



**PEMODELAN KESETIMBANGAN CAIR-CAIR  
DALAM PEMUNGUTAN SENYAWA FENOL DARI  
LIMBAH CAIR INDUSTRI TEKSTIL DENGAN  
PROSES EKSTRAKSI**

**SKRIPSI**

**Diajukan kepada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik  
Universitas Negeri Semarang untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Guna  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T)**

Oleh:

**Hermawan NIM. 5213412005**

**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

**JURUSAN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

**2016**

**PERSETUJUAN PEMBIMBING**

Nama Mahasiswa 1 : Hermawan  
NIM : 5213412005  
Nama Mahasiswa 2 : Lelita Sakina Sari  
NIM : 5213412040  
Jurusan : S-1 Teknik Kimia  
Judul Skripsi : PEMODELAN KESETIMBANGAN  
CAIR-CAIR DALAM PEMUNGUTAN SENYAWA FENOL DARI  
LIMBAH CAIR INDUSTRI TEKSTIL DENGAN PROSES EKSTRAKSI

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Jurusan S-1 Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 01 Agustus 2016

Pembimbing,



Dr. Dewi Selvia Fardhyanti, S.T., M.T.

NIP. 197103161999032002

**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

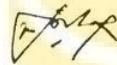
PENGESAHAN

Skripsi dengan judul *Pemodelan Kesetimbangan Cair-Cair Dalam Pemungutan Senyawa Fenol Dari Limbah Cair Industri Tekstil Dengan Proses Ekstraksi* telah dipertahan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 05 bulan Agustus tahun 2016

Nama : Hermawan  
Lelita Sakina Sari  
NIM : 5213412005  
5213412040  
Jurusan : S-1 Teknik Kimia

Panitia:

Ketua Panitia



Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T.  
NIP. 197405191999032001

Sekretaris



Dr. Megawati, S.T., M.T.  
NIP. 197211062006042001

Penguji I



Prima Astuti H., S.T., M.T.  
NIP. 197203252000032001

Penguji II



Dr. Ratna Dewi K., S.T., M.T.  
NIP. 197603112000122001

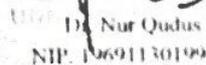
Pembimbing



Dr. Dewi Selvia F., S.T., M.T.  
NIP. 197103161989032002

UNNES  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Mengetahui  
Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Qudus M.T.  
NIP. 196911301994031001

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Semarang, 01 Agustus 2016

Yang membuat pernyataan,

Penulis,



Hermawan

NIM. 5213412005

## **MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

### **MOTTO**

- a. Harta yang tak pernah habis adalah ilmu pengetahuan dan ilmu yang tak ternilai adalah pendidikan.
- b. Bekerjalah bagaikan tak butuh uang, mencintailah bagaikan tak pernah disakiti, menarilah bagaikan tak seorang pun sedang menonton (Mark Twain).



### **PERSEMBAHAN**

1. Allah SWT
2. Ayah, Ibu, dan Keluarga
3. Dosen-dosen Teknik Kimia
4. Teman-teman Teknik Kimia 2012
5. Almamaterku

## INTISARI

Hermawan dan Sari, Lelita S., 2016. *Pemodelan Kesetimbangan Cair-Cair Dalam Pemungutan Senyawa Fenol Dari Limbah Cair Industri Tekstil Dengan Proses Ekstraksi*. Skripsi, Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Dr. Dewi Shelvia Fardhyanti, S.T., M.T.

Kata Kunci : Fenol, Ekstraksi Cair-Cair, *Three-Suffix* Margules.

Limbah cair industri tekstil mempunyai karakteristik berwarna, pH tinggi, kadar BOD, COD, suhu, padatan terlarut dan tersuspensi tinggi. Limbah industri tekstil mengandung senyawa fenol yang sukar diuraikan secara alami. Hasil pengujian limbah tekstil memiliki kandungan fenol sebesar 10 ppm, senyawa fenol ini dapat dikatakan aman jika masih memenuhi persyaratan perairan dengan kadar fenol maksimum sebesar 0,2 ppm. Senyawa fenol yang dibuang ke perairan dengan tingkat konsentrasi yang tinggi dalam air limbah tanpa pengolahan yang baik sangat berpotensi menyebabkan pencemaran air dan akan menyebabkan kerusakan lingkungan karena bersifat karsinogenik. Fenol sebenarnya mempunyai nilai ekonomis bisa berfungsi sebagai zat disinfektan.

Pemisahan senyawa fenol tersebut menggunakan metode ekstraksi cair-cair dengan bantuan solven atau pelarut, dimana pemisahan fasa cair ini memanfaatkan perbedaan kelarutan zat yang akan dipisahkan yaitu antara larutan asal dan pelarut (solven). Limbah cair industri tekstil diekstraksi dengan menggunakan pelarut metanol dan aseton dengan kadar 70%. Ekstraksi dilakukan selama 70 menit. Sampel kemudian dipisahkan untuk membentuk dua lapisan yaitu lapisan ekstrak dan rafinat. Ekstrak dan rafinat kemudian diuji menggunakan spektrofotometer *UV-Vis* sehingga diperoleh data kesetimbangan cair-cair. Tujuan penelitian ini mengetahui pengaruh suhu, kecepatan pengadukan, dan solven yang digunakan terhadap koefisien distribusi ( $K_i$ ) dan rendemen pada ekstraksi cair-cair, dan mengkorelasikan model kesetimbangan cair-cair *Three-Suffix* Margules terhadap data kesetimbangan.

Hasil menunjukkan, koefisien distribusi dan rendemen pada ekstraksi dengan menggunakan solven metanol 70% tertinggi didapat dalam suhu 50°C, kecepatan pengadukan 300 rpm sebesar 216,334 dan 80,43%, sedangkan pada ekstraksi menggunakan solven aseton 70% hasil tertinggi didapatkan pada suhu 40 °C dengan kecepatan pengadukan 300 rpm dengan nilai koefisien distribusi ( $K_i$ ) 189,529 dan rendemen sebesar 91,87%. Pada hasil korelasi dapat disimpulkan bahwa model *Three-Suffix* Margules cocok untuk memprediksi kesetimbangan cair-cair pada sistem fenol.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkat, rahmat, taufik dan hidayah-Nya, penyusunan skripsi yang berjudul “Pemodelan Keseimbangan Cair-Cair Dalam Pemungutan Senyawa Fenol Dari Limbah Cair Industri Tekstil Dengan Proses Ekstraksi” dapat diselesaikan dengan baik.

Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Penulis menyadari bahwa selesainya skripsi ini adalah karena adanya dorongan, bantuan, dan motivasi dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

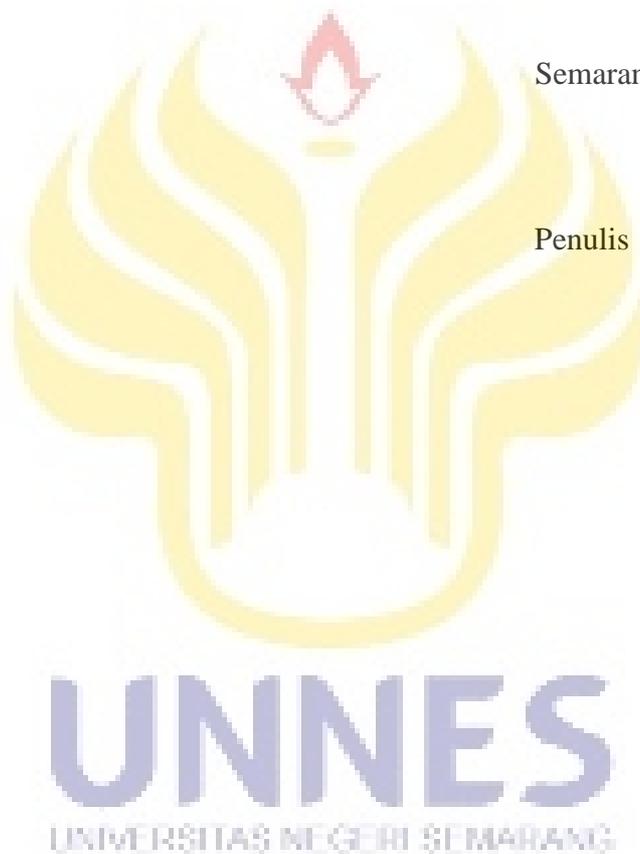
1. Dr. Nur Qudus M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Dewi Selvia Fadhyanti, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberi bimbingan, motivasi dan pengarahan yang membangun dalam penyusunan Skripsi.
4. Dr. Ratna Dewi K., S.T., M.T. dan Prima Astuti Handayani, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam penyempurnaan penyusunan Skripsi.
5. Para Dosen Jurusan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
6. Danang Subarkah, S.Si. selaku laboran Jurusan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang yang telah membantu dan membimbing selama praktikum penelitian di laboratorium.
7. Ayah, Ibu dan keluarga kami, terima kasih atas segala doa, kasih sayang, semangat, motivasi, dan dorongan serta dukungan baik moril maupun materiil dalam penyelesaian studi di bangku perkuliahan.
8. Teman-teman mahasiswa Teknik Kimia Unnes 2012 yang saling memberi semangat, dukungan, dorongan, dan doa selama berjuang bersama menempuh jenjang S1 di Universitas Negeri Semarang.

