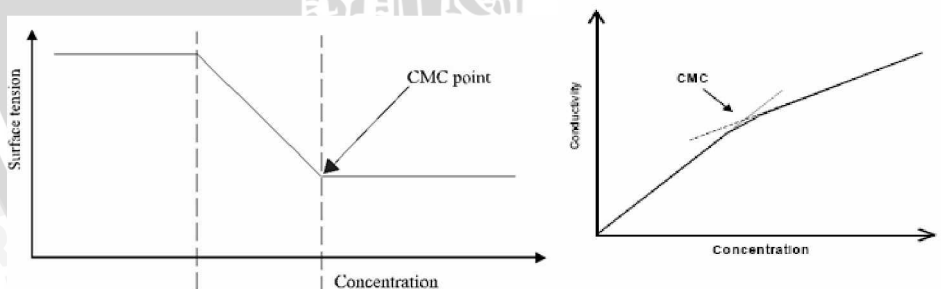
2.2 Konsentrasi Kritis Misel (KKM)

Molekul-molekul surfaktan yang saling bergabung dan berikatan pada sisi non-polar dan sisi polar menghadap air disebut sebagai misel. Keadaan saat misel mulai terbentuk disebut **Konsentrasi Kritis Misel (KKM)**. Keadaan KKM penting untuk ditentukan karena berhubungan dengan daya adsorpsi partikel atau molekul pada daerah permukaan. Pada keadaan KKM, kemampuan adsorpsi

surfaktan di permukaan hampir mencapai maksimum namun penambahan surfaktan tidak akan banyak menambah kemampuan adsorpsinya. Hal ini terlihat dari nilai tegangan permukaan yang mendekati konstan setelah melewati nilai KKM (Moules, 2005). Pada saat KKM, perubahan mendadak yang terjadi pada tegangan permukaan, konduktivitas, deterjensi, viskositas, densitas, dan tekanan osmotik dapat diamati (Margaritis, *et al.*, 1979).

Pengukuran KKM dapat dilakukan menggunakan tegangan permukaan dengan pengukuran memakai metode cincin Tensiometer Du Nuoy. Nilai KKM ditentukan dari titik belok yang tajam antara tegangan permukaan terhadap konsentrasi. Selain itu, nilai KKM dapat pula ditentukan dengan pengukuran konduktivitas dan densitas (Akbas, *et al.*, 2003). Konduktivitas menunjukkan kelinieran sebelum KKM dan cenderung konstan setelah KKM, dimana nilai KKM diperoleh dari perpotongan kedua garis. Pengukuran KKM diperbolehkan menggunakan kedua metode ini dan sangat dianjurkan karena diperoleh hasil pengukuran KKM yang nilainya hampir sama atau perbedaannya sangat kecil (perbedaan hanya 0,05) (Kang, *et al.*, 2001).

KKM dapat ditentukan menggunakan beberapa metode berdasarkan sifat fisiknya antara lain berdasarkan tegangan permukaan (tensiometri) dan daya hantar (konduktometri). Perubahan sifat fisik baik secara tegangan permukaan maupun daya hantar terhadap konsentrasi surfaktan seperti tersaji pada Gambar 2.2 (Ho, 2000):

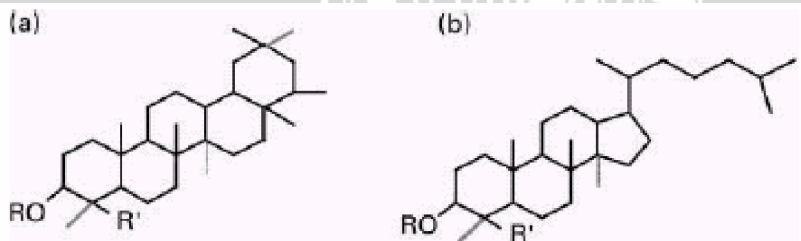


Gambar 2.2. Penentuan KKM dengan Tegangan Permukaan dan Daya Hantar

2.3 Biosurfaktan dari Buah Lerak

Biosurfaktan adalah surfaktan yang disintesis oleh suatu organisme baik hewan atau tumbuhan (Ash and Ash, 1993). Surfaktan dari tumbuhan lerak umumnya diambil pada bagian daging buahnya (Francis, *et al.*, 2005). Buah lerak memiliki aktivitas sebagai surfaktan karena mengandung surfaktan alami golongan steroid dan terpen. Tumbuhan lerak mengandung senyawa aktif berupa saponin, alkaloid, ateroid dan triterpen (Fithriyani, 1990). Penelitian yang dilakukan pada tumbuhan lerak (*Sapindus rarak*) menunjukkan bahwa dari senyawa saponin, alkaloid, ateroid dan triterpen masing-masing berurutan mengandung bahan aktif sebesar 12%, 1%, 0,036% dan 0,029%. Hasil analisis dengan Gas Kromatografi Spektrometri Massa terdeteksi beberapa senyawa. Senyawa yang teridentifikasi: Isocary ophyllen, Tridecanoic acid methyl ester, Hexadecanoic acid, Dihydro civetone, Octadecanoic acid, Lauradehyd, 1-Octadecanol, Acetic acid octadecyl ester, Stearaldehyd. Untuk senyawa alkaloid dan saponin sedang dianalisis (Siti, 1998). Kandungan surfaktan utama pada lerak adalah saponin dari golongan triterpen. Saponin dalam lerak teridentifikasi mengandung senyawa sapindosida D serta senyawa saponin E (Fithriyani, 1990).

Saponin memiliki keunggulan tidak dipengaruhi kesadahan karena bersifat *non-ionik* dan mudah larut air (Widya, 2000). Saponin dalam lerak didapatkan dalam campuran yang terdiri dua stuktur dasar yaitu triterpenoid dan steroid. Saponin triterpenoid umumnya terdapat lebih melimpah dalam tumbuhan lerak (Fenwick, *et al.*, 1991). Struktur dari saponin tersebut adalah seperti tersaji pada Gambar 2.3 (Francis, *et al.*, 2005):



R= gugus karbohidrat, sorbitol, sukrosa, atau glukosa

Gambar 2.3. Struktur Dasar Saponin Triterpenoid (a) dan Saponin Steroid (b)

Saponin memiliki sifat dan karakteristik seperti surfaktan karena terdiri dari dua komponen: komponen larut air dan komponen larut lemak. Komponen larut lemak terdiri dari struktur steroid atau triterpenoid. Komponen larut air terdiri dari satu atau lebih rantai samping karbohidrat. Gugus hidrofilik berupa gugus glikosida mengandung gugus hidroksida yang mampu berinteraksi dengan molekul air dengan gaya hidrogen. Gugus glikosida menyebabkan saponin mudah larut air (Cheeke, 2000).

Surfaktan dari lerak dapat larut dalam air, sehingga saponin dari lerak dapat didapatkan dengan perendaman dalam air. Metode lain untuk mendapatkan saponin dalam keadaan yang lebih murni adalah ekstraksi menggunakan campuran air dan butanol (Francis, *et al.*, 2005).

Saponin yang terdapat dalam ekstrak buah lerak merupakan detergen alami yang digunakan untuk membersihkan pakaian. Air bekas cucian menggunakan lerak dapat diuraikan oleh mikroorganisme sehingga jika dibuang tidak mencemari lingkungan (Wulan, 2007). Saponin dipilih sebagai surfaktan karena tidak berbahaya dan mudah terdegradasi (Park and Nam, 2005). Menurut studi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pada kondisi aerob, surfaktan non-ionik dapat terdegradasi (Mezzanotte, *et al.*, 2003).

2.4 Sodium dodecyl sulfate (SDS)

Sodium dodecyl sulfate atau SDS memiliki rumus molekul $C_{12}H_{25}NaO_4S$ atau $CH_3-(CH_2)_{11}-O-SO_3^-Na^+$. SDS merupakan surfaktan anionik (memiliki bagian aktif permukaan yang bermuatan negatif) yang memiliki struktur kimia seperti tersaji pada Gambar 2.4 (Chao, *et al.*, 2001).



Gambar 2.4. Struktur Molekul Sodium dodecyl sulfate

Molekul SDS terdiri dari dua bagian yakni bagian kepala yaitu gugus sulfat yang bersifat polar dan bagian ekor yaitu hidrokarbon yang bersifat non-polar (Chao, *et al.*, 2001). Adanya gugus sulfat inilah yang menyebabkan SDS bersifat hidrofilik yaitu dapat

berikatan dengan molekul air. Sedangkan adanya hidrokarbon menyebabkan SDS mempunyai sifat hidrofobik yaitu dapat berikatan dengan minyak (Rosen, 1978).

SDS banyak digunakan dalam proses pencucian dalam rumah tangga dan secara umum digunakan sebagai campuran dalam detergen (Cain, 1994). Menurut studi yang telah dilakukan, SDS merupakan surfaktan yang *biodegradable* karena struktur alkil sulfat dari SDS dapat didegradasi (Jerabkova, *et al.*, 1999). SDS merupakan surfaktan yang dapat terdegradasi di lingkungan air permukaan, air bawah tanah, dan sedimen. Jenis surfaktan alkil sulfat primer, seperti SDS, dapat didegradasi oleh strain *Pseudomonas sp.* (Ellis, *et al.*, 2002).

Menurut Hosseini, *et al.* (2007), *Acinetobacter johnsoni* dan *Pseudomonas betelli* dapat mendegradasi SDS dalam media pertumbuhan dari konsentrasi awal 522 mg/L dengan tingkat degradasi berturut-turut 93,6% dan 84,6% dalam 5 hari secara aerob. Sedangkan dalam 10 hari inkubasi, kedua strain tersebut dapat mendegradasi SDS berturut-turut sebesar 96,4% dan 97,2%. Studi ini juga menunjukkan bahwa *mixed culture* dengan adanya dua isolat yang berbeda tidak menyebabkan peningkatan yang berarti dalam penggunaan surfaktan oleh isolat-isolat tersebut.

Degradasi SDS diawali dengan pelepasan gugus sulfat yang dikatalisis oleh enzim alkil sulfatase yang menghasilkan alkohol bebas. Alkohol bebas dioksidasi menjadi asam laurat oleh alkohol dehidrogenase. Dalam hal ini, proses tersebut melalui jalur metabolik dari mikroorganisme yang mengandung gen pengkode protein yang penting untuk proses degradasi rantai linear hidrokarbon (C_5 - C_{10}). Pada akhirnya, asam laurat didegradasi lebih jauh melalui reaksi oksidasi-beta (Yao, 2008). Pada proses degradasi SDS, terjadi peningkatan keasaman pada medium karena perubahan struktur molekul SDS yang menghasilkan gugus sulfat (SO_4^{2-}). Kecepatan terbentuknya gugus sulfat sebanding dengan kecepatan degradasi molekul SDS (Usman, *et al.*, 2001). Aktivitas permukaan dari SDS semakin berkurang dan akhirnya hilang saat melalui jalur biodegradasi. Produk degradasi dari SDS adalah karbon dioksida dan asam lemak jenuh. Produk hasil pemecahan molekul SDS bersifat tidak berbahaya karena sifat aktif permukaannya telah hilang (Singer and Tjeerdema 1993).

2.5 Degradasi Surfaktan secara Aerob

Degradasi adalah jalur alami untuk menghilangkan senyawa kimia berbahaya di lingkungan dengan cara memecah materi tersebut menjadi nutrisi yang dapat digunakan oleh organisme hidup (Swisher, 1987). Konsentrasi surfaktan mempunyai peranan penting dalam proses degradasinya. Pada konsentrasi tinggi, surfaktan dapat menjadi sangat berbahaya bagi mikroorganisme. Konsentrasi surfaktan bergantung pada jenis surfaktan dan spesies mikroorganisme pengurai yang ada di lingkungan perairan. Sebagian besar surfaktan setelah pembilasan dapat terdegradasi, yang tergantung dari kondisi lingkungan perairan. Jika ada persediaan oksigen yang cukup di lingkungan tersebut maka proses degradasi secara aerob dapat berlangsung.

Menurut Swisher (1987), semua surfaktan dapat terdegradasi pada kondisi aerob. Hal ini berarti proses degradasi secara aerob sangat berperan penting dalam proses penghilangan komponen organik. Proses degradasi dapat dituliskan sebagai berikut (Ghazali and Ahmad, 2002):

Lingkungan Aerob

Senyawa organik + $O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + \text{Biomass} + \text{Metabolit} +$
Senyawa organik (tidak reaktif)

Detergen yang biasanya ditemukan di permukaan air sungai di Indonesia berkisar antara 0-1,24 mg/liter MBAS. Konsentrasi surfaktan yang diijinkan terdapat dalam air bersih menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 416/MenKes/PER/IX/ 1990 tanggal 3 September 1990 adalah sebesar 0,5 mg/L sebagai MBAS. Akumulasi konsentrasi detergen yang melebihi 0,5 mg/L bersifat toksik bagi berbagai organisme akuatik dan mengganggu pemanfaatan air sungai untuk berbagai kebutuhan manusia. Degradasi detergen dipengaruhi beberapa faktor yaitu struktur kimia dari detergen, mikroorganisme sebagai pengurai, dan oksigen terlarut (Terangna, 2007).

2.6 Analisis Surfaktan dengan Metode Tensiometri

Tegangan permukaan adalah sebuah fenomena yang melibatkan gaya kohesi antara molekul cairan. Molekul pada permukaan tidak mempunyai atom-atom tetangga yang sejenis di sekitarnya sehingga

terikat lebih kuat dengan molekul yang terhubung langsung dengannya di permukaan (Garrett, 1972). Tegangan permukaan adalah gaya yang diperlukan untuk meminimalkan suatu luas permukaan cairan (Ho, 2000). Tegangan permukaan dapat pula didefinisikan pengukuran energi bebas permukaan per unit luas area yang dibutuhkan membawa molekul dari fasa ruah ke permukaan. Semakin luas permukaan, maka energi yang dibutuhkan menjadi lebih besar. Untuk meminimalkan energi, sebagian besar cairan memiliki bentuk dengan luas permukaan yang kecil. Hal ini menyebabkan bentuk tetes air yang kecil berbentuk bulat dengan luas permukaan yang kecil (Rosen, 1978). Tegangan dapat pula diartikan sebagai kerja (W) yang dituliskan dalam persamaan (Garrett, 1972):

Tegangan permukaan (γ) = $W / \Delta A$
dimana ΔA adalah perubahan pada daerah permukaan. Tegangan permukaan dinyatakan dalam satuan dyne/cm.

Metode cincin Du Nuoy merupakan metode yang telah banyak digunakan untuk mengukur tegangan permukaan dan antarmuka. Metode ini mengukur jumlah energi yang dibutuhkan untuk mendorong cincin kawat platina ke antarmuka cairan-udara atau cairan-cairan. Metode ini banyak digunakan karena ketepatannya, mudah digunakan, dan pengukurannya cepat (Zawawi, 2005).

2.6 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan teoritis dapat disusun hipotesis yakni dilihat dari struktur molekulnya biosurfaktan dari buah lerak dan surfaktan sintetik SDS dapat didegradasi secara aerob dalam media akuatis oleh *mixed culture* mikroorganisme yang berasal dari limbah laundry dengan pola yang berbeda.

BAB III METODOLOGI

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kimia Fisik Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya. Waktu penelitian Maret - Agustus 2008.

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

3.2.1 Bahan kimia

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: SDS, K_2HPO_4 , KH_2PO_4 , NH_4Cl , $Na_2HPO_4 \cdot 7H_2O$, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, $CaCl_2$, $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, NaOH, H_2SO_4 , semua bahan di atas kualitas p.a kecuali akuades, kertas saring, kain kasa, dan aluminium foil.

3.2.2 Bahan penelitian

Bahan yang digunakan adalah buah lerak yang didapat dari pasar tradisional Bangil (Pandaan, Jawa Timur), sampel air (diambil dari selokan usaha laundry yang mengandung limbah detergen di daerah Summersari).

3.2.3 Alat penelitian

Alat penelitian yang digunakan dalam percobaan ini antara lain seperangkat alat gelas, neraca analitik (merk Mettler), tensiometer Du Nouy (Fisher Scientific), *shaker* (Edmund Buhler SM-25), pH meter (Orion 220A), autoclave model no 25 All American, mikroskop (Olympus), kamar hitung *Improved Neubauer* (merk assistant), alat penghitung (counter joyco), termometer, dan aerator.

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian dilakukan menggunakan metode Rancangan Acak Kelompok (RAK). Perlakuan terdiri dari dua jenis surfaktan yaitu biosurfaktan dari buah lerak dan surfaktan sintetik SDS, dengan tiga kelompok konsentrasi yaitu 500, 750, dan 1000 ppm dan masing-masing diulang sebanyak dua kali.