9. Seluruh mahasiswa Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang yang memberikan semangat, dukungan, dan motivasi serta doa untuk penulis.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan jauh dari sempurna, untuk itu besar harapan penulis dengan adanya koreksi, kritik, dan saran yang membangun. Semoga laporan ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan terutama di bidang teknik kimia dan semoga Allah SWT membalas dengan imbalan yang setimpal bagi pihak-pihak yang telah membantu.

Semarang, 01 Agustus 2016

Penulis



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING .....	ii
PENGESAHAN KELULUSAN .....	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN .....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	v
INTISARI .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA .....	5
2.1 Limbah Industri Tekstil .....	6
2.2 Fenol .....	10
2.3 Metanol .....	11
2.4 Aseton .....	12
2.5 Kerosen .....	13
2.6 Ekstraksi Cair-Cair .....	13
2.7 Kestimbangan Cair-Cair .....	16
2.8 Estimasi Koefisien Aktifitas .....	18
2.9 Penentuan Kadar Fenol Total .....	21

BAB III METODE PENELITIAN .....	22
3.1 Bahan .....	22
3.2 Alat .....	22
3.3 Variabel Penelitian .....	22
3.4 Prosedur Penelitian.....	22
3.4.1 Penentuan Kadar Fenol Total pada Sampel Limbah Cair Industri Tekstil .....	22
3.4.2 Pembuatan Larutan Umpan .....	23
3.4.3 Pembuatan Larutan Solven .....	24
3.4.4 Proses Ekstraksi Senyawa Fenol .....	24
3.4.5 Analisa Kadar Fenol .....	25
3.4.6 Perhitungan Rendemen .....	25
3.4.7 Perhitungan Koefisien Distribusi .....	25
3.4.8 Perhitungan Koefisien Aktivitas dan Permodelan Kesetimbangan .....	25
3.5 Blok Diagram Alir Penelitian .....	26
3.6 Blok Diagram Alir Permodelan .....	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN ...	28
4.1 Hasil Analisis Kandungan Total Fenol pada Limbah Cair Industri Tekstil .....	28
4.2 Ekstraksi Senyawa Fenol .....	28
4.2.1 Penentuan Waktu Kesetimbangan pada Ekstraksi Senyawa Fenol dari Limbah Cair Industri Tekstil.....	28
4.2.2 Pengaruh Suhu terhadap Rendemen pada Ekstraksi Senyawa Fenol dari Limbah Cair Industri Tekstil.....	29
4.2.3 Pengaruh Kecepatan Pengadukan terhadap Rendemen pada Ekstraksi Senyawa Fenol dari Limbah Cair Industri Tekstil.....	31
4.2.4 Pengaruh Pelarut terhadap Rendemen pada Ekstraksi Senyawa Fenol dari Limbah Cair Industri Tekstil.....	32
4.2.5 Pengaruh Suhu terhadap Rendemen pada Ekstraksi Senyawa Fenol dari Limbah Cair Industri Tekstil.....	32

4.2.6 Pengaruh Kecepatan Pengadukan terhadap Koefisien Distribusi pada Ekstraksi Senyawa Fenol dari Limbah Cair Industri Tekstil .....	34
4.2.7 Pengaruh Solven terhadap Koefisien Distribusi pada Ekstraksi Senyawa Fenol dari Limbah Cair Industri Tekstil .....	35
4.2.8 Pemodelan Kesetimbangan Cair-Cair pada Ekstraksi Fenol dari Limbah Cair Industri Tekstil dengan Pelarut Aseton .....	36
4.2.9 Pemodelan Kesetimbangan Cair-Cair pada Ekstraksi Fenol dari Limbah Cair Industri Tekstil dengan Pelarut Metanol.....	39
<b>BAB V SIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>43</b>
5.1 Simpulan .....	43
5.2 Saran .....	43
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>44</b>
<b>LAMPIRAN 1. PERHITUNGAN</b> .....	<b>47</b>
<b>LAMPIRAN 2. DOKUMENTASI PENELITIAN</b> .....	<b>79</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Jumlah Perusahaan Industri Besar Sedang Tahun 2008-2014 .....	1
Tabel 2.1	Hasil Pemeriksaan Kualitas Limbah Cair Pabrik CV Giyant Santoso Banaran Surakarta Pada Tahun 2003 .....	9
Tabel 4.1	Data Keseimbangan Cair-Cair Ekstraksi Fenol di Fase Ekstrak ....	36
Tabel 4.2	Data Keseimbangan Cair-Cair Ekstraksi Fenol di Fase Rafinat ....	36
Tabel 4.3	Koefisien Aktifitas Hasil Perhitungan dengan Model Three-Suffix Margulles untuk Ekstraksi Fenol Menggunakan Pelarut Aseton ....	37
Tabel 4.4	Parameter Interaksi dengan Model Three-Suffix Margulles untuk Ekstraksi Fenol Menggunakan Pelarut Aseton .....	37
Tabel 4.5	Data Keseimbangan Cair-Cair Ekstraksi Fenol di Fase Ekstrak ....	39
Tabel 4.6	Data Keseimbangan Cair-Cair Ekstraksi Fenol di Fase Rafinat .....	39
Tabel 4.7	Koefisien Aktifitas Hasil Perhitungan dengan Model Three-Suffix Margulles untuk Ekstraksi Fenol Menggunakan Pelarut Metanol ..	40
Tabel 4.8	Parameter Interaksi dengan Model Three-Suffix Margulles untuk Ekstraksi Fenol Menggunakan Pelarut Metanol .....	40



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Fenol ( $C_6H_5OH$ ) .....	10
Gambar 3.1	Diagram Alir Proses Ekstraksi .....	26
Gambar 3.2	Diagram Alir Perhitungan Pemodelan.....	27
Gambar 4.1	Hubungan Absorbansi & Waktu Kesenjangan di Fase Ekstraksi pada Ekstraksi Senyawa Fenol dari Limbah Cair Industri Tekstil .....	28
Gambar 4.2	Hubungan Absorbansi & Waktu Kesenjangan di Fase Rafinat pada Ekstraksi Senyawa Fenol dari Limbah Cair Industri Tekstil .....	29
Gambar 4.3	Hubungan Rendemen & Suhu terhadap Kecepatan Pengadukan pada Ekstraksi Senyawa Fenol dengan Pelarut Aseton dan Pelarut Metanol.....	29
Gambar 4.4	Hubungan Rendemen & Kecepatan Pengadukan terhadap Suhu pada Ekstraksi Senyawa Fenol dengan Pelarut Aseton dan Pelarut Metanol.....	31
Gambar 4.5	Hubungan Koefisien Distribusi & Suhu terhadap Kecepatan Pengadukan pada Ekstraksi Senyawa Fenol dengan Pelarut Aseton dan Pelarut Metanol.....	32
Gambar 4.6	Hubungan Koefisien Distribusi & Kecepatan Pengadukan terhadap Suhu pada Ekstraksi Senyawa Fenol dengan Pelarut Aseton dan Pelarut Metanol.....	34
Gambar 4.7	Hubungan Antara Data Hitung dan Data Eksperimen untuk Ekstraksi Fenol Menggunakan Pelarut Aseton Pada Suhu (A) 27°C, (B) 40°C, (C) 50°C dengan Model <i>Three-uffix</i> Margules.....	38
Gambar 4.8	Hubungan Antara Data Hitung dan Data Eksperimen untuk Ekstraksi Fenol Menggunakan Pelarut Metanol Pada Suhu (A) 27°C, (B) 40°C, (C) 50°C dengan Model <i>Three-uffix</i> Margule.....	41

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan .....	47
1. Ekstraksi Fenol Menggunakan Pelarut Aseton .....	47
Lampiran 1.1 Volume Ekstrak dan Rafinat .....	47
Lampiran 1.2 Data Absorbansi Fenol di Ekstrak dan Rafinat .....	47
Lampiran 1.3 Kurva Kalibrasi Fenol - Aseton .....	48
Lampiran 1.4 Kurva Kalibrasi Fenol - Kerosen .....	48
Lampiran 1.5 Data Konsentrasi Fenol di Ekstrak .....	49
Lampiran 1.6 Data Konsentrasi Fenol di Rafinat .....	49
Lampiran 1.7 Perhitungan Konsentrasi Komponen di Fase Ekstrak .....	50
Lampiran 1.8 Perhitungan Konsentrasi Komponen di Fase Rafinat .....	51
Lampiran 1.9 Perhitungan Fraksi Massa .....	52
Lampiran 1.10 Perhitungan Koefisien Distribusi .....	53
Lampiran 1.11 Perhitungan Rendemen .....	53
2. Ekstraksi Fenol Menggunakan Pelarut Metanol .....	54
Lampiran 2.1 Volume Ekstrak dan Rafinat .....	54
Lampiran 2.2 Data Absorbansi di Ekstrak dan Rafinat .....	54
Lampiran 2.3 Kurva Kalibrasi Fenol - Metanol .....	55
Lampiran 2.4 Kurva Kalibrasi Fenol - Kerosen .....	55
Lampiran 2.5 Data Konsentrasi Fenol di Ekstrak .....	56
Lampiran 2.6 Data Konsentrasi Fenol di Rafinat .....	56
Lampiran 2.7 Perhitungan Konsentrasi Komponen di Fase Ekstrak .....	57
Lampiran 2.8 Perhitungan Konsentrasi Komponen di Fase Rafinat .....	58
Lampiran 2.9 Perhitungan Fraksi Massa .....	59
Lampiran 2.10 Perhitungan Koefisien Distribusi .....	60
Lampiran 2.11 Perhitungan Rendemen .....	60
3. Pemodelan Kesetimbangan Cair-Cair Ekstraksi Fenol Menggunakan Pelarut Aseton .....	61
Lampiran 3.1 Suhu 27°C dengan Kecepatan Pengadukan 100 rpm .....	61
Lampiran 3.2 Suhu 27°C dengan Kecepatan Pengadukan 200 rpm .....	62
Lampiran 3.3 Suhu 27°C dengan Kecepatan Pengadukan 300 rpm .....	63

Lampiran 3.4 Suhu 40°C dengan Kecepatan Pengadukan 100 rpm .....	64
Lampiran 3.5 Suhu 40°C dengan Kecepatan Pengadukan 200 rpm .....	65
Lampiran 3.6 Suhu 40°C dengan Kecepatan Pengadukan 300 rpm .....	66
Lampiran 3.7 Suhu 50°C dengan Kecepatan Pengadukan 100 rpm .....	67
Lampiran 3.8 Suhu 50°C dengan Kecepatan Pengadukan 200 rpm .....	68
Lampiran 3.9 Suhu 50°C dengan Kecepatan Pengadukan 300 rpm .....	69
4. Pemodelan Kesetimbangan Cair-Cair Ekstraksi Fenol Menggunakan Pelarut Metanol .....	70
Lampiran 4.1 Suhu 27°C dengan Kecepatan Pengadukan 100 rpm .....	70
Lampiran 4.2 Suhu 27°C dengan Kecepatan Pengadukan 200 rpm .....	71
Lampiran 4.3 Suhu 27°C dengan Kecepatan Pengadukan 300 rpm .....	72
Lampiran 4.4 Suhu 40°C dengan Kecepatan Pengadukan 100 rpm .....	73
Lampiran 4.5 Suhu 40°C dengan Kecepatan Pengadukan 200 rpm .....	74
Lampiran 4.6 Suhu 40°C dengan Kecepatan Pengadukan 300 rpm .....	75
Lampiran 4.7 Suhu 50°C dengan Kecepatan Pengadukan 100 rpm .....	76
Lampiran 4.8 Suhu 50°C dengan Kecepatan Pengadukan 200 rpm .....	77
Lampiran 4.9 Suhu 50°C dengan Kecepatan Pengadukan 300 rpm .....	78
Lampiran 2. Dokumentasi Penelitian .....	79
Gambar 1. Proses Ekstraksi .....	79
Gambar 2. Pemisahan Sampel .....	79
Gambar 3. Pemisahan .....	79
Gambar 4. Ekstrak dan Rafinat .....	79

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk, bertambah pula kebutuhan manusia terhadap barang-barang keperluan sehari-hari termasuk diantaranya pakaian. Dengan semakin meningkatnya jumlah penduduk, maka kebutuhan akan pakaian menjadi semakin tinggi. Hal ini disebabkan semakin besarnya permintaan pasar terhadap produk garmen.

Perkembangan industri tekstil di Indonesia berkembang dengan pesat karena tekstil juga merupakan salah satu komoditas ekspor utama Indonesia. Industri tekstil selalu menjadi penyumbang devisa ekspor terbesar untuk komoditas nonmigas. Bahan baku industri tekstil di Indonesia pada umumnya menggunakan serat-serat tumbuhan seperti kapas, selain itu digunakan juga serat hewan yaitu wol dan sutera, serta dari serat atau bahan sintetik lain seperti nilon, polyester dan akrilik. Industri tekstil yang umum terdapat di Indonesia adalah industri pembuatan benang (pemintalan) dan industri pembuatan kain (pertenunan dan perajutan). Dari data yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik, jumlah industri tekstil di Indonesia sampai pada tahun 2014 sebanyak 2304 perusahaan.

Tabel 1.1 Jumlah Perusahaan Industri Besar Sedang Tahun 2008-2014

Industri	Jumlah Perusahaan						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Tekstil	2450	2366	2333	2251	2246	2287	2304
Pakaian Jadi	2604	2395	2242	2222	2248	2248	2034

Sumber: Badan Pusat Statistik, 2015

Seiring dengan banyaknya industri tekstil, timbul masalah-masalah terutama yang berhubungan dengan kesehatan dan penyakit pada masyarakat di sekitarnya akibat pencemaran air oleh buangan limbah industri. Limbah merupakan buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi baik industri maupun domestik yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungan karena tidak memiliki nilai ekonomis. Limbah cair merupakan unsur pencemaran

yang sangat potensial bagi lingkungan air. Unsur tersebut dapat membahayakan baik terhadap manusia maupun kehidupan biota air. Oleh karena itu, pengolahan limbah cair menjadi semakin penting.

Secara umum, limbah cair industri tekstil mempunyai karakteristik berwarna, pH tinggi, kadar BOD, COD, suhu, padatan terlarut dan tersuspensi tinggi (Hudiyono dkk, 1999). Limbah cair tekstil dimungkinkan juga mengandung logam berat, serta zat aktif permukaan yang sukar diuraikan secara alami seperti fenol, formaldehid, dan klorobenzol.

Senyawa fenol yang dibuang ke perairan dengan tingkat konsentrasi yang tinggi dalam air limbah tanpa pengolahan yang baik sangat berpotensi menyebabkan pencemaran air dan akan menyebabkan kerusakan lingkungan. Senyawa fenol ini dapat dikatakan aman jika masih memenuhi persyaratan perairan KMA (Kualitas Mutu Air) kelas II dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: KEP-51/MEN-LH/10/1.

Limbah yang mengandung fenol jika dibuang ke lingkungan akan membahayakan kehidupan makhluk hidup disekitarnya. Senyawa fenol berbahaya karena bersifat karsinogenik dan terdegradasi sangat lambat oleh cahaya matahari. Fenol merupakan senyawa organik yang sangat toksis, mempunyai rasa dan bau yang sangat tajam serta dapat menyebabkan iritasi kulit. Apabila fenol berada di perairan maka dapat mempengaruhi jaringan pada ikan dan hewan yang hidup dalam air lainnya. Fenol dalam konsentrasi rendah dalam air dapat menimbulkan gejala-gejala penolakan tubuh. Sedangkan senyawa fenol dalam konsentrasi yang besar bersifat dapat membakar kulit, sehingga jika kontak dengan kulit, fenol akan terabsorpsi dengan cepat ke dalam kulit sehingga permukaan kulit menjadi putih dan kemudian akan bereaksi dengan darah pada bagian tertentu sehingga dapat menimbulkan kematian.

Fenol sebenarnya mempunyai nilai ekonomis yang tinggi karena harganya yang mahal karena penggunaan senyawa fenol yang terbilang luas. Dalam kehidupan sehari-hari, fenol dikenal sebagai karbol atau lisol yang berfungsi sebagai zat disinfektan. Penggunaan fenol biasanya menjadi komponen utama pada antiseptik dagang, triklorofenol atau dikenal sebagai TCP. Fenol berfungsi

dalam pembuatan obat-obatan (bagian dari produksi aspirin), pembasmi rumput liar, dan lainnya. Dalam bidang kimia, fenol juga sering dipakai sebagai reagen dalam analisis kimia. Senyawa fenol seringkali digunakan untuk pengukuran konsentrasi karbohidrat protein dalam metode asam sulfur.

Beberapa peneliti yang sudah melakukan ekstraksi fenol, diantaranya ekstraksi fenol dari tir batu bara oleh Jiao dkk. (2015) yang telah melakukan ekstraksi fenol dari dalam tir batu bara menggunakan senyawa amida, Shi dkk. (2012) telah melakukan ekstraksi fenol dalam tir batu bara yang di produksi dari sistem multi-generasi menggunakan pelarut alkali dan asam sulfat, Fardhyanti dkk. (2012) melakukan ekstraksi senyawa fenol dari tir batu bara menggunakan pelarut metanol dan aseton.