Tabel 3.1 Rancangan Percobaan RAK

Perlakuan	Kelompok		
	500 ppm	750 ppm	1000 ppm
Lerak	Y ₁₁₁ , Y ₁₁₂	Y ₁₂₁ , Y ₁₂₂	Y ₁₃₁ , Y ₁₃₂
SDS	Y ₂₁₁ , Y ₂₁₂	Y ₂₂₁ , Y ₂₂₂	Y ₂₃₁ , Y ₂₃₂

3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Pengambilan dan pembiakan starter mikroba
2. Penentuan KKM (Konsentrasi Kritis Misel) dari isolat lerak dan SDS
3. Preparasi larutan sampel isolat lerak dan SDS dengan variasi konsentrasi
4. Degradasi aerob larutan sampel isolat lerak dan SDS dengan pengocokan ($v = 100$ rpm) pada suhu ruang ($23-26^{\circ}\text{C}$)
5. Analisis sampel
6. Analisis data

3.5 Cara Kerja

3.5.1 Pengambilan dan Pembiakan Starter Mikroba

Sampel air limbah laundry diambil sebanyak 150 mL (berjarak 0,5 m dari *outlet*). Sampel air ditempatkan di dalam botol sampel yang telah dibilas 2x kali dengan sampel air kemudian disaring. Filtratnya diambil sebagai bibit mikroba. Air pengencer disiapkan dengan cara menambahkan larutan buffer fosfat pH = 7,2, MgSO_4 , CaCl_2 , dan FeCl_3 masing-masing sebanyak 4 mL ke dalam akuades sampai volume akhir 4 liter dan diaduk sampai homogen. Filtrat sampel air (bibit mikroba) yang sudah dinetralkan diukur sebanyak 40 mL. Filtrat sampel air diencerkan sampai volume akhir 4 liter dengan air pengencer dan diaduk sampai homogen. Hasil akhir didapatkan berupa inokulan. Inokulan yang berisi mikroba disimpan dalam botol kaca tidak tembus cahaya pada suhu ruang. Inokulan dialirkan udara dengan proses aerasi selama 24 jam. Inokulan siap digunakan. Jumlah mikroba pada inokulan dihitung dengan menggunakan mikroskop (Lampiran L.3.4). Kadar oksigen terlarut pada inokulan diukur (Lampiran L.3.5).

3.5.2 Penentuan KKM Isolat Lerak dan SDS

3.5.2.1 Penentuan KKM isolat lerak

Larutan stok isolat lerak 10000 ppm disiapkan (Lampiran L.3.6). Isolat lerak disiapkan dengan konsentrasi 0, 500, 1000, 1500, 2000, 2500, dan 3000 ppm dengan cara pengenceran larutan stok isolat lerak 10000 ppm. Isolat lerak yang telah disiapkan diukur sebanyak 20 mL dalam gelas kimia 50 mL. Masing-masing larutan diukur tegangan permukaannya dengan Tensiometer Du Nuoy. Titik KKM diperoleh dari nilai tegangan permukaan yang pertama kali konstan.

3.5.2.2 Penentuan KKM SDS

Larutan stok SDS 10000 ppm disiapkan (Lampiran L.3.7). SDS 8000 ppm disiapkan dengan cara pengenceran larutan stok SDS 10000 ppm. SDS 8000 ppm ditempatkan di dalam buret 50 mL yang telah dikondisikan. 250 mL akuades ditempatkan dalam gelas kimia 1000 mL. Elektrode konduktometer dihubungkan dengan larutan dan diposisikan sampai batang elektrode tercelup ke dalam larutan. Larutan diukur suhunya dan konduktivitasnya sambil diaduk dengan stirer. Nilai setiap penambahan 1 mL SDS 8000 ppm dicatat. Titik KKM diperoleh dari nilai konduktivitas yang pertama kali konstan atau dilihat dari nilai awal titik beloknya.

3.5.3 Preparasi Larutan Sampel Isolat Lerak dan SDS dengan Variasi Konsentrasi

3.5.3.1 Preparasi isolat lerak 500, 750, dan 1000 ppm

Dari larutan stok isolat lerak 10000 ppm (Lampiran L.3.6), dipipet larutan berturut-turut 25; 37,5; dan 50 mL dan dimasukkan masing-masing ke labu takar 500 mL. Larutan stok yang dipipet diencerkan dengan inokulan yang telah diaerasi hingga tanda batas.

3.5.3.2 Preparasi SDS 500, 750, dan 1000 ppm

Dari larutan stok SDS 10000 ppm (Lampiran L.3.7), dipipet larutan berturut-turut 25; 37,5; dan 50 mL dan dimasukkan masing-masing ke labu takar 500 mL. Larutan stok yang dipipet diencerkan dengan inokulan yang telah diaerasi hingga tanda batas.

3.5.4 Degradasi Aerob Larutan Sampel Isolat Lerak dan SDS dengan Pengocokan ($v = 100 \text{ rpm}$) pada Suhu Ruang ($23 - 26^{\circ} \text{C}$)

Larutan sampel isolat lerak dan SDS diukur sebanyak 500 mL untuk setiap konsentrasi. Larutan dipindahkan untuk setiap konsentrasi ke dalam 5 botol sampel dengan membagi larutan masing-masing 100 mL. Botol ditutup dengan kain kasa. Larutan sampel dikocok dengan *shaker* selama satu minggu dengan kecepatan 100 rpm. Suhu larutan yang terukur dicatat. Larutan sampel surfaktan diambil pada hari ke-0 (tanpa proses pengocokan), hari ke-2, ke-4, ke-6, dan ke-7. Larutan sampel surfaktan dianalisis dengan mengukur tegangan permukaannya menggunakan Tensiometer Du Nuoy.

3.5.5 Analisis Larutan Sampel

Larutan sampel isolat lerak dan SDS diukur tegangan permukaannya dengan Tensiometer Du Nouy. Suhu pengukurannya dicatat. pH diukur dengan pHmeter dan daya hantar diukur dengan konduktometer sebagai data pendukung.

3.5.6 Analisis Data

Untuk menguji ada tidaknya perbedaan antara biosurfaktan dari buah lerak dan surfaktan sintetik SDS, dengan kelompok konsentrasi berbeda (500, 750, dan 1000 ppm) dengan menggunakan analisis ragam pola rancangan acak kelompok sederhana, dengan uji F, taraf nyata 5 %, dan apabila didapatkan data yang berbeda nyata maka dilanjutkan dengan uji beda nyata terkecil 5% (BNT 0.05). Data yang diperoleh merupakan data tegangan permukaan larutan surfaktan pada selang waktu yang telah ditentukan dengan waktu sebelumnya. Analisis data tersebut dilakukan setiap periode pengamatan (hari ke-0, 2, 4, 6, dan 7).

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembiakan Starter Mikroba dalam Air Pengencer

Dalam setiap proses degradasi surfaktan hampir selalu melibatkan mikroba di dalamnya. Pada penelitian ini, digunakan mikroba campuran alam (*mixed culture*) yang berasal dari limbah laundry (berjarak 0,5 m dari *outlet*). Pembiakan mikroba dilakukan dalam media cair berupa air pengencer yang berisi nutrisi buffer fosfat dan beberapa *trace element*. Mikroba dibiakkan dengan proses aerasi ke dalam air pengencer pada suhu ruang agar mikroba aerob dapat berkembang biak. Wadah yang digunakan harus tidak tembus cahaya untuk mencegah terjadinya nitrifikasi. Setelah proses aerasi, air pengencer berisi biakan mikroba siap dipakai untuk proses degradasi.

Adapun jumlah mikroba rata-rata yang terdapat dalam media air pengencer ini adalah $4,45 \cdot 10^6$ sel/mL sampel (Lampiran 4). Perhitungan jumlah mikroba perlu dilakukan sebagai data pendukung agar diketahui jumlah mikroba yang dipakai dalam proses degradasi surfaktan. Hasil pengukuran nilai oksigen terlarut rata-rata dari air pengencer yang telah diaerasi adalah 8,374 mg O₂/liter (Lampiran 5), yang menunjukkan bahwa proses ini berlangsung secara aerob.

4.2 Penentuan KKM Isolat Lerak dan SDS

Surfaktan merupakan zat yang aktif di permukaan. Surfaktan bersifat stabil di permukaan dengan sisi hidrofilik mengarah ke fasa cairan dan sisi hidrofobik mengarah ke fasa gas. Adanya surfaktan meningkatkan energi bebas permukaan karena kerja untuk membawa molekul surfaktan ke permukaan menjadi lebih kecil.

Penambahan surfaktan mengakibatkan gaya di dalam cairan menjadi tidak seimbang, karena surfaktan memiliki gugus hidrofobik berupa rantai hidrokarbon yang panjang. Gugus hidrofobik dalam air menyebabkan distorsi molekul air, sehingga molekul surfaktan akan mengorientasikan gugus hidrofobiknya sejauh-jauhnya dari air dan cenderung terorientasi ke permukaan. Jumlah surfaktan di daerah permukaan bertambah dan mensubstitusi molekul air di permukaan,

sehingga gaya kohesi molekul air di permukaan menjadi lebih kecil dan tegangan permukaan menurun.

Penambahan surfaktan mempengaruhi tegangan permukaan air karena jumlah surfaktan yang teradsorpsi di permukaan menjadi bertambah. Pada saat surfaktan mencapai titik kritis, penambahan surfaktan selanjutnya tidak akan mampu menurunkan tegangan permukaan karena surfaktan tidak dapat diadsorpsi lagi di permukaan. Surfaktan cenderung menggerombol dengan mengorientasikan gugus non-polarnya menjauhi air sedangkan gugus polarnya menuju ke air dan membentuk misel. Keadaan misel pertama kali terbentuk disebut Konsentrasi Kritis Misel (KKM). Saat mencapai KKM, nilai tegangan permukaan larutan hanya sedikit mengalami penurunan atau cenderung konstan.

KKM dapat ditentukan menggunakan beberapa metode berdasarkan sifat fisiknya antara lain berdasarkan tegangan permukaan (tensiometri) dan daya hantar (konduktometri) (Ho, 2000). Penentuan KKM secara tensiometri maupun konduktometri memberikan nilai KKM yang hampir sama atau perbedaannya sangat kecil (perbedaan hanya 0,05), yang dibuktikan oleh penelitian dari Kang, *et al.* (2001). Pemilihan metode pengukuran KKM ditinjau dari karakteristik bahan, isolat lerak mengandung surfaktan yang bersifat non-ionik sehingga dapat digunakan metode tensiometri dalam menentukan KKM. Sedangkan SDS merupakan jenis surfaktan anionik sehingga penentuan KKM dapat digunakan metode konduktometri. Penambahan SDS terus menerus akan menaikkan daya hantar karena terjadi peningkatan jumlah ion-ion dalam larutan ($\text{Na}^+(\text{aq})$ dan $^-\text{OSO}_3\text{C}_{12}\text{H}_{25}(\text{aq})$). Saat mencapai KKM, monomer-monomer surfaktan bergabung membentuk misel. Misel memiliki mobilitas lebih rendah dan kurang efektif dalam membawa muatan, sehingga daya hantar cenderung konstan atau hanya mengalami kenaikan yang kecil

Nilai KKM isolat lerak dan SDS yang diperoleh dari hasil pengukuran (Lampiran 6 dan 7) ditampilkan pada Tabel 4.1.

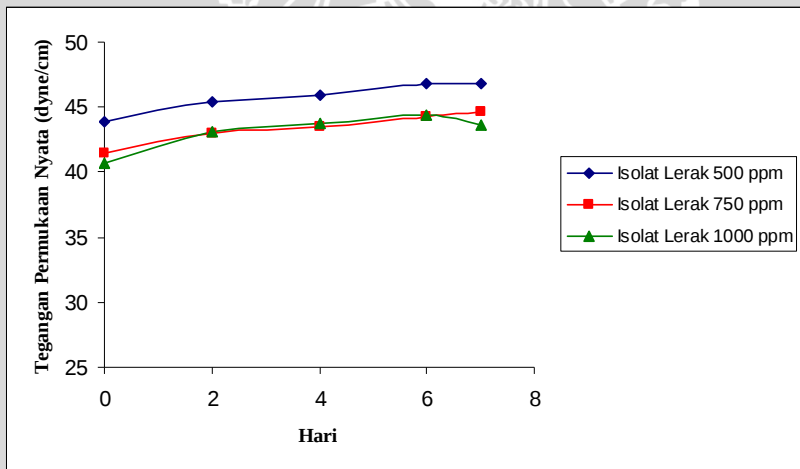
Tabel 4.1 Nilai KKM pada Suhu 24-25° C

Jenis Surfaktan	Titik KKM
Isolat Lerak	1300 ppm
SDS	2300 ppm

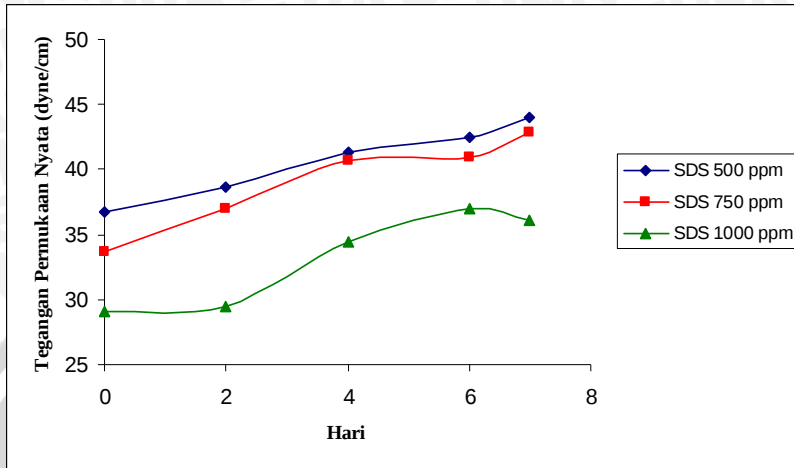
Penentuan KKM dilakukan untuk menentukan konsentrasi yang akan dipakai dalam proses degradasi surfaktan. Konsentrasi surfaktan untuk proses degradasi dipilih konsentrasi yang berada di bawah KKM. Analisis dilakukan menggunakan tegangan permukaan sehingga kenaikan atau penurunan tegangan permukaan terlihat lebih jelas jika pengukuran dilakukan pada konsentrasi di bawah KKM. Jika digunakan konsentrasi di atas KKM maka cukup sulit untuk menganalisa perubahannya karena kenaikan tegangan permukaan hampir konstan.

4.3 Degradasi Aerob Larutan Sampel Isolat Lerak dan SDS dengan Pengocokan ($v = 100$ rpm) pada Suhu Ruang ($23 - 26^{\circ}\text{C}$)

Data tegangan permukaan yang diperoleh dari proses degradasi isolat lerak dan SDS selama satu minggu ditampilkan pada Gambar 4.1 dan 4.2.



Gambar 4.1 Pengaruh Variasi Konsentrasi Isolat Lerak dan Waktu Degradasi terhadap Tegangan Permukaan Nyata



Gambar 4.2 Pengaruh Variasi Konsentrasi SDS dan Waktu Degradasi terhadap Tegangan Permukaan Nyata

Pola degradasi surfaktan dilihat dari perubahan nilai tegangan permukaan. Grafik 4.1 dan 4.2 memperlihatkan tegangan permukaan semakin hari semakin meningkat, artinya semakin sedikit jumlah surfaktan yang teradsorpsi di permukaan. Hal ini menunjukkan bahwa degradasi surfaktan terjadi seiring dengan naiknya tegangan permukaan.

Kedua grafik memperlihatkan pola degradasi yang berbeda. Pada isolat lerak (Gambar 4.1), kenaikan tegangan permukaan sebelum hari ke-2 lebih besar dibandingkan hari-hari berikutnya. Saponin lerak memiliki gugus glikosida (sisi hidrofilik) dan gugus triterpenoid (sisi hidrofobik). Gugus glikosida akan dipecah terlebih dahulu oleh mikroba. Gugus glikosida lebih mudah dipecah oleh mikroba karena karbohidrat merupakan sumber nutrisi yang dibutuhkan oleh mikroba. Dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa telah terjadi pemecahan gugus glikosida pada lerak, sehingga degradasi pada isolat lerak sebelum hari ke-2 berlangsung efektif. Setelah hari ke-2, kenaikan tegangan permukaan lebih kecil dibandingkan hari sebelumnya. Gugus triterpenoid pada saponin lerak yang berupa rantai siklis lebih sulit dipecah oleh mikroba karena memiliki struktur yang lebih kompleks dan stabil. Pemecahan gugus triterpenoid lerak kurang efektif, sehingga proses degradasi

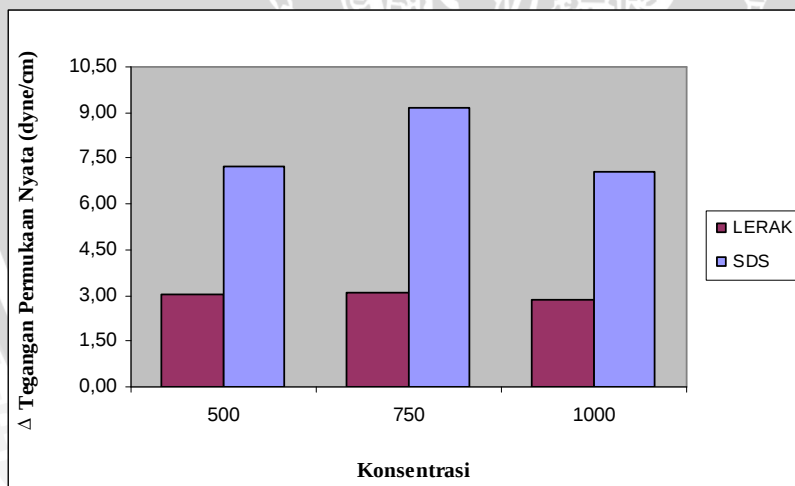
isolat lerak menjadi kurang efektif setelah hari ke-2 (hari ke-4, ke-6, dan ke-7).