Senyawa fenol tersebut akan dipisahkan dari limbah cairnya, agar tidak mencemari lingkungan dan nantinya senyawa fenol tersebut dapat dimurnikan dan dijual. Untuk memisahkan senyawa fenol tersebut digunakan metode ekstraksi cair-cair dengan bantuan solven atau pelarut. Metode ekstraksi cair-cair digunakan pada penelitian ini untuk mengembangkan proses pengolahan limbah, karena proses ekstraksi cair-cair ini masih sangat jarang dilakukan untuk mengatasi masalah dalam pengolahan limbah cair industri. Selain itu, penelitian ini dilakukan untuk mempelajari kesetimbangan ekstraksi cair-cair pada proses pemisahan senyawa fenol dalam limbah cair industri tekstil. Hasil dari penelitian ini digunakan untuk mendapatkan data-data kesetimbangan ekstraksi cair-cair dari senyawa fenol dengan menggunakan solven metanol dan aseton. Metanol dan aseton dipilih sebagai larutan solven karena sesuai dengan kriteria pelarut yang baik digunakan pada ekstraksi cair-cair. Penelitian yang sudah dilakukan oleh Dewi dkk. (2007) menunjukkan bahwa ekstraksi fenol tertinggi menggunakan pelarut metanol yang terdapat dalam dedak sorgum untuk dimanfaatkan sebagai antioksidan. Mu'nisa dkk. (2012) mengambil senyawa fenol yang terdapat dalam daun cengkeh sebagai antioksidan alami menggunakan pelarut metanol sebagai pelarut yang dapat mengekstrak fenol terbanyak. Dari data kesetimbangan tersebut, akan diperoleh kondisi optimum untuk proses pemungutan senyawa fenol dari limbah cair industri tekstil sehingga senyawa fenol yang terekstrak

dapat maksimal. Data kesetimbangan dari penelitian ini juga dapat digunakan untuk mendapatkan data interaksi antar komponen yang akan menunjang perancangan alat proses. Untuk jenis-jenis alat tertentu, keadaan setimbang sudah hampir tercapai misalnya pada ekstraksi dengan *mixer-settler* dan menara distilasi dengan plat-plat, sehingga teori atau data kesetimbangan dapat dimanfaatkan untuk perhitungan peralatan-peralatan tersebut.

## 1.2 Perumusan Masalah

Dari uraian di atas, ada beberapa permasalahan yang akan diteliti yaitu:

1. Bagaimana pengaruh jenis solven yang digunakan terhadap rendemen dan koefisien distribusi pada proses ekstraksi senyawa fenol dari limbah cair industri tekstil?
2. Bagaimana pengaruh suhu terhadap rendemen dan koefisien distribusi pada proses ekstraksi senyawa fenol dari limbah cair industri tekstil?
3. Bagaimana pengaruh kecepatan pengadukan terhadap rendemen dan koefisien distribusi pada proses ekstraksi senyawa fenol dari limbah cair industri tekstil?
4. Bagaimana pemodelan kesetimbangan cair-cair pada proses ekstraksi senyawa fenol dari limbah cair industri tekstil?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh jenis solven yang digunakan terhadap rendemen dan koefisien distribusi pada proses ekstraksi senyawa fenol dari limbah cair industri tekstil.
2. Mengetahui pengaruh suhu terhadap rendemen dan koefisien distribusi pada proses ekstraksi senyawa fenol dari limbah cair industri tekstil.
3. Mengetahui pengaruh kecepatan pengadukan terhadap rendemen dan koefisien distribusi pada proses ekstraksi senyawa fenol dari limbah cair industri tekstil.

4. Mengetahui pemodelan kesetimbangan cair-cair pada proses ekstraksi senyawa fenol dari limbah cair industri tekstil.

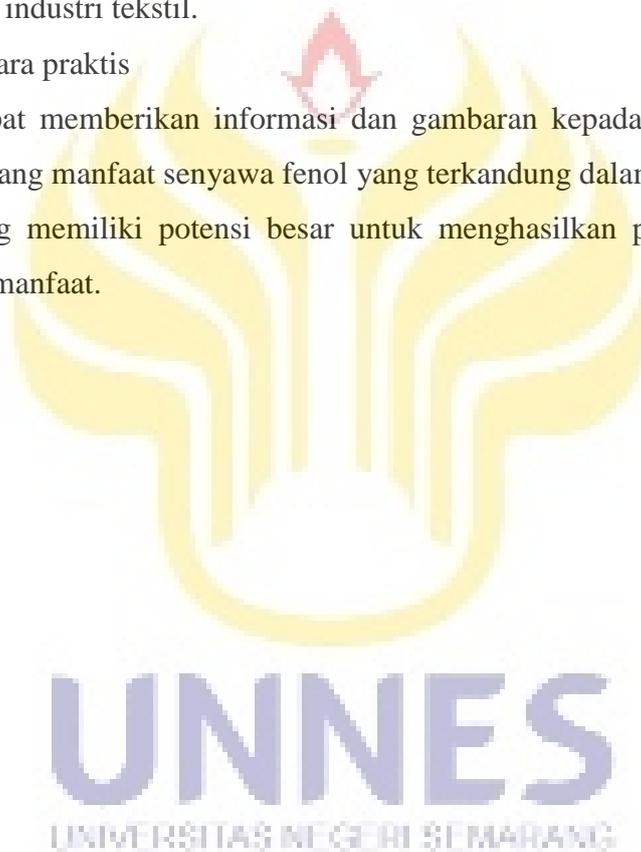
#### **1.4 Manfaat Penelitian**

1. Secara teoritis

Memberikan sumbangan pemikiran dalam mengembangkan ilmu pengetahuan dan pemanfaatan senyawa yang terkandung dalam limbah cair industri tekstil.

2. Secara praktis

Dapat memberikan informasi dan gambaran kepada masyarakat umum tentang manfaat senyawa fenol yang terkandung dalam limbah cair tekstil yang memiliki potensi besar untuk menghasilkan produk yang sangat bermanfaat.



## BAB II KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Limbah Industri Tekstil

Limbah cair atau air limbah adalah sisa air yang dibuang yang berasal dari rumah tangga, industri maupun tempat-tempat umum lainnya dan pada umumnya mengandung bahan-bahan atau zat-zat yang dapat membahayakan bagi kesehatan manusia serta mengganggu lingkungan hidup. Ada pula yang mendefinisikan bahwa air limbah adalah kombinasi dari cairan dan sampah cair yang berasal dari daerah pemukiman, perdagangan, perkantoran, dan industri yang bercampur dengan air tanah, air permukaan, dan air hujan. Secara umum limbah cair berasal dari dua jenis sumber, yaitu air limbah rumah tangga dan air limbah industri. Pada limbah cair rumah tangga tidak terkandung zat-zat berbahaya, sedangkan di dalam limbah industri harus dibedakan antara limbah yang mengandung zat-zat yang berbahaya dan yang tidak. Menurut Notoatmodjo (2003), air limbah adalah sisa air yang dibuang yang berasal dari rumah tangga, industri maupun tempat-tempat umum lainnya, dan pada umumnya mengandung bahan-bahan atau zat-zat yang membahayakan bagi kesehatan manusia serta mengganggu lingkungan hidup.

Salah satu masalah lingkungan yang sering dijumpai di berbagai wilayah di Indonesia adalah pencemaran oleh air limbah yang mengandung fenol yang dihasilkan dari industri perminyakan, kertas, tekstil, *electroplating*, industri herbisida dan fungisida (Villasenor *et al*, 2002). Limbah cair mempunyai efek negatif bagi lingkungan karena mengandung zat-zat beracun yang mengganggu keseimbangan lingkungan dan kehidupan makhluk hidup yang terdapat di dalamnya. Karakteristik kimia bahan organik dalam limbah cair adalah sebagai berikut:

#### a. Protein

Protein merupakan bagian yang penting dari makhluk hidup, termasuk di dalamnya tanaman, dan hewan bersel satu. Protein mengandung karbon, hidrogen, dan oksigen yang mempunyai bobot molekul sangat tinggi. Struktur kimianya sangat kompleks dan tidak stabil serta mudah terurai, sebagaimana ada yang larut

dalam air, tetapi ada yang tidak. Susunan protein sangat majemuk dan terdiri dari beribu-ribu asam amino dan merupakan bahan pembentuk sel dan inti sel. Di dalam limbah cair, protein merupakan unsur penyebab bau, karena adanya proses pembusukan dan peruraian oleh bakteri.

b. Karbohidrat

Karbohidrat antara lain : gula, pati, selulosa dan benang-benang kayu terdiri dari unsur C, H, dan O. Gula dalam limbah cair cenderung terdekomposisi oleh enzim dari bakteri-bakteri tertentu dan ragi menghasilkan alkohol dan gas CO<sub>2</sub> melalui proses fermentasi. Fermentasi merupakan proses peruraian metabolik dari bahan organik oleh mikroorganisme yang menghasilkan energi dan gas, yang berlangsung dalam kondisi anaerobik. Metabolisme merupakan peristiwa pembentukan dan peruraian zat di dalam diri makhluk hidup yang memungkinkan berlangsungnya hidup. Pati merupakan salah satu karbohidrat yang relatif lebih stabil, tetapi dapat diubah menjadi gula oleh aktivitas bakteri. Sedangkan selulosa merupakan salah satu karbohidrat yang paling tahan terhadap dekomposisi atau peruraian bakteri. Karbohidrat ini keberadaannya dalam limbah cair mengakibatkan bau busuk dan turunnya oksigen terlarut, sehingga dapat mengganggu kehidupan biota air.

c. Minyak dan lemak

Minyak adalah lemak yang bersifat cair. Keduanya mempunyai komponen utama karbon dan hidrogen yang mempunyai sifat tidak larut dalam air. Bahan-bahan tersebut banyak terdapat pada makanan, hewan, manusia dan bahkan ada dalam tumbuh-tumbuhan sebagai minyak nabati. Sifat lainnya adalah relatif stabil, tidak mudah terdekomposisi oleh bakteri.

d. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD adalah banyaknya oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa organik secara kimiawi. Hasil analisis COD menunjukkan kandungan senyawa organik yang terdapat dalam limbah. Analisis COD dapat dilakukan dengan metode dikromat.

e. BOD (*Biological Oxygen Demand*)

BOD adalah jumlah kebutuhan oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi senyawa organik yang ada dalam limbah. Hasil analisa BOD menunjukkan besarnya kandungan senyawa organik yang dapat terbiodegradasi.

f. Deterjen

Deterjen termasuk bahan organik yang sangat banyak digunakan untuk keperluan rumah tangga, hotel, dan rumah sakit. Bahan aktif pembersih yang terkandung dalam deterjen di Indonesia sebelum tahun 1993 masih menggunakan ABS (*Alkyl Benzene Sulfonate*). ABS ini dapat menimbulkan busa yang mempunyai sifat tahan terhadap peruraian biologis, sehingga dapat menimbulkan masalah pencemaran air. Sejak tahun 1993, bahan aktif ini diganti dengan LAS (*Linear Alkyl Sulfonate*) yang busanya dapat diuraikan, walaupun harganya relative lebih mahal.

g. Fenol

Fenol juga merupakan bahan organik yang mempunyai sifat larut dalam air. Bahan ini dalam air dapat menyebabkan iritasi yang kuat, racun terhadap kulit dan dapat menyebabkan gangguan terhadap tenggorokan. Toleransi pengolahan untuk air limbah industri adalah 0,5 mg/l, bila melebihi akan sulit untuk diuraikan secara biologis. Toleransi maksimum untuk air limbah adalah 0,02 mg/l (Metcalf and Eddy, 2004).