Pada SDS (Gambar 4.2), kenaikan tegangan permukaan sebelum hari ke-4 lebih besar dibandingkan hari-hari berikutnya. SDS memiliki struktur molekul berupa rantai hidrokarbon linear $C_{12}H_{25}$ (sisi hidrofobik) dan gugus NaO_4S (sisi hidrofilik). Rantai linear SDS lebih mudah dipecah oleh mikroba. Pemecahan rantai SDS oleh mikroba diawali dengan lepasnya gugus sulfat kemudian dilanjutkan dengan pemendekan rantai linear. Dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa pemecahan rantai SDS efektif, sehingga proses degradasi SDS berlangsung efektif sebelum hari ke-4. Tetapi pada konsentrasi SDS 1000 ppm, kenaikan tegangan permukaan sebelum hari ke-2 lebih kecil dibandingkan hari-hari berikutnya. Konsentrasi SDS 1000 ppm merupakan konsentrasi surfaktan yang cukup besar. Mikroba memerlukan adaptasi yang lebih tinggi terhadap sejumlah besar surfaktan yang tersedia di hari-hari awal degradasi. Jumlah surfaktan yang besar merupakan salah satu faktor yang menyebabkan dinding sel sejumlah mikroba menjadi lisis dan akhirnya diikuti dengan kematian. Oleh karena itu, tegangan permukaan hanya mengalami sedikit kenaikan dan proses degradasi berlangsung kurang efektif. Setelah hari ke-2, mikroba telah resisten dengan surfaktan yang ada, sehingga proses degradasi SDS oleh mikroba berlangsung efektif. Hal ini ditunjukkan dengan kenaikan tegangan permukaan yang lebih besar dibandingkan sebelum hari ke-2. Tegangan permukaan terus mengalami kenaikan setelah hari ke-4 (hari ke-6 dan ke-7) yang menunjukkan bahwa proses degradasi SDS terus berlangsung.

Fenomena yang sama terjadi pada isolat lerak dan SDS dengan konsentrasi 1000 ppm. Setelah hari ke-6, tegangan permukaan menurun disebabkan sejumlah besar surfaktan yang tersedia sebagai nutrisi bagi mikroba tidak terolah sempurna, bahkan sisa-sisa surfaktan dapat menjadi racun bagi sebagian mikroba. Keadaan ini dapat melisis dinding sel mikroba dan menyebabkan kematian. Fosfolipid merupakan lipid struktural yang terdapat pada membran (Murray, *et al.*, 1990). Membran yang terdapat pada dinding sel mikroba mengandung fosfolipid, sehingga saat dinding sel lisis menghasilkan fosfolipid yang bersifat sebagai emulsifier dan dapat memodifikasi tegangan permukaan seperti halnya surfaktan. Hal ini yang menyebabkan turunnya tegangan permukaan.

Data tegangan permukaan yang diperoleh diuji secara statistik menggunakan RAK dengan uji F, taraf nyata 5 % (Lampiran 11). Hasil uji memperlihatkan bahwa pada hari ke-0 tegangan permukaan antara isolat lerak dan SDS berbeda nyata. Penambahan lerak dan SDS berbeda dalam kemampuannya menurunkan tegangan permukaan. Lerak mengalami penurunan tegangan permukaan lebih kecil dibandingkan SDS. Bila dibandingkan antar konsentrasi, maka tegangan permukaan isolat lerak dan SDS tidak berbeda nyata. Hal ini disebabkan penggunaan konsentrasi larutan surfaktan dengan variasi yang sama antara isolat lerak dan SDS dan kisaran konsentrasinya tidak terlalu jauh. Pada hari-hari berikutnya, hasil uji menunjukkan tegangan permukaan antara isolat lerak dan SDS maupun antar konsentrasinya tidak berbeda nyata. Selama proses degradasi, tegangan permukaan isolat lerak dan SDS mengalami peningkatan yang kecil dari waktu ke waktu, sehingga secara statistik terlihat tidak berbeda. Meskipun demikian, terjadi kenaikan tegangan permukaan yang artinya proses degradasi telah berlangsung.

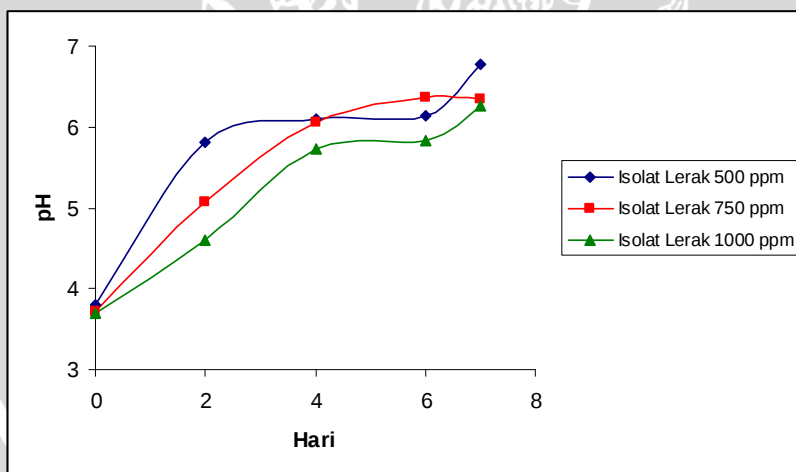
Perubahan tegangan permukaan isolat lerak dan SDS untuk setiap konsentrasi setelah proses degradasi selama satu minggu dapat dilihat dalam histogram yang ditampilkan pada Gambar 4.3.



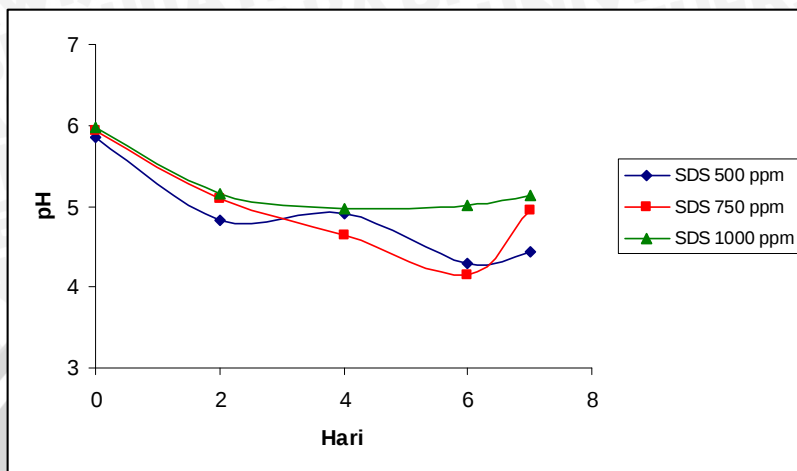
Gambar 4.3 Hubungan antara Perubahan Tegangan Permukaan Nyata terhadap Konsentrasi Isolat Lerak dan SDS Setelah Proses Degradasi selama Satu Minggu

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa selama satu minggu isolat lerak mengalami kenaikan tegangan permukaan yang lebih kecil daripada SDS. Dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa degradasi lerak kurang efektif dibandingkan dengan SDS. Struktur molekul lerak lebih sulit dipecah oleh mikroba dibandingkan dengan SDS. Saponin lerak memiliki struktur yang lebih kompleks dan stabil berupa gugus triterpenoid (sisi hidrofobik). Adanya gugus hidrofobik yang berupa rantai siklis menyebabkan diperlukannya waktu yang lebih lama untuk memecah strukturnya. Sedangkan SDS memiliki struktur molekul berupa rantai hidrokarbon linear yang lebih mudah untuk dipecah oleh mikroba. Selain itu, faktor lain yang menyebabkan degradasi lerak kurang efektif dibandingkan dengan SDS adalah jenis mikroba yang digunakan dalam proses degradasi. Mikroba yang digunakan berasal dari limbah laundry yang lebih selektif terhadap SDS, sehingga pertumbuhannya optimum di dalam medium yang mengandung SDS.

Selain dilihat dari kenaikan tegangan permukaan, degradasi surfaktan dapat dilihat dari perubahan nilai pH yang ditampilkan pada Gambar 4.4 dan 4.5.



Gambar 4.4 Perubahan nilai pH dengan Variasi Konsentrasi Isolat Lerak terhadap Waktu Degradasi



Gambar 4.5 Perubahan nilai pH dengan Variasi Konsentrasi SDS terhadap Waktu Degradasi

Berdasarkan data pH yang diperoleh (Gambar 4.4 dan 4.5) dapat dijelaskan bahwa pH awal lerak yang bersifat asam merupakan penyebab lambatnya degradasi lerak. Umumnya mikroba menyukai pH netral dan tidak aktif pada kondisi asam ($\text{pH} < 5$). pH isolat lerak yang awalnya asam, dari hari ke hari semakin basa. Dalam hal ini telah terjadi perubahan zat-zat yang terdapat dalam lerak dan zat-zat lain didalamnya. Perubahan pH menunjukkan telah terjadi proses degradasi pada lerak yang secara kuat didukung dengan kenaikan tegangan permukaan isolat lerak. Sedangkan pada SDS, pH berubah menjadi semakin asam. pH asam menunjukkan telah terjadi perubahan struktur pada molekul SDS dan menghasilkan produk yang bersifat asam. Menurut Usman, *et al.* (2001), pada proses degradasi SDS, terjadi peningkatan keasaman pada medium karena perubahan struktur molekul SDS yang menghasilkan gugus sulfat (SO_4^{2-}). Kecepatan terbentuknya gugus sulfat sebanding dengan kecepatan degradasi molekul SDS.

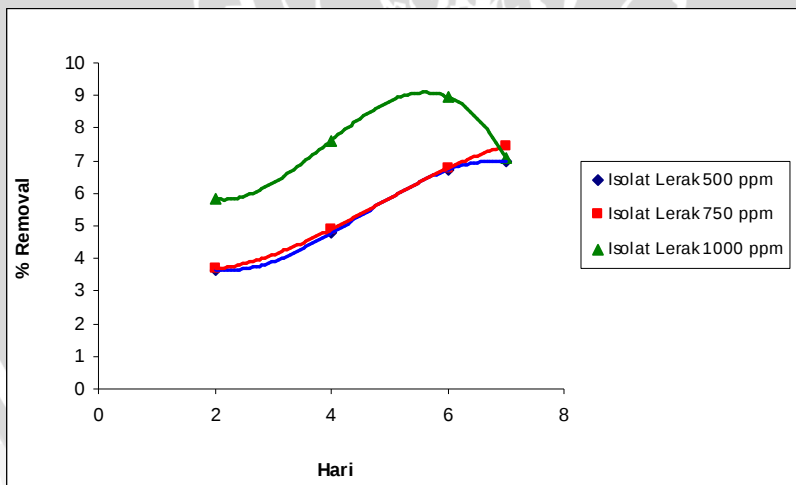
Data daya hantar yang diperoleh selama proses degradasi tidak dapat dijelaskan dalam penelitian ini karena dihasilkan nilai yang bervariasi. Hal ini diasumsikan karena hasil pecahan molekul surfaktan menghasilkan produk yang bermacam-macam (tidak

dibahas dalam penelitian ini) yang dimungkinkan menjadi penyebab bervariasinya nilai daya hantar yang diperoleh.

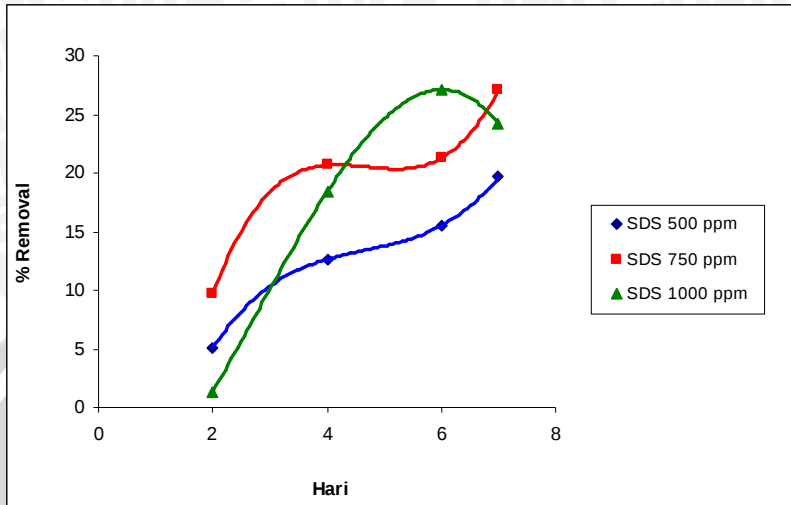
Mekanisme degradasi surfaktan oleh mikroba yakni mikroba menguraikan surfaktan dengan memecah molekul surfaktan. Kemudian diolah menjadi nutrisi yang digunakan untuk metabolisme mikroba, sehingga menghasilkan energi dan CO_2 (jika kondisi oksigen mencukupi atau proses berlangsung *aerob*). Dengan demikian, proses degradasi oleh mikroba sangat penting untuk penghilangan komponen organik (surfaktan) di lingkungan.

Efisiensi degradasi adalah prosentase surfaktan yang terdegradasi di lingkungan (pada penelitian ini ditentukan secara tidak langsung dari nilai tegangan permukaan). Berdasarkan hasil perhitungan (Lampiran 12), didapatkan efisiensi degradasi isolat lerak dengan konsentrasi 500, 750, dan 1000 ppm berturut-turut adalah 6,96%, 7,46%, dan 7,08%. Sedangkan efisiensi degradasi SDS dengan konsentrasi 500, 750, dan 1000 ppm berturut-turut adalah 19,65%, 27,14%, dan 24,21%. Efisiensi degradasi terbesar pada konsentrasi SDS 750 ppm. Dari hasil ini disimpulkan persen *removal* lerak di alam kurang efektif dibandingkan dengan SDS.

Efisiensi degradasi dari isolat lerak dan SDS selama tujuh hari ditampilkan pada Gambar 4.6 dan 4.7.



Gambar 4.6 % Efisiensi Degradasi Isolat Lerak



Gambar 4.7 % Efisiensi Degradasi SDS

Gambar 4.6 dan 4.7 identik dengan kurva pertumbuhan mikroba. Pada konsentrasi 500 dan 750 ppm, ada kecenderungan peningkatan degradasi surfaktan yang diasumsikan sebanding dengan pertumbuhan mikroba. Akan tetapi, pada konsentrasi 1000 ppm mengalami pembelokan setelah hari ke-6. Hal ini diasumsikan karena pertumbuhan mikroba telah mencapai jumlah maksimum, sehingga pertumbuhan mikroba menurun dan akhirnya terhenti, yang diikuti dengan kematian mikroba. Kematian menyebabkan penurunan persen *removal* surfaktan.

Penelitian ini membuktikan bahwa bila limbah lerak masuk ke perairan lebih sulit didegradasi dibandingkan limbah SDS, karena *mixed culture* yang ada di perairan umumnya didominasi dengan kultur yang lebih selektif terhadap SDS. Selain itu, disimpulkan bahwa efisiensi degradasi isolat lerak dan SDS masih cukup kecil disebabkan penggunaan mikroba yang berasal dari campuran alam. Penelitian selanjutnya masih perlu dilakukan untuk mendapatkan efisiensi degradasi yang lebih besar dengan menggunakan mikroba yang selektif.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan antara lain:

1. Pola degradasi lerak berbeda dengan SDS. Degradasi lerak kurang efektif dibandingkan dengan SDS. Proses degradasi optimal pada konsentrasi SDS 750 ppm dengan kenaikan tegangan permukaan sebesar 9,16 dyne/cm.
2. Efisiensi degradasi isolat lerak dan SDS optimal pada konsentrasi yang sama yaitu 750 ppm dengan nilai berturut-turut 7,46% dan 27,14%. Persen *removal* lerak di alam kurang efektif dibandingkan dengan SDS.

4.1 Saran

Penelitian selanjutnya masih perlu dilakukan untuk menentukan:

1. Perubahan konsentrasi surfaktan secara kuantitatif terhadap waktu dan produk-produk degradasinya.
2. Nilai efisiensi degradasi yang lebih tinggi dapat diperoleh dengan menggunakan mikroba selektif dan dilihat lama waktu degradasinya agar dapat diperoleh efisiensi degradasi >90%.
3. Perlakuan pendahuluan atau modifikasi khusus pada lerak yang dilakukan sebelum dipakai sebagai surfaktan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbas, H., Sidim, T., and Iscan, M., 2003, **Effect of Polyoxyethylene Chain Length and Electrolyte on the Viscosity of Mixed Micelles**, Turk J Chem, 27, pp 357-363
- Anonymous, 2006, **Sapindus**, <http://www.en.wikipedia.org/wiki/Sapindus>, diakses tanggal 1 September 2007
- Ash, M., and Ash, I., 1993, **Handbook of Industrial Surfactant**, www.ubs.cas.psu.edu/FreePubs/pdfs/40202.pdf, diakses tanggal 1 September 2007
- Cain, R.B., 1994, **Biodegradation of Detergents**, Current Opinion in Biotechnology 5, pp 266-274
- Cameotra, S.S and Makkar, R.S., 1998, **Synthesis of Biosurfactants in Extreme Conditions**, Applied Microbiology Biotechnology, 50, 520-529
- Chao, K., Davis, J., Denkenberger, D., and Jhon, M., 2001, **Interfacial Physics: Contact Angle of Surfactant Solutions on a Rain – X Coated Substrate**, www.pgss.msc.cmu.edu/publications/volume15/RainX.pdf, diakses tanggal 1 September 2007
- Cheeke, P.R., 2000, **Actual and Potential Applications of Yucca Schidigera and Quillaja Saponaria Saponins in Human and Animal Nutrition**, <http://jas.fass.org/cgi/reprint/77/E-Suppl/1h.pdf>, diakses tanggal 1 September 2007
- Cserhati, T., Forgacs, E., and Oros, G., 2002, **Biological Activity and Environmental Impact of Anionic Surfactants**, Environment International, pp 337-348
- Ellis, A.J., Hales, S.G., Ur-Rehman, N.G.A., and White G.F., 2002, **Novel Alkylsulfates Required for Biodegradation of the Branched Primary Alkyl Sulfate Surfactant 2-Butyloctyl**

Sulfate, <http://aem.asm.org/cgi/reprint/68/1/31.pdf>, diakses tanggal 1 September 2007

Fenwick, G.R., Price, K.R., Tsukamoto, C., and Okubo, K., 1991, **Saponins: In Saponins in Toxic Substances in Crop Plants**, The Royal Society of Chemistry, Cambridge

Fithriyani, K., 1990, **Isolasi dan Identifikasi Glikosida D dari Ekstrak Metanol Daging Buah Lerak (*Sapindus rarak D.C*)**, Penelitian Tanaman Obat di Beberapa Perguruan Tinggi di Indonesia, Departemen Kesehatan RI, Jakarta, hal 158-159

Francis, G., Kerem, Z., Makkar, H.P.S., and Becker, K., 2005, **The Biological Action of Saponins in Animal Systems: A Review**, http://www.iaea.org/programmes/nafa/_d3/public/saponin-03bjn.pdf, diakses tanggal 1 September 2007

Garrett, H.E., 1972, **Surface Active Chemicals**, Oxford: Pergamon Press Ltd., 1-60

Ghazali, R., and Ahmad, S., 2002, **Biodegradation Testing Services**, <http://palmoilis.mpob.gov.my/publications/TOT/tt144.pdf>, diakses tanggal 1 September 2007

Greenberg, A. E., Clescerl, L. S., and Eaton, A.D., 1992, **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 18th Edition, American Public Health Association, Washington

Ho, T.T.L., 2000, **Formulating Detergents and Personal Care Product**, AOCS Press, New York, 39-47, 61, 115-117

Hosseini, F., Malekzadeh, F., Amirmozafari, N., and Ghaemi, N., 2007, **Biodegradation of Anionic Surfactants by Isolated Bacteria From Activated Sludge**, <http://www.bioline.org.br/request?st07016>, diakses tanggal 1 September 2007

HSDB, 2002, **Sodium Lauryl Sulfate**, <http://toxnet.nlm.nih.gov/>, diakses tanggal 14 Februari 2008

Jerabkova, H., Kralova, B., and Nahlik, J., 1999, **Biofilm of *Pseudomonas C12b* on Glass Support as Catalytic Agent for Continuous SDS Removal**, http://www.vscht.cz/ipl/osobni/nahlik/fulltext_pdf/jerabkova.pdf, diakses tanggal 1 September 2007

Kang, K.H., Kim, H.U., Lim, K.H., and Jeong, N.H., 2001, **Mixed Micellization of Anionic Ammonium Dodecyl Sulfate and Cationic Octadecyl Trimethyl Ammonium Chloride**, Bull Korean Chem Soc., Vol. 22, No.9, pp 1009-1014

Margaritis, A., Zajic, J.E. and Gerson, D.F., 1979, **Production and Surfaceactive Properties of Microbial Surfactants**, *Biotechnology Bioengineering*, **21**, 1151-1162

Mezzanotte, V., Castiglioni, F., and Pavan T.M., 2003, **Study on Anaerobic and Aerobic Degradation of Different Non-Ionic surfactant**, *Bioresource Technol*, pp 87-91

Moules, C., 2005, **The Role of Interfacial Tension Measurement in the Oil Industry**, [www.camtel.demonweb.co.uk/files/AP011 .pdf](http://www.camtel.demonweb.co.uk/files/AP011.pdf), diakses tanggal 14 Februari 2008

Murray, R.K., Granner, D.K., Mayes, P.A., and Rodwell, V.W., 1990, **Biokimia Harper**, diterjemahkan oleh Hartono A., Penerbit Buku Kedokteran EGC, Jakarta

Park, J.Y., and Nam, K., 2005, **Development of Multifunctional Colloidal Gas Aphron and Its Applicability on Btex-Contaminated Subsurface Remediation**, *Journal of International Symposium on Soil & Groundwater Environment*, Korea

Procter and Gamble, 2005, **Surfactant**, [http://www.surfactant/surfactants en. html](http://www.surfactant/surfactants_en.html), diakses tanggal 16 Nopember 2007

Rosen, M. J., 1978, **Surfactant and Interfacial Phenomena**, John Wiley and Sons Inc., Toronto

- Siti, N., 1998, **Penggunaan Buah Lerak Sapindus Rarak De Candole Sebagai Insektisida**, http://digilib.litbang.depkes.go.id/go.php?id=jkpkbppk-gdl-res19_98-nunik-1127-lerak, diakses tanggal 19 Desember 2007
- Singer, M.M., and Tjeerdema, R.S., 1993, **Fate and Effects of the Surfactant Sodium Dodecyl Sulfate**, Reviews in Environmental Contamination and Toxicology, pp 95-149
- Swisher, R.D., 1987, **Surfactant Biodegradation**, Surfactant Science Series, Volume 18, Marcel Dekker Inc., New York
- Terangna, N., 2007, **Peranan Mikroorganisme Aerob pada Penguraian Deterjen dalam Air**, <http://pustaka.pu.go.id/katalog/detail.asp?id=PUSSDA002051&start=216&judulTxtpenulisTxt=&tahunTxt=&lokasiTxt=&penulis=TERANGA,%20NANA&searchTxt=&cariBtn=CARI>, diakses tanggal 16 Nopember 2007
- Usman, K., Adesina A. A., Lucien, F. P., and Waite, T. D., 2001, **Kinetics of the Autoxidation of Sodium Dodecyl Sulfate Catalyzed by Alumina-Supported Co-Zn Composite**, <http://pubs.acs.org/cgi-bin/abstract.cgi/iecred/2001/40/i23/abs/ie001007s.html>, diakses tanggal 14 Februari 2008
- Widya, S.E, 2000, **Isolasi Saponin dari Buah Lerak (*Sapindus rarak*) Sebagai Bahan Baku Utama Shampo**, Skripsi Departemen Kimia Farmasi, Institut Pertanian Bogor
- Wulan, R., 2007, **Lerak: Mencuci Bersih Tanpa Mencemari**, http://www.bplhdjabar.go.id/article.cfm?doc_id=224, diakses tanggal 20 Nopember 2007
- Yao, G., 2008, **Dodecyl Sulfate Pathway Map**, http://umbbd.msi.umn.edu/dds/dds_map.html, diakses tanggal 14 Februari 2008
- Zawawi, R. B. M., 2005, **Production of Biosurfactant by Locally Isolated Bacteria from Petrochemical Waste**, Thesis of Faculty of Science, Universiti Teknologi Malaysia

LAMPIRAN

Lampiran 1. Pembuatan dan Perhitungan Larutan

L.1.1 Pembuatan larutan H_2SO_4 1 M

Dihitung konsentrasi H_2SO_4 pekat:

$$M = \frac{BJ}{BM} \times \% \times 1000$$

BM

$$= \frac{1,84 \text{ kg/L}}{98,08 \text{ g/mol}} \times 0,96 \times 1000$$

$$= 18,00 \text{ M}$$

Volume H_2SO_4 pekat yang dipipet:

$$V_1 M_1 = V_2 M_2$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 1 \text{ M}}{18 \text{ M}}$$

$$V_1 = 5,56 \text{ mL}$$

Dimasukkan dalam labu takar 100 mL yang telah diisi akuades 50 mL, kemudian diencerkan dengan akuades sampai tanda batas.

L.1.2 Pembuatan larutan NaOH 1 M

Untuk membuat NaOH 1 M maka massa NaOH yang ditimbang:

$$\text{Massa NaOH} = \text{mol} \times \text{Mr}$$

$$= V \times M \times \text{Mr}$$

$$= 100 \text{ mL} \times 1 \text{ M} \times 40 \text{ mg/mmol}$$

$$= 4000 \text{ mg}$$

$$= 4,000 \text{ g}$$

Kemudian dilarutkan dengan akuades dalam gelas kimia 250 mL. Dipindahkan ke dalam labu takar 100 mL dan diencerkan sampai tanda batas.

L.1.3 Pembuatan buffer fosfat (pH = 7,2)

Ditimbang 0,85 g K_2HPO_4 ; 2,175 g KH_2PO_4 ; 0,17 g NH_4Cl ; dan 3,34 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Kemudian dilarutkan dengan akuades dalam gelas kimia 250 mL. Dipindahkan ke dalam labu takar 100 mL dan diencerkan sampai tanda batas.

L.1.4 Pembuatan reagen MgSO_4 0,1 M

Untuk membuat $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,1 M maka massa $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ yang ditimbang:

$$\begin{aligned}\text{Massa } \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} &= \text{mol} \times \text{Mr} \\ &= V \times M \times \text{Mr} \\ &= 100 \text{ mL} \times 0,1 \text{ M} \times 246 \text{ mg/mmol} \\ &= 2460 \text{ mg} \\ &= 2,460 \text{ g}\end{aligned}$$

Kemudian dilarutkan dengan akuades dalam gelas kimia 250 mL. Dipindahkan ke dalam labu takar 100 mL dan diencerkan sampai tanda batas.

L.1.5 Pembuatan reagen CaCl_2 0,25 M

Untuk membuat CaCl_2 0,25 M maka massa CaCl_2 yang ditimbang:

$$\begin{aligned}\text{Massa } \text{CaCl}_2 &= \text{mol} \times \text{Mr} \\ &= V \times M \times \text{Mr} \\ &= 100 \text{ mL} \times 0,25 \text{ M} \times 111 \text{ mg/mmol} \\ &= 2775 \text{ mg} \\ &= 2,775 \text{ g}\end{aligned}$$

Kemudian dilarutkan dengan akuades dalam gelas kimia 250 mL. Dipindahkan ke dalam labu takar 100 mL dan diencerkan sampai tanda batas.

L.1.6 Pembuatan reagen FeCl_3 0,001 M

Untuk membuat $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0,001 M maka massa $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang ditimbang:

$$\begin{aligned}\text{Massa } \text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} &= \text{mol} \times \text{Mr} \\ &= V \times M \times \text{Mr} \\ &= 100 \text{ mL} \times 0,001 \text{ M} \times 270,5 \text{ mg/mmol} \\ &= 27050 \text{ mg} \\ &= 0,027 \text{ g}\end{aligned}$$

Kemudian dilarutkan dengan akuades dalam gelas kimia 250 mL. Dipindahkan ke dalam labu takar 100 mL dan diencerkan sampai tanda batas.

L.1.7 Pembuatan reagen MnSO_4

Konsentrasi larutan MnSO_4 yang dibuat:

$$\begin{aligned} [\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}] &= \frac{\text{massa}}{V \times M_r} \\ &= \frac{48 \text{ g}}{0,1 \text{ L} \times 223 \text{ g/mol}} \\ &= 2,15 \text{ M} \end{aligned}$$

$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan dengan akuades dalam gelas kimia 250 mL. Dipindahkan ke dalam labu takar 100 mL dan diencerkan sampai tanda batas.

L.1.8 Pembuatan reagen Alkali-Iodida-Azida

Ditimbang 50 g NaOH, 15 g KI, dan 1 g NaN_3 . Dilarutkan dengan akuades dalam gelas kimia 250 mL. Dipindahkan ke dalam labu takar 100 mL dan diencerkan sampai tanda batas. Didinginkan.

L.1.9 Pembuatan indikator amilum 0,5%

Ditimbang 0,5 g kanji. Dilarutkan dengan akuades dalam gelas kimia 250 mL. Diawetkan dengan penambahan 0,152 g asam salisilat. Dipindahkan ke dalam labu takar 100 mL dan diencerkan sampai tanda batas. Dididihkan selama 2 menit hingga larutan jernih. Didinginkan.

L.1.10 Pembuatan reagen tiosulfat 0.1 N

Ditimbang 2,482 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Kemudian dilarutkan dengan akuades dalam gelas kimia 250 mL. Diawetkan dengan penambahan 0,1 g NaOH. Dipindahkan ke dalam labu takar 100 mL dan diencerkan sampai tanda batas.

L.1.11 Pembuatan larutan stok isolat lerak 10000 ppm

Untuk membuat larutan stok isolat lerak 10000 ppm maka buah lerak yang ditimbang (asumsi kadar saponin dalam lerak 12% b/b):

$$\begin{aligned} \text{Massa buah lerak} &= \frac{100 \text{ g} \times 10000 \text{ mg/L}}{12 \text{ g}} \\ &= 83333,333 \text{ mg} \\ &= 83,333 \text{ g} \end{aligned}$$

L.1.12 Pembuatan larutan stok SDS 10000 ppm

Untuk membuat larutan stok SDS 10000 ppm maka massa SDS yang ditimbang:

$$\begin{aligned}\text{Massa SDS} &= V \times M \\ &= 1 \text{ L} \times 10000 \text{ mg/L} \\ &= 10000 \text{ mg} \\ &= 10,000 \text{ g}\end{aligned}$$

Kemudian dilarutkan dengan akuades dalam gelas kimia 250 mL. Dipindahkan ke dalam labu takar 1000 mL dan diencerkan sampai tanda batas.

L.1.13 Pembuatan isolat lerak (0, 500, 1000, 1500, 2000, 2500, dan 3000 ppm)

Untuk membuat isolat lerak 0 - 3000 ppm maka volume larutan stok isolat lerak yang dipipet:

0 ppm à inokulan yang telah diaerasi

500 ppm à $V_1 M_1 = V_2 M_2$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 500 \text{ ppm}}{10000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 5 \text{ mL}$$

1000 ppm à $V_1 M_1 = V_2 M_2$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 1000 \text{ ppm}}{10000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 10 \text{ mL}$$

1500 ppm à $V_1 M_1 = V_2 M_2$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 1500 \text{ ppm}}{10000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 15 \text{ mL}$$

2000 ppm à $V_1 M_1 = V_2 M_2$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 2000 \text{ ppm}}{10000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 20 \text{ mL}$$

2500 ppm à $V_1 M_1 = V_2 M_2$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 2500 \text{ ppm}}{10000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 25 \text{ mL}$$

$$3000 \text{ ppm} \rightarrow V_1 M_1 = V_2 M_2$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 3000 \text{ ppm}}{10000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 30 \text{ mL}$$

Kemudian diencerkan dengan inokulan yang telah diaerasi ke dalam labu takar 100 mL sampai tanda batas.

L.1.14 Pembuatan SDS 8000 ppm

Untuk membuat SDS 8000 ppm maka volume larutan stok SDS yang dipipet:

$$V_1 M_1 = V_2 M_2$$

$$V_1 = \frac{250 \text{ mL} \times 8000 \text{ ppm}}{10000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 200 \text{ mL}$$

Kemudian diencerkan dengan inokulan yang telah diaerasi ke dalam labu takar 250 mL sampai tanda batas.

L.1.15 Pembuatan larutan sampel isolat lerak dan SDS 500, 750, dan 1000 ppm

Untuk membuat larutan sampel 500, 750, dan 1000 ppm maka volume sampel yang dipipet:

$$500 \text{ ppm} \rightarrow V_1 M_1 = V_2 M_2$$

$$V_1 = \frac{500 \text{ mL} \times 500 \text{ ppm}}{10000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 25 \text{ mL}$$

$$750 \text{ ppm} \rightarrow V_1 M_1 = V_2 M_2$$

$$V_1 = \frac{500 \text{ mL} \times 750 \text{ ppm}}{10000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 37,5 \text{ mL}$$

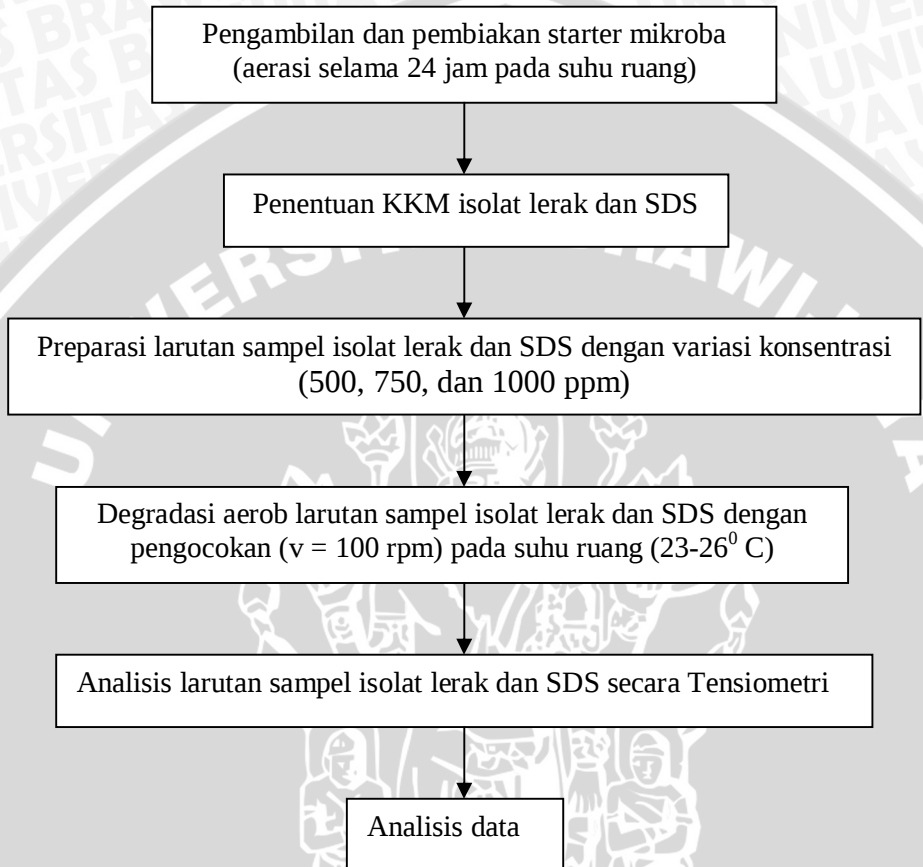
$$1000 \text{ ppm} \rightarrow V_1 M_1 = V_2 M_2$$

$$V_1 = \frac{500 \text{ mL} \times 1000 \text{ ppm}}{10000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 50 \text{ mL}$$

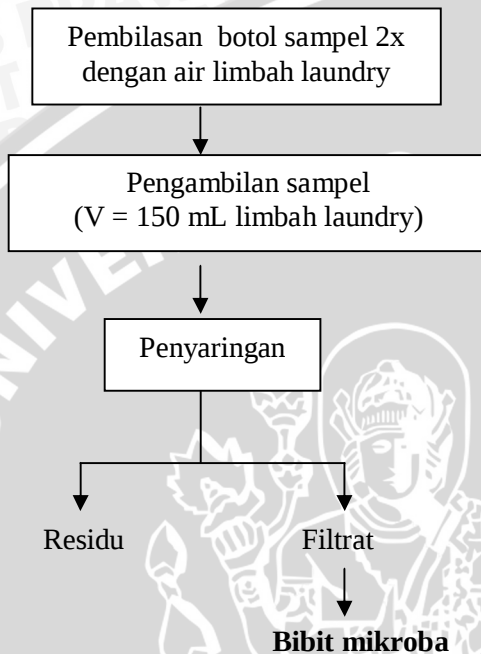
Kemudian diencerkan dengan inokulan yang telah diaerasi ke dalam labu takar 500 mL sampai tanda batas.