Limbah industri tekstil sebagian besar mengandung pencemar berupa zat warna yang digunakan pada proses pencelupan. Pada proses pewarnaan tekstil lebih banyak digunakan zat warna sintetik dibandingkan dengan zat warna alam karena zat warna sintetis dapat memenuhi kebutuhan skala besar dengan warna yang bervariasi dan lebih praktis dalam pemakaiannya (Sastrawidana, 2011).

Hasil pemeriksaan kualitas limbah cair pada salah satu pabrik tekstil di Indonesia yaitu CV Giyant Santoso Banaran Surakarta yang dilakukan oleh Balai teknik Kesehatan Lingkungan (BTKL) Yogyakarta, dapat diketahui bahwa kadar BOD dan COD berada di atas baku mutu limbah cair industri tekstil menurut Keputusan Kementrian Lingkungan Hidup nomor 51 tahun 1995. Tingginya kadar

BOD dan COD disebabkan karena banyaknya bahan organik yang didegradasi oleh mikroorganisme. Selain itu, pada pemeriksaan ini juga diketahui adanya kadar senyawa fenol yang melebihi kadar maksimum limbah cair tekstil. Senyawa fenol yang terkandung dalam industri tekstil ini sebesar 1,0692 mg/l.

Tabel 2.1 Hasil Pemeriksaan Kualitas Limbah Cair Pabrik CV Giyant Santoso Banaran Surakarta Pada Tahun 2003

Parameter	Kadar Maksimum Limbah Cair Tekstil	Hasil Pemeriksaan BTKL
BOD (mg/l)	60	869
COD (mg/l)	150	2200
Fenol (mg/l)	0,5	1,0692
Cr (mg/l)	1	0,0458
pH	6 sampai 9	6,9
Minyak dan Lemak (mg/l)	3	0,38
TSS (mg/l)	50	243
TDS (mg/l)	2000**	1857

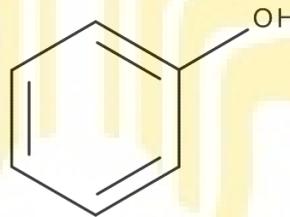
Selain data yang didapat dari pabrik batik CV Giyant Santoso Banaran Surakarta, adapula data yang diperoleh industri tekstil PT Co yang menghasilkan limbah dengan kandungan fenol sebanyak 0,678 mg/l (Yusriani, 2009). Berdasarkan kedua data tersebut, dapat dilihat bahwa kualitas limbah cair buangan industri tekstil di Indonesia masih berada diatas ambang batas kelayakan baku mutu air, sehingga dapat menimbulkan pencemaran yang berakibat buruk bagi manusia dan kehidupan ekosistem bawah air.

Proses pemurnian air buangan yang masih banyak digunakan terutama di negara-negara berkembang adalah dengan menggunakan teknologi konvensional. Pengolahan ini hanya dapat menghilangkan partikulat-partikulat tersuspensi, sedangkan kontaminan berupa senyawa organik dan ion-ion belum dapat dihilangkan dengan proses tersebut. sebenarnya untuk senyawa organik, pengolahan dapat dilakukan dengan menggunakan klor. Akan tetapi, proses ini

apat menghasilkan senyawa samping yaitu *Trihalometan* yang merupakan senyawa karsinogenik dan teratogenik.

## 2.2 Fenol

Fenol ( $C_6H_5OH$ ) merupakan molekul aromatik yang mengandung gugus hidroksil yang terikat pada struktur cincin aromatik dan mudah larut dalam air (Patrick, 2004). Fenol dikenal dengan nama asam karbolat yang merupakan jenis asam yang lebih kuat dari alkohol sehingga cukup toksik pada jaringan dan berbau sangat menyengat. Beberapa karakteristik senyawa fenol yang harus diperhatikan antara lain mudah terbakar, berbau tajam, tidak berwarna, *Crystalline mass*, *Syrupy liquid*, mudah larut dalam alkohol, gliserol, minyak tanah, kloroform, ether, dan sangat larut dalam air.



Gambar 2.1. Struktur Fenol ( $C_6H_5OH$ )

Fenol sebagai salah satu dari sekian banyak senyawa turunan benzena memiliki sifat umum, diantaranya senyawa fisik dan senyawa kimia. Senyawa fisik yang dimiliki adalah zat cair tidak berwarna, memiliki bau yang khas, mudah menguap, titik leleh  $5,5\text{ }^{\circ}C$ , titik didih  $80,1\text{ }^{\circ}C$ , dan densitas sebesar 0,88. Sedangkan senyawa kimia yang dimiliki adalah bersifat karsinogenik, merupakan senyawa non polar, tidak begitu reaktif tetapi mudah terbakar dengan menghasilkan banyak jelaga, lebih mudah mengalami reaksi substitusi dari pada adisi.

Fenol dan senyawa turunannya merupakan zat berbahaya karena bersifat racun dan sangat sulit didegradasi oleh organisme pengurai. Dalam konsentrasi tertentu masuknya fenol dan turunannya dapat menyebabkan efek karsinogenik

pada binatang dan manusia. Bila mencemari perairan dapat membuat rasa dan bau tidak sedap, dan pada nilai konsentrasi tertentu dapat menyebabkan kematian organisme di perairan tersebut. Fenol juga merupakan senyawa kimia yang bersifat korosif yang dapat menyebabkan iritasi jaringan, kulit, mata dan mengganggu pernapasan manusia. Nilai ambang batas senyawa fenol untuk baku mutu air minum sebesar 0,001 ppm, mutu buangan air industri sebesar 0,3 ppm serta di lingkungan para pekerja gas fenol adalah 0,3 ppm<sup>2</sup>.

Dalam kehidupan sehari-hari, fenol dikenal sebagai karbol atau lisol yang berfungsi sebagai zat disinfektan. Penggunaan fenol biasanya menjadi komponen utama pada antiseptik dagang, triklorofenol atau dikenal sebagai TCP. Fenol juga merupakan bagian komposisi beberapa anestetika oral, misalnya semprotan kloroseptik. Fenol berfungsi dalam pembuatan obat-obatan (bagian dari produksi aspirin), pembasmi rumput liar, dan lainnya. Secara besar-besaran dipakai dalam industri plastik dan resin fenol. Selain itu, penggunaannya juga dapat dijumpai dalam industri obat, tekstil, cat kayu, pupuk, perekat, dan lainnya. Dalam bidang kimia, fenol juga sering dipakai sebagai reagen dalam analisis kimia. Senyawa fenol seringkali digunakan untuk pengukuran konsentrasi karbohidrat protein dalam metode asam sulfur.

### 2.3 Metanol

Pelarut yang digunakan ada penelitian ini adalah metanol. Metanol dikenal juga sebagai metil alkohol, adalah senyawa kimia dengan rumus CH<sub>3</sub>OH. Metanol merupakan bentuk alkohol paling sederhana. Pada keadaan atmosfer ia berbentuk cairan yang ringan, mudah menguap, tidak berwarna, mudah terbakar, dan beracun dengan bau yang khas (berbau lebih ringan daripada etanol).

Rumus Molekul	: CH <sub>3</sub> OH
Penampilan	: cairan bening
Berat molekul	: 34,04 g/mol
Densitas	: 0,792 g/cm <sup>3</sup>
Titik didih	: 145,8°F (64,7°C)
Tekanan Uap	: 97 mmHg

Titik Nyala : 52°F

Viskositas : 0,59 mPa pada 20°C

Metanol merupakan pelarut yang bersifat polar), sehingga dapat mengekstrak fenol dengan baik (Hart, 1983 dalam Dewi dkk., 2007), air bersifat sangat polar sehingga tidak dapat mengekstrak senyawa fenol dengan baik (Murtini dkk. 2007), sementara etanol bersifat semi polar (Mu'nisa dkk. 2012). Senyawa yang terekstrak dalam metanol bersifat polar dengan polaritas yang lebih rendah dibanding air (Mu'nisa dkk., 2012). Menurut Przybylski dkk. (2001) dalam Mu'nisa dkk., (2012) metanol merupakan pelarut yang paling baik dalam mengekstrak senyawa fenol. Pada penelitian Mu'nisa dkk. (2007) kadar total ekstrak fenol menggunakan pelarut etanol dan air lebih rendah dari pelarut metanol.