Lampiran 2. Alur Penelitian

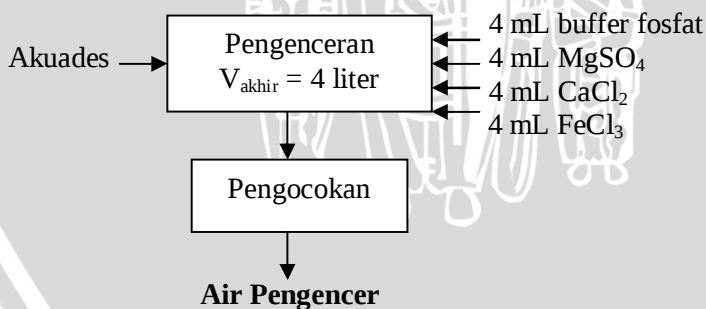


Lampiran 3. Diagram Kerja Penelitian

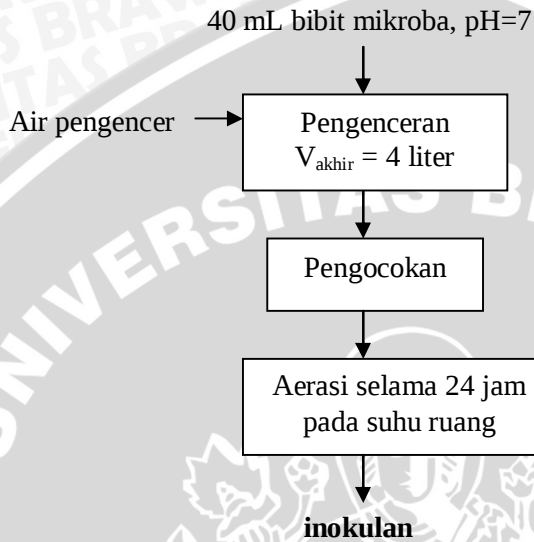
L.3.1 Pengambilan Sampel Starter Mikroba



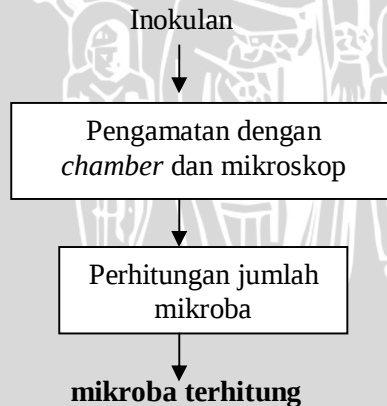
L.3.2 Pembuatan Air Pengencer



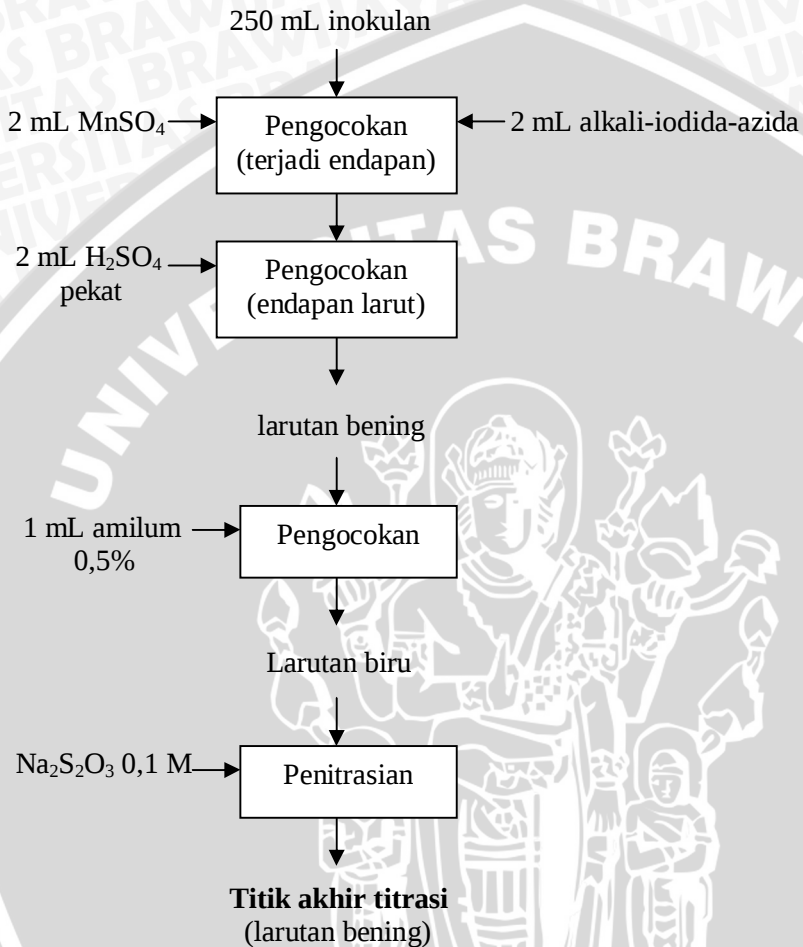
L.3.3 Pembiakan Starter Mikroba Dalam Medium Air Pengencer



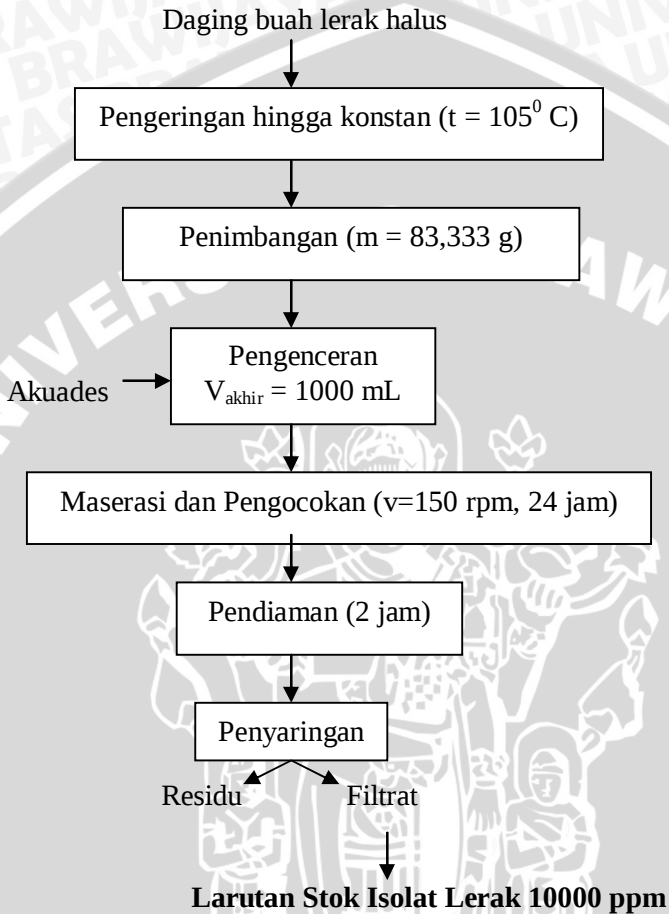
L.3.4 Perhitungan Jumlah Mikroba dengan Metode *Direct Counting*



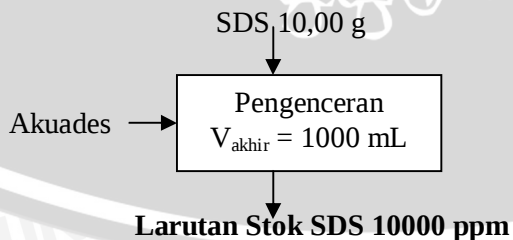
L.3.5 Pengukuran Kadar Oksigen Terlarut



L.3.6 Preparasi Larutan Stok Isolat Lerak 10000 ppm



L.3.7 Preparasi Larutan Stok SDS 10000 ppm



L.3.8 Penentuan KKM Isolat Lerak

20 mL isolat lerak
(0, 500, 1000, 1500, 2000, 2500, dan 3000 ppm)

Pengukuran tegangan permukaan
(sampai didapat nilai konstan)

KKM Isolat Lerak

L.3.9 Penentuan KKM SDS

Perangkaian alat
(elektrode konduktometer dicelupkan dalam
gelas kimia berisi 250 mL akuades)

Akuades 250 mL

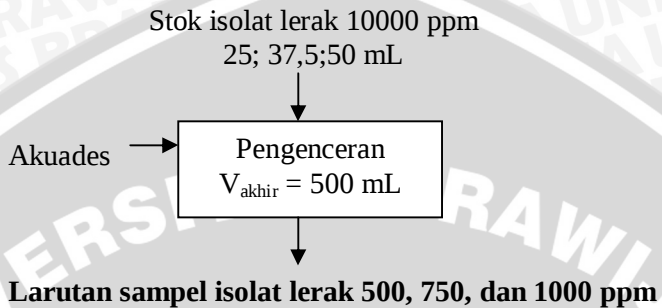
SDS
8000 ppm

Pengadukan dengan stirer

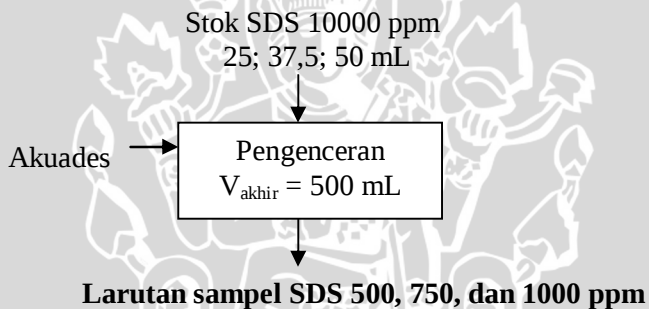
Pengukuran konduktivitas
(tiap penambahan 1 mL SDS 8000 ppm)

KKM SDS

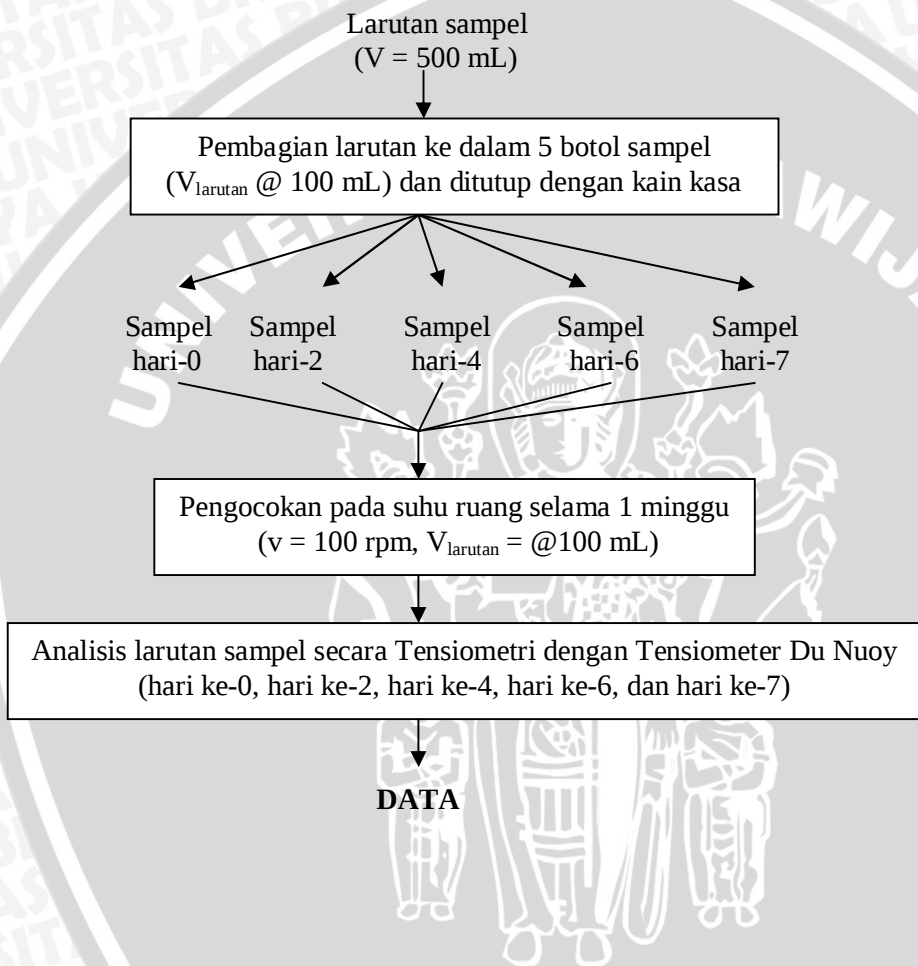
L.3.10 Preparasi Larutan Sampel Isolat Lerak 500, 750, dan 1000 ppm



L.3.11 Preparasi Larutan Sampel SDS 500, 750, dan 1000 ppm



L.3.12 Degradasi Aerob Larutan Sampel Isolat Lerak dan SDS dengan Pengocokan ($v = 100$ rpm) pada Suhu Ruang ($23-26^{\circ}\text{C}$)



L.3.13 Analisis Larutan Sampel Isolat Lerak

Larutan sampel isolat lerak

Pengukuran tegangan permukaan,
pH, dan daya hantar

DATA

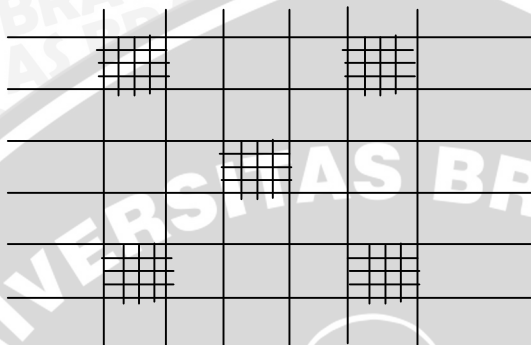
L.3.14 Analisis Larutan Sampel SDS

Larutan sampel SDS

Pengukuran tegangan permukaan,
pH, dan daya hantar

DATA

Lampiran 4. Perhitungan Jumlah Mikroba pada Inokulan (Setelah Aerasi) dengan Metode *Direct Counting*



Gambar L.4.1 Ilustrasi Kamar Hitung (*Chamber*)

$$\sum \frac{\text{sel}}{\text{mL}} = n_{\text{mikroba}} \times n_{\text{kotak}} \times 10000 \times fp$$

dimana: n_{mikroba} = jumlah mikroba yang terhitung

n_{kotak} = jumlah kotak yang dihitung

fp = faktor pengenceran

$$\begin{aligned} \text{Volume kotak kecil} &= (1/20 \text{ mm} \times 1/20 \text{ mm} \times 0,1 \text{ mm}) \\ &= 0,00025 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume kotak besar} &= 0,00025 \text{ mm}^3 \times (20 \times 20) \\ &= 0,1 \text{ mm}^3 \\ &= 1.10^{-7} \text{ L} \\ &= 1.10^{-4} \text{ mL} \\ &= \frac{10000}{\text{mL}} \end{aligned}$$

$$\text{Jadi, } \sum \frac{\text{sel}}{\text{mL}} = n_{\text{mikroba}} \times 5 \times 10000 \times fp$$

$$\text{Air pengencer I} = 78 \times 5 \times 10000 = 3,9.10^6 \text{ sel/mL}$$

$$\text{Air pengencer II} = 100 \times 5 \times 10000 = 5,0.10^6 \text{ sel/mL}$$

$$\text{Rata-rata} = 4,45.10^6 \text{ sel/mL}$$

Lampiran 5. Perhitungan Kadar Oksigen Terlarut pada Inokulan (Setelah Aerasi)

$$OT = \frac{a \times N \times 8000}{V - 4}$$

dimana: OT = oksigen terlarut (mg O₂/L)

a = volum titran natrium tiosulfat (mL)

N = normalitas natrium tiosulfat (N)

V = volume botol (mL)

Tabel L.5.1 Data Pengukuran Oksigen Terlarut pada Inokulan (Setelah Aerasi)

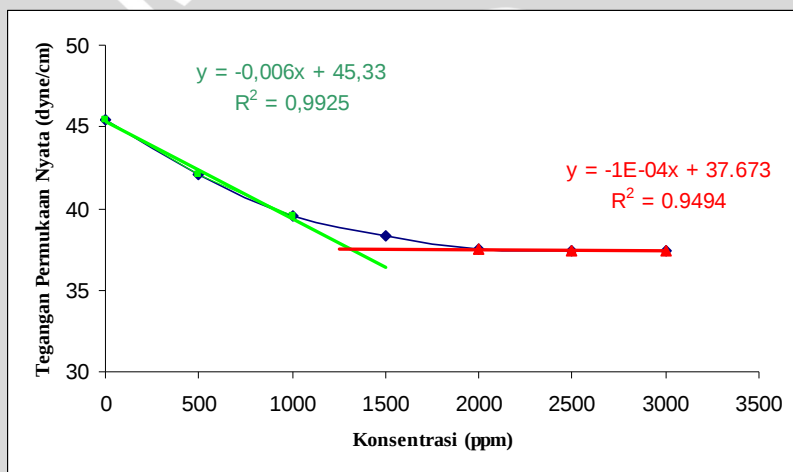
Sampel	ulangan	Vol. titrasi (mL)	DO (ppm)	Rata-rata
Air pengencer I	1	2,3	7,480	7,805
	2	2,5	8,130	
Air pengencer II	1	2,8	9,106	8,943
	2	2,7	8,780	

$$\begin{aligned} \text{Jadi, } OT_{\text{rata-rata}} &= \frac{7,805 + 8,943}{2} \text{ mg O}_2/\text{L} \\ &= 8,374 \text{ mg O}_2/\text{L} \end{aligned}$$

Lampiran 6. Penentuan KKM Isolat Lerak

Tabel L.6.1 Data Pengukuran Tegangan Permukaan terhadap Konsentrasi Isolat Lerak

Konsentrasi (ppm)	γ nyata (dyne/cm)
0	45,48
500	42,04
1000	39,50
1500	38,34
2000	37,48
2500	37,41
3000	37,38



Gambar L.6.1 Penentuan KKM Isolat Lerak

Dari perpotongan kedua persamaan garis maka dapat ditentukan KKM dari larutan isolat lerak sebagai berikut:

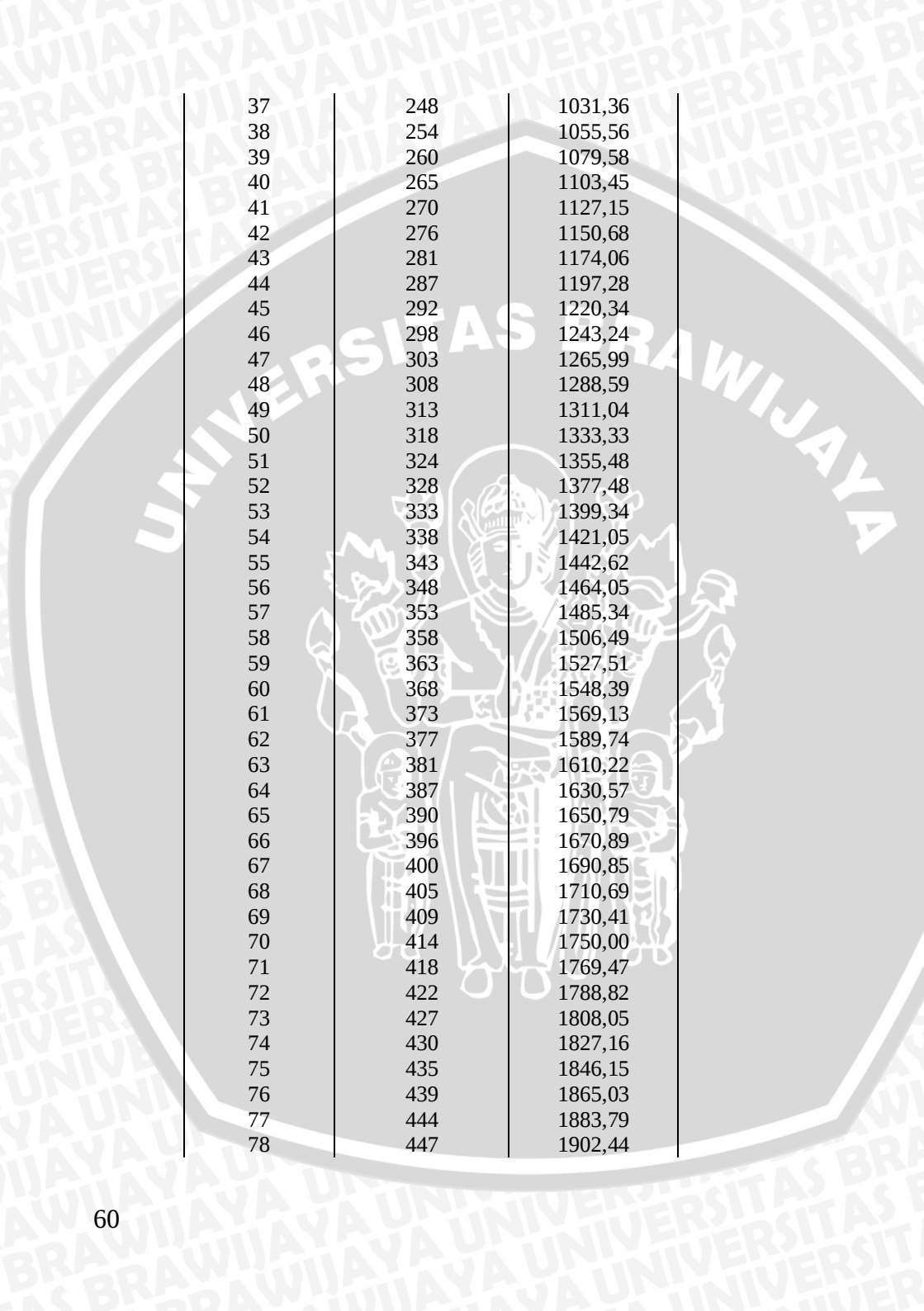
$$\begin{aligned}
 \longrightarrow -0,006x + 45,33 &= -1,10^{-4}x + 37,673 \\
 7,657 &= 0,0059x \\
 x &= 1300 \text{ ppm}
 \end{aligned}$$

Jadi, KKM dari isolat lerak adalah **1300 ppm**

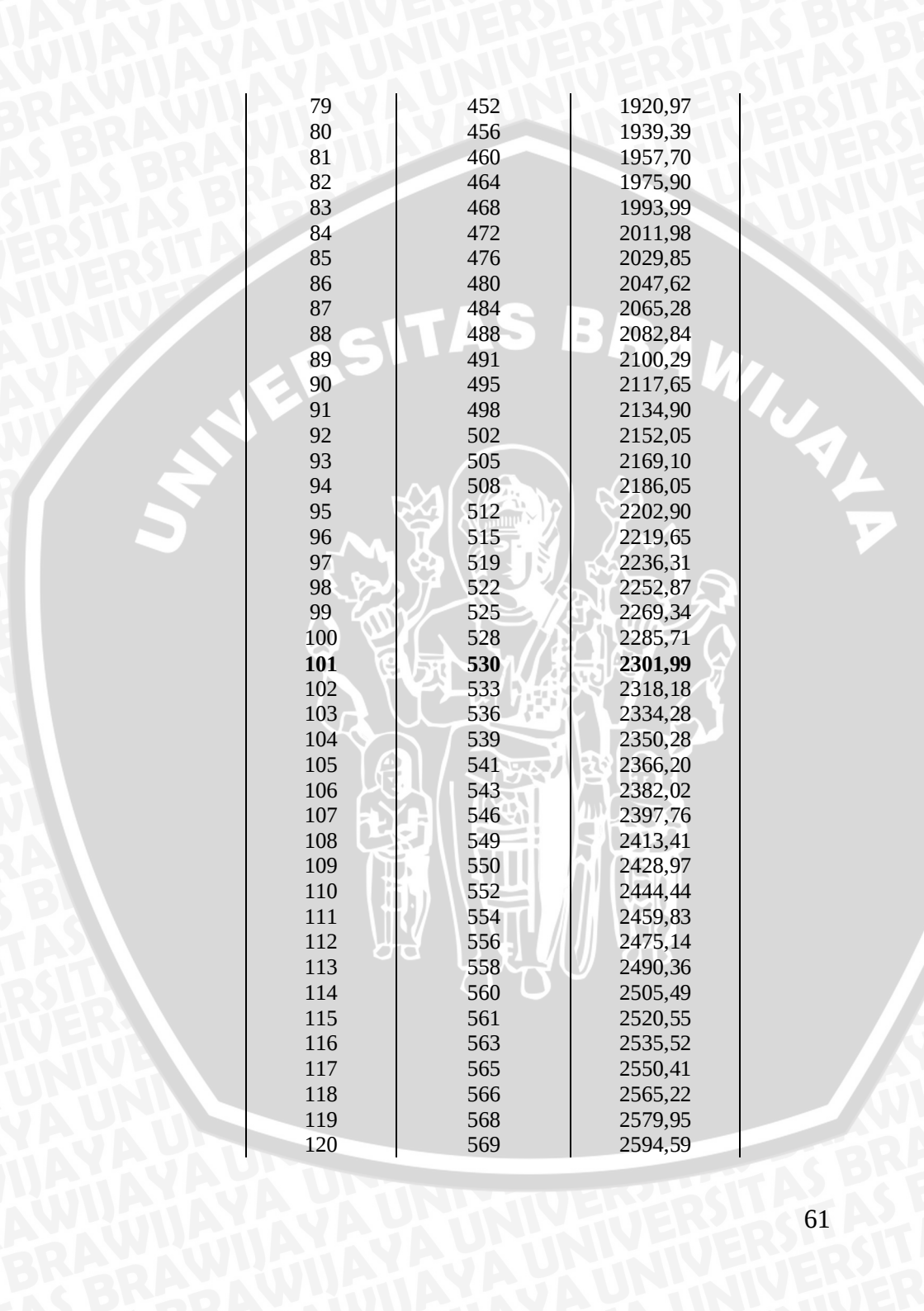
Lampiran 7. Penentuan KKM SDS

Tabel L.7.1 Data Pengukuran Daya Hantar terhadap Konsentrasi SDS

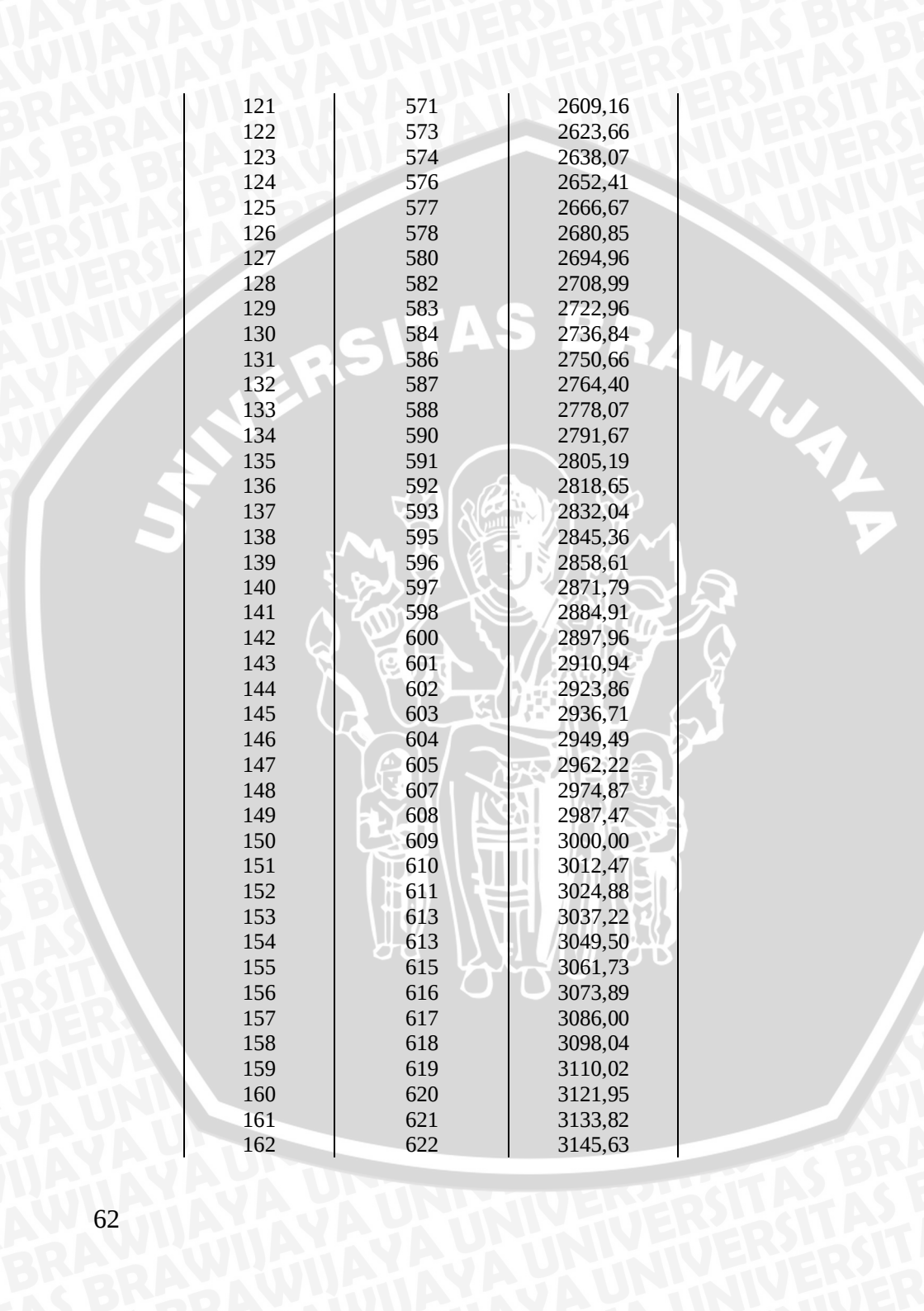
Volume SDS (mL)	Daya hantar ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Konsentrasi (ppm)
0	2	0,00
1	9	31,87
2	17	63,49
3	25	94,86
4	33	125,98
5	40	156,86
6	48	187,50
7	55	217,90
8	63	248,06
9	70	277,99
10	78	307,69
11	85	337,16
12	91	366,41
13	98	395,44
14	105	424,24
15	112	452,83
16	119	481,20
17	125	509,36
18	132	537,31
19	138	565,06
20	145	592,59
21	152	619,93
22	158	647,06
23	165	673,99
24	171	700,73
25	177	727,27
26	183	753,62
27	189	779,78
28	195	805,76
29	202	831,54
30	208	857,14
31	214	882,56
32	220	907,80
33	225	932,86
34	231	957,75
35	237	982,46
36	243	1006,99



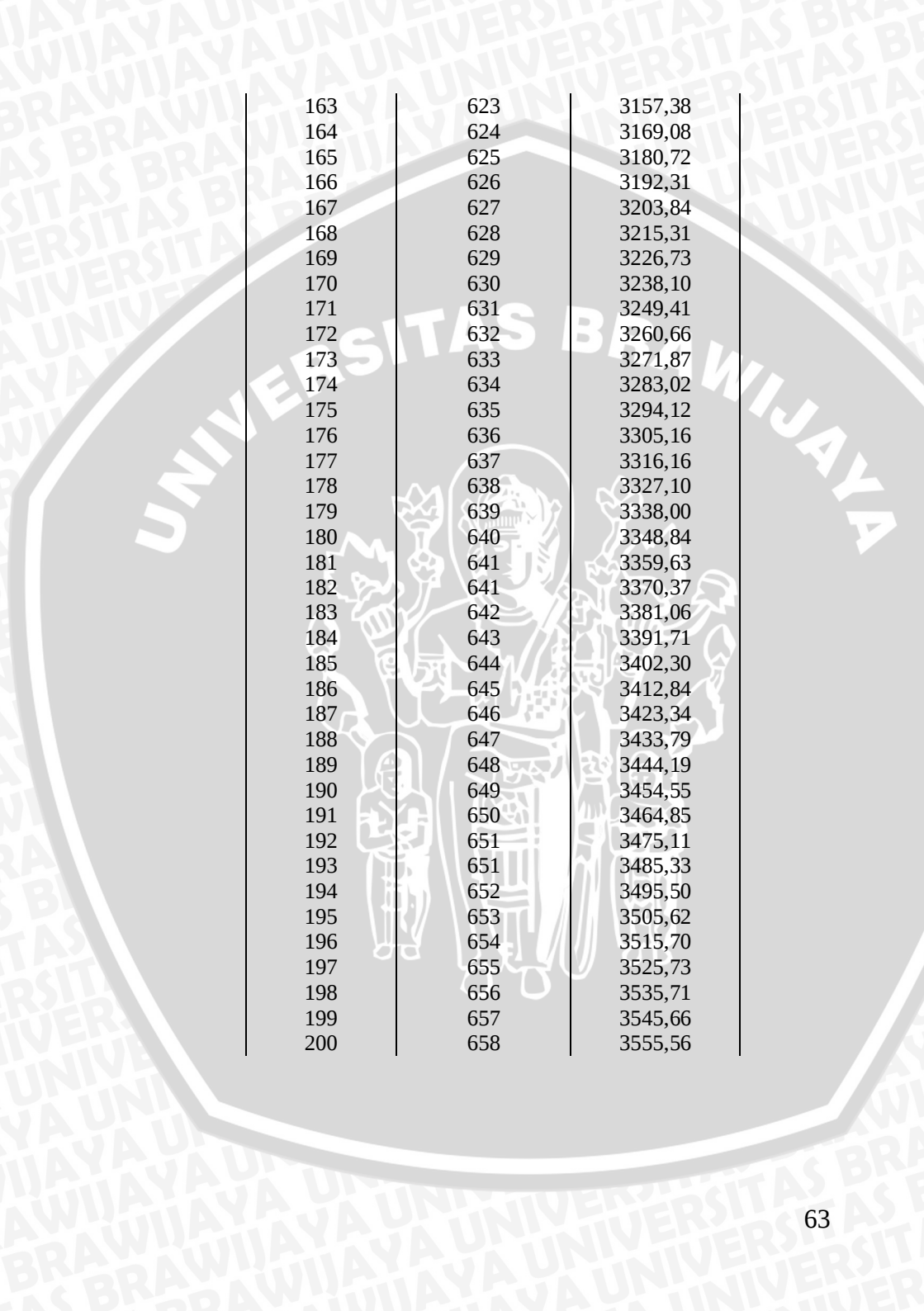
37	248	1031,36
38	254	1055,56
39	260	1079,58
40	265	1103,45
41	270	1127,15
42	276	1150,68
43	281	1174,06
44	287	1197,28
45	292	1220,34
46	298	1243,24
47	303	1265,99
48	308	1288,59
49	313	1311,04
50	318	1333,33
51	324	1355,48
52	328	1377,48
53	333	1399,34
54	338	1421,05
55	343	1442,62
56	348	1464,05
57	353	1485,34
58	358	1506,49
59	363	1527,51
60	368	1548,39
61	373	1569,13
62	377	1589,74
63	381	1610,22
64	387	1630,57
65	390	1650,79
66	396	1670,89
67	400	1690,85
68	405	1710,69
69	409	1730,41
70	414	1750,00
71	418	1769,47
72	422	1788,82
73	427	1808,05
74	430	1827,16
75	435	1846,15
76	439	1865,03
77	444	1883,79
78	447	1902,44