#### 2.4 Aseton

Aseton merupakan keton yang paling sederhana, digunakan sebagai pelarut polar dalam kebanyakan reaksi organik. Aseton dikenal juga sebagai dimetil keton atau 2-propanon. Aseton adalah senyawa berbentuk cairan yang tidak berwarna dan mudah terbakar, digunakan untuk membuat plastik, serat, obat-obatan, dan senyawa-senyawa kimia lainnya. Selain dibuat secara industri, aseton juga dapat ditemukan secara alami, termasuk pada tubuh manusia dalam kandungan kecil.

Aseton memiliki gugus karbonil yang mempunyai ikatan rangkap dua karbon-oksigen terdiri atas satu ikatan  $\sigma$  dan satu ikatan  $\pi$ . Umumnya atom hidrogen yang terikat pada atom karbon sangat stabil dan sangat sukar diputuskan. Namun lain halnya dengan atom hidrogen yang berada pada karbon (C) di samping gugus karbonil yang disebut atom hidrogen alfa ( $\alpha$ ). Sebagai akibat penarikan elektron oleh gugus karbonil, kerapatan elektron pada atom karbon  $\alpha$  semakin berkurang, maka ikatan karbon dan hidrogen  $\alpha$  semakin melemah, sehingga hidrogen  $\alpha$  menjadi bersifat asam dan dapat mengakibatkan terjadinya substitusi  $\alpha$ . Substitusi  $\alpha$  melibatkan penggantian atom H pada atom karbon  $\alpha$  dengan elektrofilik .

Aseton mempunyai atom hidrogen alfa bersifat asam, oleh karena itu dapat terionisasi menghasilkan ion enolat. Ion enolat dapat berada dalam dua bentuk yaitu bentuk keto dan bentuk enol yang disebut bentuk tautomerisasi. Tautomer adalah isomer-isomer pada senyawa karbonil yang hanya dibedakan oleh kedudukan ikatan rangkap dan yang disebabkan perpindahan letak atom hidrogen alfa ke atom oksigen.

## 2.5 Kerosen

Kerosen adalah bahan bakar minyak jenis distilat tidak berwarna dan jernih. Kerosen merupakan produk minyak bumi dengan titik didih antara 150 °C sampai dengan 300 °C dan memiliki berat jenis antara 0,79-0,83 gr/cm<sup>3</sup> pada 60 °F. Komponen utama kerosen adalah *parrafin*, *cycloalkanes (naftha)* serta senyawa aromatik, dimana parafin adalah komposisi terbesar. Kerosen tersusun sekurang-kurangnya atas 12 karbon tiap molekul.

Unsur pokok kerosen terutama sebagai hidrokarbon jenuh yang terdiri atas tetrahidronaftalin dan disikloparafin. Hidrokarbon lain seperti aromatik dan cincin–cincin sikloparafin atau sejenisnya. Ada juga diaromatik (cincin aromatik yang terkondensasi), seperti pada naftalin dan senyawaan dua cincin yang terisolasi dan sangat sedikit seperti pada bifenil (Darsono dkk., 2005).

Komponen fenol dari limbah cair industri tekstil yang dapat diambil terlarut dalam diluen merupakan senyawa alkana. Untuk mendekatinya pada penelitian ini sistem multi diluen itu didekati dengan kerosen yang juga merupakan campuran senyawa hidrokarbon jenis alkana yang mempunyai interaksi yang mirip (Fardhyanti, 2014).

## 2.6 Ekstraksi Cair-Cair

Ekstraksi cair-cair atau yang dikenal dengan ekstraksi solven merupakan proses pemisahan fasa cair yang memanfaatkan perbedaan kelarutan zat terlarut yang akan dipisahkan antara larutan asal dan pelarut pengestrak (solven). Ekstraksi cair-cair yaitu pemisahan solut dari cairan pembawa (diluen) menggunakan solven cair. Campuran diluen dan solven tersebut bersifat heterogen (*immiscible*, tidak

saling campur), dan jika dipisahkan terdapat 2 fase yaitu fase diluen (rafinat) dan fase solven (ekstrak).

Pemisahan solven menjadi sangat penting, solven yang digunakan dalam ekstraksi cair-cair harus memiliki sifat antara lain:

- a. Solut mempunyai kelarutan yang besar dalam solven, tetapi solven sedikit atau tidak melarutkan diluen.
- b. Tidak mudah menguap saat ekstraksi.
- c. Mudah dipisahkan dari solut, sehingga dapat digunakan kembali.

Berdasarkan sifat diluen dan solven, sistem ekstraksi dibagi menjadi 2 sistem:

- a. *Immiscible extraction*, solven dan diluen tidak saling larut.
- b. *Partially miscible*, solven sedikit larut dalam diluen dan sebaliknya. Meskipun demikian, campuran ini heterogen. Jika dipisahkan akan terdapat fase diluen dan fase solven.

Untuk mencapai proses ekstraksi cair-cair yang baik, pelarut yang digunakan harus memenuhi kriteria sebagai berikut (Martunus *and* Helwani, 2004):

- a. Kemampuan tinggi melarutkan komponen zat terlarut di dalam campuran.
- b. Kemampuan tinggi untuk diambil kembali.
- c. Perbedaan berat jenis antara ekstrak dan rafinat lebih besar.
- d. Pelarut dan larutan yang akan diekstraksi harus tidak mudah campur.
- e. Tidak mudah bereaksi dengan zat yang akan diekstraksi.
- f. Tidak merusak alat secara korosi.
- g. Tidak mudah terbakar, tidak beracun, dan harganya relatif murah.

Ekstraksi cair-cair digunakan bila pemisahan campuran dengan cara distilasi tidak mungkin dilakukan (misalnya karena pembentukan azeotrop atau karena kepekaannya terhadap panas) atau tidak ekonomis. Seperti ekstraksi padat cair, ekstraksi cair-cair selalu terdiri atas sedikitnya dua tahap, yaitu pencampuran secara intensif bahan ekstraksi dengan pelarut, dan pemisahan kedua fasa cair itu sesempurna mungkin.

Ada tiga faktor penting yang berpengaruh dalam peningkatan karakteristik hasil dalam ekstraksi cair-cair yaitu (Martunus dkk., 2006):

1. Perbandingan pelarut-umpan (S/F).  
Kenaikan jumlah pelarut (S/F) yang digunakan akan meningkatkan hasil ekstraksi tetapi harus ditentukan titik (S/F) yang minimum agar proses ekstraksi menjadi lebih ekonomis.
2. Waktu ekstraksi.  
Ekstraksi yang efisien adalah maksimumnya pengambilan solut dengan waktu ekstraksi yang lebih cepat.
3. Kecepatan pengadukan.  
Untuk ekstraksi yang efisien maka pengadukan yang baik adalah yang memberikan hasil ekstraksi maksimum dengan kecepatan pengadukan

Pertimbangan-pertimbangan dalam pemilihan pelarut yang digunakan adalah:

- a. Selektifitas (Faktor pemisahan =  $\beta$ )  
Agar proses ekstraksi dapat berlangsung, nilai  $\beta$  harus lebih besar dari satu. Jika nilai  $\beta = 1$  artinya kedua komponen tidak dapat dipisahkan. Dimana  $\beta$  adalah fraksi massa solut dalam ekstrak / fraksi massa diluen dalam ekstrak, atau fraksi massa solut dalam rafinat / fraksi massa diluen dalam rafinat.
- b. Koefisien distribusi

Secara umum dapat dituliskan sebagai berikut:

$$K = \frac{\text{Fraksi massa C pada fase ekstrak}}{\text{Fraksi massa C pada fase rafinat}} \dots\dots\dots (1)$$

Umumnya proses berjalan dengan memuaskan jika K bernilai lebih besar dari satu. Sebaiknya dipilih harga K yang besar, sehingga jumlah solven yang dibutuhkan lebih sedikit. Adapun koefisien distribusi dapat diplot dalam suatu kurva distribusi yang menggambarkan komposisi solut dalam kesetimbangan masing-masing fasa.

- c. *Recoverability* (Kemampuan untuk dimurnikan)  
Pemisahan solut dari solven biasanya dilakukan dengan cara distilasi, sehingga diharapkan harga *relative volatility* dari campuran tersebut cukup tinggi.
- d. Densitas  
Perbedaan densitas fasa solven dan fasa diluen harus cukup besar agar dapat terpisah. Perbedaan densitas ini akan berubah selama proses ekstraksi dan mempengaruhi laju perpindahan massa.
- e. Tegangan antar muka  
Tegangan antar muka besar menyebabkan penggabungan lebih mudah namun mempersulit proses pendispersian. Kemudahan penggabungan lebih dipentingkan sehingga dipilih pelarut yang memiliki tegangan antar muka yang besar.
- f. *Chemical reactivity*  
Pelarut merupakan senyawa yang stabil dan inert terhadap komponen-komponen dalam sistem dan material.
- g. Viskositas  
Tekanan uap dan titik beku dianjurkan rendah untuk memudahkan penanganan penyimpanan.
- h. Pelarut tidak beracun dan tidak mudah terbakar.

## 2.7 Kesetimbangan Cair-Cair

Kesetimbangan dapat dipandang sebagai kondisi statis dimana sistem tidak mengalami perubahan terhadap waktu. Dalam kondisi setimbang, semua beda potensial yang menyebabkan perubahan sama dengan nol. Namun jika ditinjau secara mikro, perpindahan tetap berlangsung tetapi dengan kecepatan yang sama. Dua fasa cair-cair dikatakan setimbang apabila temperatur dan tekanan kedua fasa sama serta potensial kimia masing-masing komponen di kedua fasa bernilai sama.

Dalam termodinamika suatu sistem termodinamik disebut berada dalam kesetimbangan termodinamik jika sistem tersebut berada dalam keadaan setimbang mekanis, setimbang thermal, dan setimbang secara kimia. dalam

kesetimbangan termodinamik, tidak ada kecenderungan untuk terjadi perubahan keadaan, baik untuk sistem maupun untuk lingkungannya. Kesetimbangan mekanis terjadi bila tidak adanya gaya yang tak berimbang di bagian dalam sistem, dan juga antara sistem dan lingkungannya. Dalam kesetimbangan termal semua bagian sistem mempunyai suhu sama, dan sistem juga memiliki suhu sama dengan lingkungannya. Dalam kesetimbangan kimia, suatu sistem tidak mengalami perubahan spontan dalam struktur internalnya, seperti reaksi kimia. Sistem dalam kesetimbangan kimia juga tidak mengalami perpindahan materi dari satu bagian sistem ke sistem lainnya, seperti difusi dan pelarutan. Bila ketiga syarat kesetimbangan tersebut tidak terpenuhi maka sistem termodinamik disebut dalam keadaan tidak setimbang.

Dua fasa cair-cair berada dalam kesetimbangan termodinamik apabila suhu dan tekanan kedua fasa sama serta potensial kimia masing-masing komponen di kedua fasa bernilai sama. Dengan demikian pada tekanan dan suhu tertentu, kriteria kesetimbangan cair-cair dapat dinyatakan sebagai:

$$\mu_i^I = \mu_i^{II} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana  $\mu_i$  adalah potensial kimia komponen  $i$  yang pada esensinya adalah partial molar *Gibbs Free Energy*  $\hat{g}_i$  dan superskrip I dan II masing-masing menyatakan fasa cair I dan fasa cair II. Melalui penurunan yang cukup panjang, kesamaan potensial kimia dapat ditransformasikan sebagai kesamaan fugasitas sehingga kriteria kesetimbangan dapat pula dinyatakan sebagai berikut (Prausnitz, 1959):

$$\hat{f}_i^I = \hat{f}_i^{II} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana  $\hat{f}_i^I$  adalah fugasitas parsial komponen  $i$  di fasa I. Dalam bentuk variabel-variabel terukur, fugasitas parsial suatu komponen dalam campuran fasa cair dapat diungkapkan sebagai (Prausnitz, 1959):

$$\hat{f}_i = x_i \cdot \gamma_i \cdot f_i^0 \dots\dots\dots (4)$$

Dimana  $x_i$  adalah fraksi mol komponen  $i$ ,  $\gamma_i$  adalah koefisien aktifitas komponen  $i$ , dan  $f_i^0$  adalah fugasitas komponen  $i$  murni pada temperatur dan tekanan sistem.

Dari persamaan (3) dan (4), kriteria kesetimbangan cair-cair dapat dinyatakan sebagai (Prausnitz, 1959):

$$x_i^I \cdot \gamma_i^I = x_i^{II} \cdot \gamma_i^{II} \dots\dots\dots (5)$$

Koefisien aktifitas dapat diperoleh dengan persamaan semiteoritik seperti persamaan Van Laar, persamaan Margules, persamaan Wilson, persamaan NRTL, atau metode-metode gugus seperti UNIQUAC, UNIFAC, dan ASOG.

## 2.8 Estimasi Koefisien Aktifitas

Dalam suatu campuran non ideal, hukum Roults tidak dapat memberikan pendekatan yang baik. Salah satu hubungan termodinamika yang digunakan sebagai piranti untuk mengkorelasikan data percobaan adalah persamaan Gibbs Duhem. Dengan persamaan Gibbs Duhem, koefisien aktifitas masing-masing komponen dalam campuran tidak independen satu dengan yang lain melainkan dihubungkan oleh suatu persamaan diferensial.

Koefisien aktifitas dapat diturunkan dari data energi bebas Gibbs eksek dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Smith, 1996):

$$\ln \gamma_i = \left[ \frac{\partial (nG^E / RT)}{\partial n_i} \right]_{P, T, n_j, j \neq i} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana  $G^E$  merupakan energi bebas Gibbs, R adalah konstanta gas, T adalah temperatur dan  $n_i$  adalah jumlah mol.

Pada penelitian ini menggunakan persamaan Margules (*Three-Suffix Margules*) untuk mengkorelasikan data-data kesetimbangan dengan pemodelan matematis.

### 1. Persamaan Margules

Dikembangkan oleh Margules (1895). Ada beberapa persamaan Margules dimana perbedaan persamaan yang satu dengan yang lain tergantung pada jumlah *suffix*. Persamaan *Three-Suffix* Margules mengandung satu buah parameter yang merupakan karakteristik dari komponen 1, 2, dan 3. Persamaan Margules mempunyai perhitungan matematika yang sederhana, evaluasi parameter yang mudah dari data koefisien aktifitas dan mencukupi untuk menyatakan suatu sistem

biner nonideal termasuk sistem cair yang larut sebagian (*partially miscible*). Tetapi untuk sistem multikomponen, membutuhkan parameter lebih banyak.

### Persamaan *Three-Suffix* Margulles

Parameter-parameter Margules yaitu (Prausnitz, 1998) :

- Pada fasa 1 :  $A_{12}, A_{21}, A_{13}, A_{31}, A_{23}, A_{32}$
- Pada fasa 2 :  $B_{12}, B_{21}, B_{13}, B_{31}, B_{23}, B_{32}$

Persamaan di fase I:

$$\begin{aligned} \ln \gamma_{X_A} = & A_{12}X_B^2 (1-2X_A) + 2A_{21}X_A X_B(1-X_A) + A_{13}X_C^2(1-2X_A) + 2A_{31}X_A X_C(1-X_A) \\ & - 2A_{23}X_B X_C^2 - 2A_{32}X_B^2 X_C + \left[ \frac{1}{2} (A_{12} + A_{21} + A_{13} + A_{23} + A_{32} - Q') \right] (X_B X_C - \\ & 2X_A X_B X_C) \dots \dots \dots (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ln \gamma_{X_B} = & A_{23}X_B^2 (1-2X_B) + 2A_{23}X_B X_C(1-X_B) + A_{21}X_A^2(1-2X_B) + 2A_{12}X_B X_A(1-X_B) \\ & - 2A_{31}X_C X_A^2 - 2A_{13}X_C^2 X_A + \left[ \frac{1}{2} (A_{23} + A_{32} + A_{21} + A_{31} + A_{13} - Q') \right] (X_C X_A - \\ & 2X_B X_C X_A) \dots \dots \dots (8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ln \gamma_{X_C} = & A_{31}X_A^2 (1-2X_C) + 2A_{13}X_C X_A(1-X_C) + A_{32}X_B^2(1-2X_C) + 2A_{23}X_C X_B(1-X_C) \\ & - 2A_{12}X_A X_B^2 - 2A_{23}X_A^2 X_B + \left[ \frac{1}{2} (A_{31} + A_{13} + A_{32} + A_{12} + A_{21} - Q') \right] (X_A X_B - \\ & 2X_C X_A X_B) \dots \dots \dots (9) \end{aligned}$$

Persamaan di fase II:

$$\begin{aligned} \ln \gamma_{Y_A} = & B_{12}Y_B^2 (1-2Y_A) + 2B_{21}Y_A Y_B(1-Y_A) + B_{13}Y_D^2(1-2Y_A) + 2B_{31}Y_A Y_D(1-Y_A) \\ & - 2B_{23}Y_B Y_D^2 - 2B_{32}Y_B^2 Y_D + \left[ \frac{1}{2} (B_{12} + B_{21} + B_{13} + B_{23} + B_{32} - Q') \right] (Y_B Y_D - \\ & 2Y_A Y_B Y_D) \dots \dots \dots (10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ln \gamma_{Y_B} = & B_{23}Y_D^2 (1-2Y_B) + 2B_{32}Y_B Y_D(1-Y_B) + B_{21}Y_A^2(1-2Y_B) + 2B_{12}Y_B Y_A(1-Y_B) \\ & - 2B_{31}Y_D Y_A^2 - 2B_{13}Y_B^2 Y_A + \left[ \frac{1}{2} (B_{23} + B_{32} + B_{21} + B_{31} + B_{13} - Q') \right] (Y_D Y_A - \\ & 2Y_B Y_D Y_A) \dots \dots \dots (11) \end{aligned}$$

$$\ln \gamma_{Y_D} = B_{31} Y_A^2 (1-2Y_D) + 2B_{13} Y_D Y_A (1-Y_D) + B_{32} Y_B^2 (1-2Y_D) + 2B_{23} Y_D Y_B (1-Y_D) - 2B_{12} Y_A Y_B^2 - 2B_{21} Y_A^2 Y_B + \left[ \frac{1}{2} (B_{31} + B_{13} + B_{32} + B_{12} + B_{21} - Q') \right] (Y_A Y_B - 2Y_D Y_A Y_B) \dots \dots \dots (12)$$