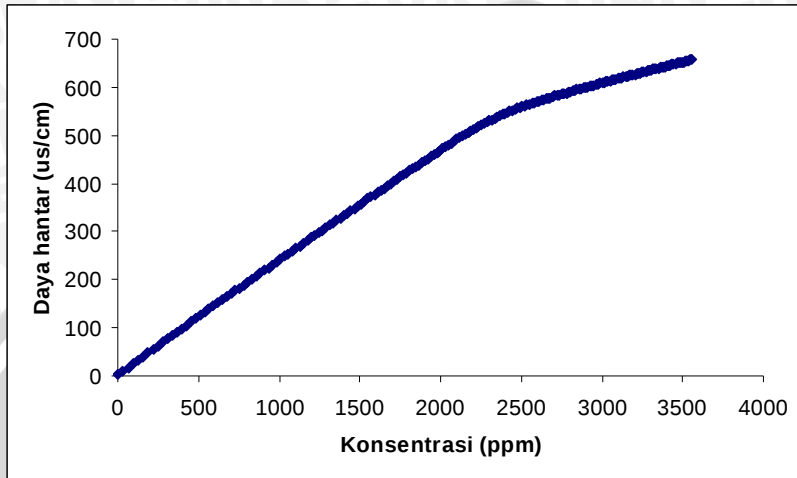
79	452	1920,97
80	456	1939,39
81	460	1957,70
82	464	1975,90
83	468	1993,99
84	472	2011,98
85	476	2029,85
86	480	2047,62
87	484	2065,28
88	488	2082,84
89	491	2100,29
90	495	2117,65
91	498	2134,90
92	502	2152,05
93	505	2169,10
94	508	2186,05
95	512	2202,90
96	515	2219,65
97	519	2236,31
98	522	2252,87
99	525	2269,34
100	528	2285,71
101	530	2301,99
102	533	2318,18
103	536	2334,28
104	539	2350,28
105	541	2366,20
106	543	2382,02
107	546	2397,76
108	549	2413,41
109	550	2428,97
110	552	2444,44
111	554	2459,83
112	556	2475,14
113	558	2490,36
114	560	2505,49
115	561	2520,55
116	563	2535,52
117	565	2550,41
118	566	2565,22
119	568	2579,95
120	569	2594,59



121	571	2609,16
122	573	2623,66
123	574	2638,07
124	576	2652,41
125	577	2666,67
126	578	2680,85
127	580	2694,96
128	582	2708,99
129	583	2722,96
130	584	2736,84
131	586	2750,66
132	587	2764,40
133	588	2778,07
134	590	2791,67
135	591	2805,19
136	592	2818,65
137	593	2832,04
138	595	2845,36
139	596	2858,61
140	597	2871,79
141	598	2884,91
142	600	2897,96
143	601	2910,94
144	602	2923,86
145	603	2936,71
146	604	2949,49
147	605	2962,22
148	607	2974,87
149	608	2987,47
150	609	3000,00
151	610	3012,47
152	611	3024,88
153	613	3037,22
154	613	3049,50
155	615	3061,73
156	616	3073,89
157	617	3086,00
158	618	3098,04
159	619	3110,02
160	620	3121,95
161	621	3133,82
162	622	3145,63



163	623	3157,38
164	624	3169,08
165	625	3180,72
166	626	3192,31
167	627	3203,84
168	628	3215,31
169	629	3226,73
170	630	3238,10
171	631	3249,41
172	632	3260,66
173	633	3271,87
174	634	3283,02
175	635	3294,12
176	636	3305,16
177	637	3316,16
178	638	3327,10
179	639	3338,00
180	640	3348,84
181	641	3359,63
182	641	3370,37
183	642	3381,06
184	643	3391,71
185	644	3402,30
186	645	3412,84
187	646	3423,34
188	647	3433,79
189	648	3444,19
190	649	3454,55
191	650	3464,85
192	651	3475,11
193	651	3485,33
194	652	3495,50
195	653	3505,62
196	654	3515,70
197	655	3525,73
198	656	3535,71
199	657	3545,66
200	658	3555,56

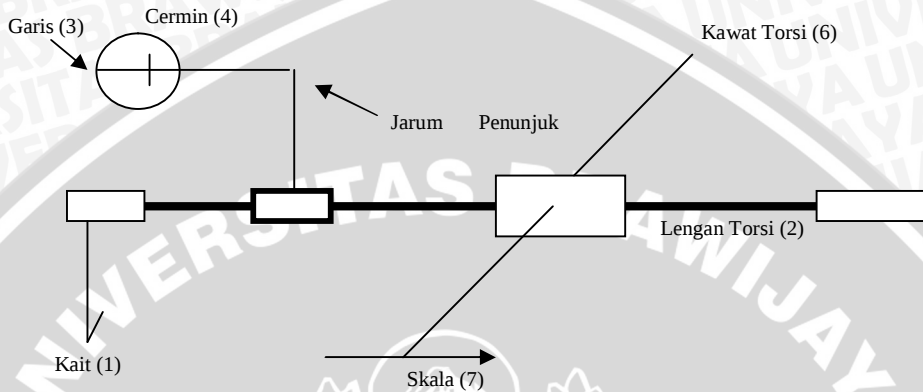


Gambar L.7.1 Penentuan KKM SDS

Berdasarkan grafik diperoleh KKM dari SDS adalah pada konsentrasinya **2300 ppm**.

Lampiran 8. Kalibrasi Alat dan Pembuatan Kurva Kalibrasi

L.8.1 Kalibrasi Alat Tensiometer Du Nuoy



Gambar L.8.1 Alat Tensiometer Du Nouy

Tahapan kalibrasi Tensiometer Du Nuoy:

- Ditutup tangan torsi (2) supaya tidak bergerak.
- Dipasang cincin platina pada ujung kait (1) dengan hati-hati.
- Diletakkan sepotong kertas di atas cincin pada kait sehingga beban dapat diletakkan di atasnya.
- Diletakkan beban di atas kertas.
- Diputar skrup dibawah skala (7) sehingga garis (3) pada cermin (4) dan jarum (5) berhimpit.
- Dibuat kurva kalibrasi dengan variasi beban.

L.8.2 Pembuatan Kurva Kalibrasi

Dibuat kurva kalibrasi antara γ percobaan (sumbu x) dengan γ hitungan (sumbu y), dimana:

$$\gamma \text{ hitungan} = \frac{m \times g}{2 \times C}$$

Keterangan:

M = massa beban total (g)

g = percepatan gravitasi = 980,1 cm/detik²

C = keliling cincin = 6,010 cm

L.8.3 Tabulasi Data Kalibrasi Alat Tensiometer Du Nuoy

Tabel L.8.1 Perhitungan Data Kalibrasi Alat Tensiometer Du Nuoy

Beban (mg)	Berat total (g)	γ hitung (dyne/cm)	γ ukur (dyne/cm)
10	0,0255	2,08	1,5
20	0,0355	2,89	2,8
50	0,0655	5,34	6,0
100	0,1155	9,42	12,0
200	0,2155	17,57	23,9
500	0,5155	42,03	61,0

Keterangan:

Beban total = beban + beban kertas

Berat kertas = 15,5 mg

Y = tegangan permukaan percobaan (dyne/cm)

X = tegangan permukaan hitungan (dyne/cm)

a = slope

r = koefisien koreksi

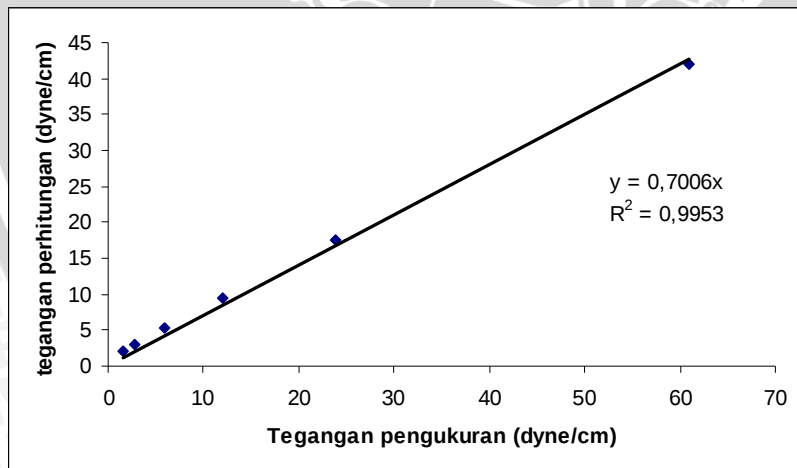
$$a = \sum(X_i \cdot Y_i) / \sum(X_i^2)$$

$$r = \sum(X_i^2) / [\sum(X_i^2) \cdot \sum(Y_i^2)]^{0.5}$$

$$a = 0,7006$$

$$r = 0,9953$$

L.8.4 Kurva Kalibrasi Alat Tensiometer Du Nuoy



Gambar L.8.2 Kurva Kalibrasi Alat Tensiometer Du Nouy

Lampiran 9. Pengukuran dan Perhitungan Tegangan Permukaan

L.9.1 Prosedur Pengukuran Tegangan Permukaan

- Diatur posisi alat supaya horizontal dengan waterpas.
- Digantung cincin (yang telah dibersihkan dengan alkohol dan dibakar) pada lengan torsi.
- Ditempatkan larutan surfaktan yang akan ditentukan tegangan permukaannya pada gelas kimia 50 mL (diameter 4.5 cm) dan diletakkan di atas penyangga.
- Dinaikkan penyangga hingga cincin tercelup sedalam 2-3 mm dibawah permukaan.
- Dilepaskan lengan torsi dan pembacaan dinolkan pada kedudukan jarum penunjuk dan bayangannya berhimpit dengan garis pembanding pada cermin.
- Diturunkan penyangga dan kedudukan cincin dipertahankan tetap terhimpit dengan memutar sekrup gaya hingga film pecah.
- Dicatat hasil pengukuran tegangan permukaan.
- Dilakukan 3x perulangan pengukuran dan diambil rata-ratanya.

L.9.2 Perhitungan Tegangan Permukaan Nyata

Berdasarkan persamaan garis dari kurva kalibrasi pada gambar L.4.2 didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$P = 0,7006 \times \gamma \text{ percobaan}$$

Keterangan: γ percobaan = tegangan permukaan percobaan

P = tegangan permukaan hitungan

Untuk menghitung faktor koreksi (Fr) digunakan persamaan:

$$Fr = 0.7250 + \sqrt{\frac{0.0142P}{C^2(D-d)} + 0.0453} - \frac{1.679r}{R}$$

Keterangan: P = tegangan permukaan hitungan

D = rapat massa di bawah permukaan cairan

d = rapat massa udara = $0,001134 \text{ g/cm}^3$

C = keliling cincin = $6,010 \text{ cm}$

r/R = jari-jari kawat cincin = $1/53,83848846 \text{ cm}$

Sehingga dapat dihitung nilai tegangan permukaan nyata dengan persamaan:

$$\gamma \text{ nyata} = Fr \times P$$

Keterangan: Fr = faktor koreksi

P = tegangan permukaan hitungan

L.9.3 Tabulasi Data Tegangan Permukaan Nyata dengan Variasi Konsentrasi Isolat Lerak

Tabel L.9.1 Perhitungan Data Tegangan Permukaan Nyata dengan Variasi Konsentrasi Isolat Lerak (Ulangan ke-1)

No	Isolat Lerak	Hari	γ ukur (dyne/cm)	Densitas (g/cm ³)	P	Fr	γ nyata (dyne/cm)
1	500 ppm	0	69,13	0,9999	48,4325	0,9071	43,94
		2	72,60	0,9999	50,8636	0,9098	46,27
		4	73,80	0,9996	51,7043	0,9107	47,09
		6	74,17	0,9999	51,9635	0,9109	47,33
		7	74,33	0,9996	52,0756	0,9111	47,44
2	750 ppm	0	65,33	1,0003	45,7702	0,9042	41,39
		2	68,80	1,0000	48,2013	0,9069	43,71
		4	69,93	0,9999	48,9930	0,9078	44,47
		6	70,53	1,0002	49,4133	0,9082	44,88
		7	70,63	1,0000	49,4834	0,9083	44,94
3	1000 ppm	0	64,30	1,0009	45,0486	0,9034	40,70
		2	69,37	1,0006	48,6006	0,9073	44,10
		4	70,40	1,0000	49,3222	0,9081	44,79
		6	69,67	1,0004	48,8108	0,9075	44,30
		7	70,47	1,0004	49,3713	0,9081	44,84

Tabel L.9.2 Perhitungan Data Tegangan Permukaan Nyata dengan Variasi Konsentrasi Isolat Lerak (Ulangan ke-2)

No	Isolat Lerak	Hari	γ ukur (dyne/cm)	Densitas (g/cm ³)	P	Fr	γ nyata (dyne/cm)
1	500 ppm	0	68,77	0,9998	48,1803	0,9069	43,69
		2	70,07	0,9997	49,0910	0,9079	44,57
		4	70,30	0,9996	49,2522	0,9080	44,72
		6	72,47	0,9996	50,7725	0,9097	46,19
		7	72,63	1,0000	50,8846	0,9098	46,29
2	750 ppm	0	65,70	1,0002	46,0294	0,9045	41,63
		2	66,80	1,0000	46,8001	0,9054	42,37
		4	67,17	1,0001	47,0593	0,9056	42,62
		6	68,87	1,0002	48,2503	0,9069	43,76
		7	69,63	1,0002	48,7828	0,9075	44,27
3	1000 ppm	0	64,30	1,0006	45,0486	0,9034	40,70
		2	66,30	1,0000	46,4498	0,9050	42,04
		4	67,47	1,0002	47,2695	0,9059	42,82
		6	69,80	1,0002	48,9019	0,9076	44,39
		7	66,73	1,0002	46,7510	0,9053	42,32

L.9.4 Tabulasi Data Tegangan Permukaan Nyata dengan Variasi Konsentrasi SDS

Tabel L.9.3 Perhitungan Data Tegangan Permukaan Nyata dengan Variasi Konsentrasi SDS (Ulangan ke-1)

No	SDS	Hari	γ ukur (dyne/cm)	Densitas (g/cm ³)	P	Fr	γ nyata (dyne/cm)
1	500 ppm	0	58,30	0,9995	40,8450	0,8988	36,71
		2	58,50	0,9993	40,9851	0,8989	36,84
		4	61,13	0,9993	42,8277	0,9010	38,59
		6	64,97	0,9991	45,5180	0,9040	41,15
		7	70,07	0,9995	49,0910	0,9079	44,57
2	750 ppm	0	53,50	0,9992	37,4821	0,8949	33,54
		2	53,93	0,9984	37,7834	0,8953	33,83
		4	59,77	0,9985	41,8749	0,9000	37,69
		6	61,80	0,9989	43,2971	0,9016	39,03
		7	66,23	0,9994	46,4007	0,9050	41,99
3	1000 ppm	0	46,80	0,9991	32,7881	0,8894	29,16
		2	47,87	0,9986	33,5377	0,8903	29,86
		4	52,67	0,9985	36,9006	0,8943	33,00
		6	57,40	0,9989	40,2144	0,8981	36,12
		7	57,30	0,9991	40,1444	0,8980	36,05

Tabel L.9.4 Perhitungan Data Tegangan Permukaan Nyata dengan Variasi Konsentrasi SDS (Ulangan ke-2)

No	SDS	Hari	γ ukur (dyne/cm)	Densitas (g/cm ³)	P	Fr	γ nyata (dyne/cm)
1	500 ppm	0	58,40	0,9988	40,9150	0,8989	36,78
		2	63,83	0,9983	44,7193	0,9032	40,39
		4	69,50	0,9989	48,6917	0,9075	44,19
		6	68,83	0,9990	48,2223	0,9070	43,74
		7	68,27	0,9989	47,8300	0,9065	43,36
2	750 ppm	0	54,07	0,9990	37,8814	0,8954	33,92
		2	63,50	0,9988	44,4881	0,9029	40,17
		4	68,80	0,9990	48,2013	0,9069	43,72
		6	67,40	0,9990	47,2204	0,9059	42,78
		7	68,90	0,9989	48,2713	0,9070	43,78
3	1000 ppm	0	46,53	0,9989	32,5989	0,8892	28,99
		2	46,67	0,9987	32,6970	0,8893	29,08
		4	57,00	0,9990	39,9342	0,8978	35,85
		6	59,93	0,9990	41,9870	0,9001	37,79
		7	57,50	0,9989	40,2845	0,8982	36,18

Lampiran 10 Data Lengkap

Tabel L.10.1 Data Penentuan KKM Isolat Lerak

Konsentrasi (ppm)	Suhu	pH	Daya Hantar ($\mu\text{s/cm}$)	γ percobaan (dyne/cm)	Densitas (g/cm^3)	P	Fr	γ nyata (dyne/cm)
0	24.3	5.96	144	71.43	0.9998	50.0439	0.9089	45.48
500	24.3	3.85	270	66.30	0.9999	46.4498	0.9050	42.04
1000	24.4	3.68	387	62.50	1.0008	43.7875	0.9020	39.50
1500	24.2	3.69	502	60.77	1.0017	42.5755	0.9006	38.34
2000	24.3	3.68	616	59.47	1.0030	41.6647	0.8995	37.48
2500	24.2	3.70	723	59.37	1.0038	41.5946	0.8994	37.41
3000	24.2	3.72	829	59.33	1.0046	41.5666	0.8994	37.38

Tabel L.10.2 Data Degradasi Isolat Lerak (Ulangan ke-1)

No	Isolat Lerak	Hari	Suhu	pH	Daya hantar ($\mu\text{s/cm}$)	γ ukur (dyne/cm)	Densitas (g/cm ³)	P	Fr	γ nyata (dyne/cm)
1	500 ppm	0	24.4	3.79	287	69.13	0.9999	48.4325	0.9071	43.94
		2	24.5	6.16	269	72.60	0.9999	50.8636	0.9098	46.27
		4	25.7	6.45	270	73.80	0.9996	51.7043	0.9107	47.09
		6	24.6	6.59	264	74.17	0.9999	51.9635	0.9109	47.33
		7	25	7.10	267	74.33	0.9996	52.0756	0.9111	47.44
2	750 ppm	0	24	3.72	346	65.33	1.0003	45.7702	0.9042	41.39
		2	24.8	5.36	317	68.80	1.0000	48.2013	0.9069	43.71
		4	25.1	6.39	317	69.93	0.9999	48.9930	0.9078	44.47
		6	24.5	6.95	329	70.53	1.0002	49.4133	0.9082	44.88
		7	25	6.62	322	70.63	1.0000	49.4834	0.9083	44.94
3	1000 ppm	0	23.9	3.70	407	64.30	1.0009	45.0486	0.9034	40.70
		2	24.9	4.98	380	69.37	1.0006	48.6006	0.9073	44.10
		4	25.1	6.02	379	70.40	1.0000	49.3222	0.9081	44.79
		6	25	6.35	375	69.67	1.0004	48.8108	0.9075	44.30
		7	24.7	6.64	370	70.47	1.0004	49.3713	0.9081	44.84

Tabel L.10.3 Data Degradasi Isolat Lerak (Ulangan ke-2)

No	Isolat Lerak	Hari	Suhu	pH	Daya hantar ($\mu\text{s/cm}$)	γ ukur (dyne/cm)	Densitas (g/cm ³)	P	Fr	γ nyata (dyne/cm)
1	500 ppm	0	24.3	3.79	292	68.77	0.9998	48.1803	0.9069	43.69
		2	24.9	5.48	266	70.07	0.9997	49.0910	0.9079	44.57
		4	24	5.73	264	70.30	0.9996	49.2522	0.9080	44.72
		6	24	5.70	258	72.47	0.9996	50.7725	0.9097	46.19
		7	24.5	6.44	270	72.63	1.0000	50.8846	0.9098	46.29
2	750 ppm	0	24.4	3.71	361	65.70	1.0002	46.0294	0.9045	41.63
		2	24.9	4.78	333	66.80	1.0000	46.8001	0.9054	42.37
		4	24.1	5.74	336	67.17	1.0001	47.0593	0.9056	42.62
		6	24.1	5.76	339	68.87	1.0002	48.2503	0.9069	43.76
		7	24.5	6.05	330	69.63	1.0002	48.7828	0.9075	44.27
3	1000 ppm	0	24.5	3.70	411	64.30	1.0006	45.0486	0.9034	40.70
		2	25	4.24	388	66.30	1.0000	46.4498	0.9050	42.04
		4	24	5.43	372	67.47	1.0002	47.2695	0.9059	42.82
		6	24.3	5.33	367	69.80	1.0002	48.9019	0.9076	44.39
		7	24.5	5.88	369	66.73	1.0002	46.7510	0.9053	42.32

Tabel L.10.4 Data Degradasi SDS (Ulangan ke-1)

No	SDS	Hari	Suhu	pH	Daya hantar ($\mu\text{s/cm}$)	γ ukur (dyne/cm)	Densitas (g/cm ³)	P	Fr	γ nyata (dyne/cm)
1	500 ppm	0	24	5.79	184	58.30	0.9995	40.8450	0.8988	36.71
		2	25.1	5.22	197	58.50	0.9993	40.9851	0.8989	36.84
		4	24.7	4.99	197	61.13	0.9993	42.8277	0.9010	38.59
		6	24.2	4.22	204	64.97	0.9991	45.5180	0.9040	41.15
		7	24.7	4.89	209	70.07	0.9995	49.0910	0.9079	44.57
2	750 ppm	0	24.1	5.91	188	53.50	0.9992	37.4821	0.8949	33.54
		2	24.3	5.24	200	53.93	0.9984	37.7834	0.8953	33.83
		4	25	4.34	217	59.77	0.9985	41.8749	0.9000	37.69
		6	24.4	3.93	220	61.80	0.9989	43.2971	0.9016	39.03
		7	24.4	5.16	210	66.23	0.9994	46.4007	0.9050	41.99
3	1000 ppm	0	24.2	5.99	195	46.80	0.9991	32.7881	0.8894	29.16
		2	24.7	5.26	209	47.87	0.9986	33.5377	0.8903	29.86
		4	24.9	5.09	216	52.67	0.9985	36.9006	0.8943	33.00
		6	24.4	5.00	215	57.40	0.9989	40.2144	0.8981	36.12
		7	25	5.34	216	57.30	0.9991	40.1444	0.8980	36.05

Tabel L.10.5 Data Degradasi SDS (Ulangan ke-2)

No	SDS	Hari	Suhu	pH	Daya hantar ($\mu\text{s/cm}$)	γ ukur (dyne/cm)	Densitas (g/cm ³)	P	Fr	γ nyata (dyne/cm)
1	500 ppm	0	24.1	5.90	213	58.40	0.9988	40.9150	0.8989	36.78
		2	24.5	4.43	196	63.83	0.9983	44.7193	0.9032	40.39
		4	24	4.83	195	69.50	0.9989	48.6917	0.9075	44.19
		6	24	4.36	200	68.83	0.9990	48.2223	0.9070	43.74
		7	24.3	3.98	206	68.27	0.9989	47.8300	0.9065	43.36
2	750 ppm	0	24.2	5.96	199	54.07	0.9990	37.8814	0.8954	33.92
		2	24.4	4.95	206	63.50	0.9988	44.4881	0.9029	40.17
		4	24.3	4.94	205	68.80	0.9990	48.2013	0.9069	43.72
		6	24.1	4.35	208	67.40	0.9990	47.2204	0.9059	42.78
		7	24.3	4.73	207	68.90	0.9989	48.2713	0.9070	43.78
3	1000 ppm	0	24.3	5.97	212	46.53	0.9989	32.5989	0.8892	28.99
		2	24.4	5.06	220	46.67	0.9987	32.6970	0.8893	29.08
		4	24.2	4.86	219	57.00	0.9990	39.9342	0.8978	35.85
		6	24	5.02	211	59.93	0.9990	41.9870	0.9001	37.79
		7	24.3	4.94	222	57.50	0.9989	40.2845	0.8982	36.18

Lampiran 11 Hasil Analisis RAK dan BNT 5%

Tabel L.11.1 Data Tegangan Permukaan Nyata Rata-rata Isolat Lerak dan SDS (dyne/cm)

Hari	Isolat Lerak 500 ppm	Isolat Lerak 750 ppm	Isolat Lerak 1000 ppm	SDS 500 ppm	SDS 750 ppm	SDS 1000 ppm
TP0	43,82	41,51	40,70	36,75	33,73	29,08
TP2	45,42	43,04	43,07	38,62	37,00	29,47
TP4	45,91	43,55	43,81	41,39	40,71	34,43
TP6	46,76	44,32	44,35	42,45	40,91	36,96
TP7	46,87	44,61	43,58	43,97	42,89	36,12

Keterangan:

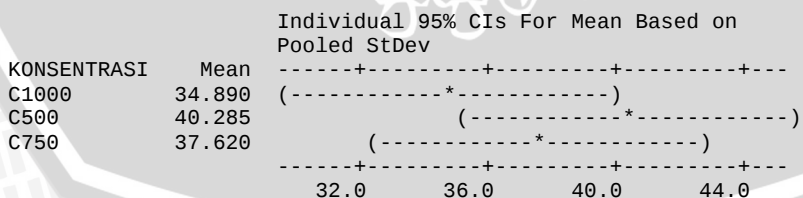
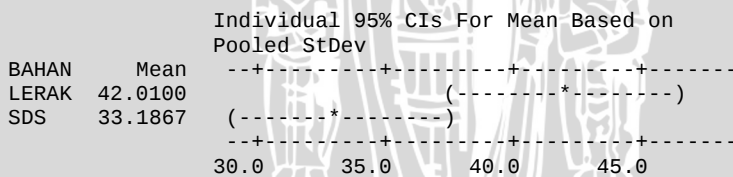
TP = tegangan permukaan

Output Hasil Analisis RAK dan BNT 5% menggunakan software MINITAB 14:

Two-way ANOVA: TP0 versus BAHAN, KONSENTRASI

Source	DF	SS	MS	F	P
BAHAN	1	116.777	116.777	38.98	0.025
KONSENTRASI	2	29.107	14.554	4.86	0.171
Error	2	5.992	2.996		
Total	5	151.876			

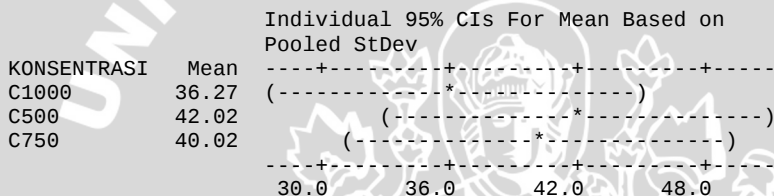
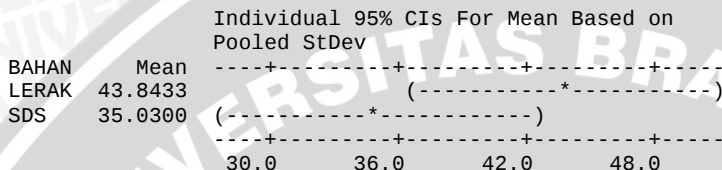
S = 1.731 R-Sq = 96.05% R-Sq(adj) = 90.14%



Two-way ANOVA: TP2 versus BAHAN, KONSENTRASI

Source	DF	SS	MS	F	P
BAHAN	1	116.512	116.512	13.45	0.067
KONSENTRASI	2	34.083	17.042	1.97	0.337
Error	2	17.329	8.664		
Total	5	167.924			

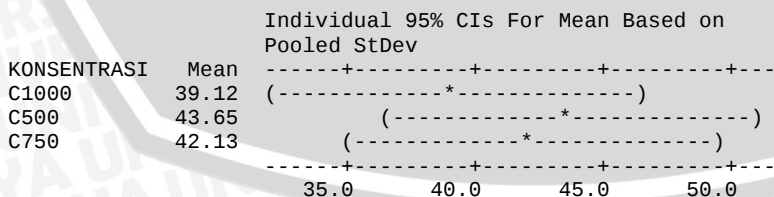
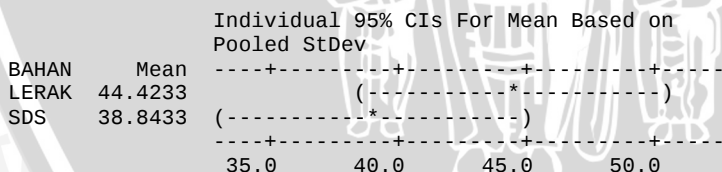
S = 2.944 R-Sq = 89.68% R-Sq(adj) = 74.20%



Two-way ANOVA: TP4 versus BAHAN, KONSENTRASI

Source	DF	SS	MS	F	P
BAHAN	1	46.7046	46.7046	8.10	0.104
KONSENTRASI	2	21.2609	10.6305	1.84	0.352
Error	2	11.5356	5.7678		
Total	5	79.5011			

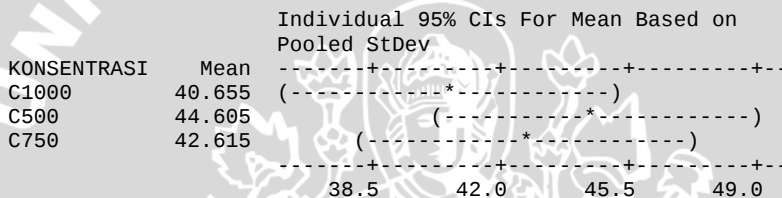
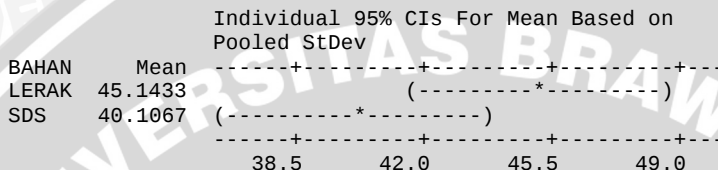
S = 2.402 R-Sq = 85.49% R-Sq(adj) = 63.73%



Two-way ANOVA: TP6 versus BAHAN, KONSENTRASI

Source	DF	SS	MS	F	P
BAHAN	1	38.0520	38.0520	17.47	0.053
KONSENTRASI	2	15.6028	7.8014	3.58	0.218
Error	2	4.3561	2.1781		
Total	5	58.0110			

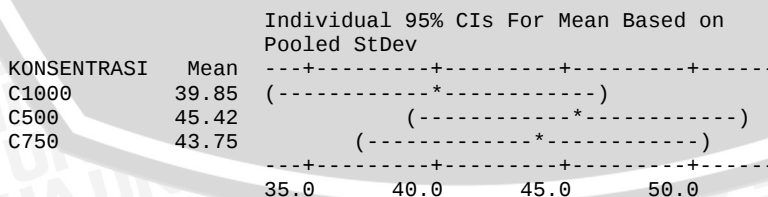
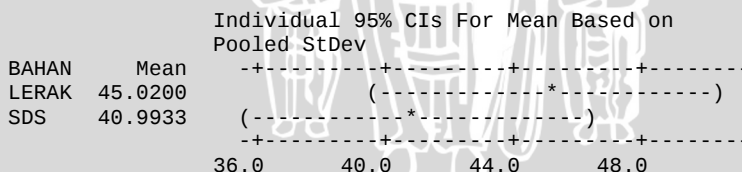
S = 1.476 R-Sq = 92.49% R-Sq(adj) = 81.23%



Two-way ANOVA: TP7 versus BAHAN, KONSENTRASI

Source	DF	SS	MS	F	P
BAHAN	1	24.3211	24.3211	5.29	0.148
KONSENTRASI	2	32.6825	16.3413	3.56	0.219
Error	2	9.1889	4.5945		
Total	5	66.1925			

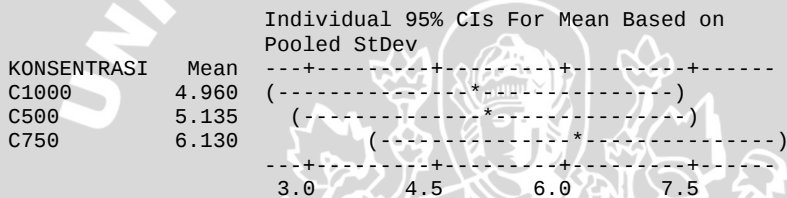
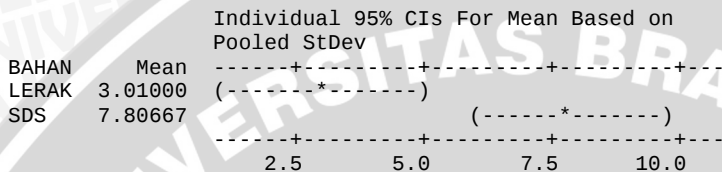
S = 2.143 R-Sq = 86.12% R-Sq(adj) = 65.29%



Two-way ANOVA: TP7 - TP0 versus BAHAN, KONSENTRASI

Source	DF	SS	MS	F	P
BAHAN	1	34.5120	34.5120	57.66	0.017
KONSENTRASI	2	1.5930	0.7965	1.33	0.429
Error	2	1.1970	0.5985		
Total	5	37.3021			

S = 0.7736 R-Sq = 96.79% R-Sq(adj) = 91.98%



Lampiran 12 Perhitungan % Efisiensi Degradasi Isolat Lerak dan SDS

Berdasarkan **Tabel L.11.1**, dapat dihitung nilai efisiensi degradasi menggunakan data tegangan permukaan (γ).

Contoh perhitungan:

$$\begin{aligned}\% \text{ efisiensi SDS 500 ppm hari ke-2} &= \frac{\gamma_2 - \gamma_0}{\gamma_0} \times 100\% \\ &= \frac{38,62 - 36,75}{36,75} \times 100\% \\ &= 5,09\%\end{aligned}$$

Tabel L.12.1 Data % Efisiensi Degradasi Isolat Lerak

Hari	Isolat lerak 500 ppm	Isolat lerak 750 ppm	Isolat lerak 1000 ppm
2	3,66	3,69	5,82
4	4,77	4,90	7,63
6	6,72	6,77	8,96
7	6,96	7,46	7,08

Tabel L.12.2 Data % Efisiensi Degradasi SDS

Hari	SDS 500 ppm	SDS 750 ppm	SDS 1000 ppm
2	5,09	9,69	1,36
4	12,64	20,68	18,40
6	15,51	21,27	27,10
7	19,65	27,14	24,21