Dimana :

$X_A$  = komposisi solut di fase ekstrak

$X_B$  = komposisi solven di fase ekstrak

$X_C$  = komposisi air di fase ekstrak

$Y_A$  = komposisi solut di fase rafinat

$Y_B$  = komposisi solven di fase rafinat

$Y_D$  = komposisi kerosen di fase rafinat

$A_{12}$  = parameter interaksi solut terhadap solven di fase ekstrak

$A_{21}$  = parameter interaksi solven terhadap solut di fase ekstrak

$A_{13}$  = parameter interaksi solut terhadap air di fase ekstrak

$A_{31}$  = parameter interaksi air terhadap solut di fase ekstrak

$A_{23}$  = parameter interaksi solven terhadap air di fase ekstrak

$A_{32}$  = parameter interaksi air terhadap solven di fase ekstrak

$B_{12}$  = parameter interaksi solut terhadap solven di fase rafinat

$B_{21}$  = parameter interaksi solven terhadap solut di fase rafinat

$B_{13}$  = parameter interaksi solut terhadap kerosen di fase rafinat

$B_{31}$  = parameter interaksi kerosen terhadap solut di fase rafinat

$B_{23}$  = parameter interaksi solven terhadap kerosen di fase rafinat

$B_{32}$  = parameter interaksi kerosen terhadap solven di fase rafinat

$\gamma$  = koefisien aktifitas

$Q'$  = faktor error

## 2.9 Penentuan Kadar Fenol Total

Kandungan fenol total dari limbah cair industri tekstil ditetapkan secara spektrofotometri dengan metode yang dikembangkan oleh Singleton dan Rossi dengan pereaksi Folin-Ciocalteu (FC). Sebagai standar digunakan asam galat karena asam galat merupakan turunan dari asam hidroksilbenzoat yang tergolong asam fenol sederhana, asam galat sebagai standar juga didasarkan atas ketersediaan substansi yang stabil dan murni. Selain itu, asam galat lebih murah dibandingkan dengan senyawa standar lainnya.

Kadar fenol total dihitung dengan memasukkan nilai absorbansi sampel hasil dari spektrofotometri yang dimasukkan ke dalam persamaan regresi linear yang diperoleh dari kurva kalibrasi asam galat. Hasil dinyatakan dalam satuan mg ekuivalen asam galat per 100 gram (*fw*) (mg ek-AG/100 gram). Perhitungan kandungan fenolik total menggunakan rumus berikut:

$$T P C = \frac{C \cdot V \cdot f p}{g} \dots\dots\dots (13)$$

Dimana :

T P C = total phenol

C = konsentrasi fenolik (nilai x)

V = volume ekstrak yang digunakan (ml)

Fp = faktor pengenceran

g = berat sampel yang digunakan (gram)

## BAB V

### SIMPULAN DAN SARAN

#### A. Simpulan

1. Kondisi optimal ekstraksi cair-cair senyawa fenol dari limbah cair industri tekstil dengan menggunakan solven metanol 70% terdapat pada suhu 50°C dan kecepatan pengadukan 300 rpm dengan nilai koefisien distribusi dan rendemen sebesar 216,334 dan 80,43%, sedangkan dengan menggunakan solven aseton 70% terdapat pada suhu 40°C dan kecepatan pengadukan 300 rpm dengan nilai koefisien distribusi dan rendemen sebesar 189,529 dan 91,87%.
2. Model *Three-Suffix* Margulles memberikan korelasi yang baik terhadap data kesetimbangan, sehingga model *Three-Suffix* Margulles cocok untuk memprediksi kesetimbangan cair-cair pada proses ekstraksi fenol dari limbah cair industri tekstil.

#### B. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan data kesetimbangan komponen-komponen lain yang terkandung di dalam limbah cair industri tekstil.
2. Perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui proses perpindahan massa pada ekstraksi senyawa fenol dari limbah cair industri tekstil.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Muhammad Irfan., 2013. *Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pendegradasi Senyawa Fenol Dari Limbah Cair Industri Kertas*. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Aryani, Yanu, Sunarto, Tetri Widiyani., 2004. *Toksisitas Akut Limbah Cair Pabrik Batik CV. Giyant Santoso Surakarta dan Efek Sublethalnya terhadap Struktur Mikroanatomi Branchia dan Hepar Ikan Nila(Oreochromis niloticus T.)*. Surakarta:Jurusan Biologi FMIPA Universitas Sebelas Maret.
- Badan Pusat Statistik Indonesia, [www.BPS.co.id](http://www.BPS.co.id) diakses pada 12 September 2015 pukul 11.43 WIB
- Cahyono, Rachman., 2007. *Dampak Limbah Cair PT.Kertas Basuki Rachmat Banyuwangi Terhadap Kesehatan Masyarakat*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Darsono, N., Chalid M., Saksono N., dan Adiwir. 2005. *Studi Pengaruh Magnetisasi Sistem Dipol Terhadap Karakteristik Kerosin*. Jurnal Makara, Teknologi, Vol.8, No.1, hal. 36-42.
- Dewi J.R., Estiasih T., dan Murtini, E.S. 2007. *Aktivitas Antioksidan Dedak Sorgum Lokal Varietas Coklat (Sorghum bicolor) Hasil Ekstraksi Ekstraksi Berbagai Pelarut*. Jurnal Teknologi Pertanian Vol. 8, No. 3, hal 188-197.
- Dewi, Yusriani Sapt. 2009. *Efektivitas Filtrasi Membran Selulosa dalam Pengolahan Limbah Tekstil*. Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Satya Negara Indonesia.
- Fardhyanti, D.S. 2014. *Model Keseimbangan Termodinamis Dalam Rangka Pemungutan Komponen-Komponen Utama Tir Batu bara Dengan Proses Cair-Cair*. Disertasi, Teknik Kimia Universitas Gajah Mada.
- Fardhyanti, D.S., Megawati., Sri Wahyuni., dan Mukhlisin Hidayat., 2013. *Ekstraksi Senyawa Fenol Dari Tir Batubara Kalimantan Sebagai Bahan Baku Pembuatan Antiseptik Triklorofenol*. Universitas Negeri Semarang
- Fardhyanti, D.S., Mulyono M., Sediawan W.B., Hidayat M. 2012. *Separation of phenolic Compounds from Coal Tar*. Journal 3rd International Conference on Chemistry and Chemical Engineering Vol. 38, hal. 145-149.
- Hamamah, Fatin dkk., 2008. *Penyisihan Fenol Pada Limbah Industri Dari PT XYZ Dengan Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes)*. Surabaya: Program Pasca Sarjana ITS.
- Hart, Harold, Leslie E, Craine., Davis J. Hart. 2003. *Kimia Organik, Suatu Kuliah Singkat*. Jakarta: Erlangga.

- Hudiyono, Maryani dan M.Harini. 1999. *Kajian Kualitas dan Kuantitas Pseudomonas Aeruginosa yang Terdapat dalam Limbah Industri Batik*. Laporan Penelitian. Surakarta: Fakultas Kedokteran Universitas Sebelas Maret.
- Jiao, T., Zhuang X., He H., Li C., Chen H., dan Zhang S. 2015. *Separation of phenolic Compounds from Coal Tar via Liquid-Liquid Extraction Using Amide Compounds*. Journal Industrial & Engineering Chemistry Research DOI: 10.1021/ie504892g.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: KEP-51/MEN-LH/10/1. *Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri*. Jakarta: Badan Pengendalian Dampak Lingkungan.
- Khafilzadeh, F., Mohammad S., Farhangdoost, Yaghoob, T. 2010. *Isolation and Identification of Phenol Degrading Bacteria from Lake Parishan and Their Growth Kinetic Assay*. African Journal of Biotechnology Vol:9.
- Kondepudi., 2008. *Introduction to Modern Thermodynamics*, John Wiley & Sons, Ltd., England
- Martunus & Helwani, Z. 2004. *Ekstraksi Senyawa Aromatis dari Heavy Gas Oil (HGO) dengan Pelarut Dietilen Glikol (DEG)*. J. Si. Tek. 3[2]: 46-50.
- Martunus dan Helwani Z. 2007. *Ekstraksi Doiksin dalam Limbah Air Buangan Industri Pulp dan Kertas dengan Pelarut Toluene*. Jurnal Sains dan Teknologi Vol. 6, No. 1, hal 1-4.
- Metcalf and Eddy. 1991. *Waste Water Engineering*. New York: Mcgraw Hill.
- Mu'nisa, A., Wresdiyati T., Kusumorini N. Manalu W. 2012. *Aktivitas Antioksidan Ekstrak Daun Cengkeh*. Jurnal Veteriner Vol. 13, No. 3, hal. 272-277.
- Notoatmodjo, S. 2003. *Pendidikan dan Prilaku Kesehatan*. Jakarta: PT. Rineka Cipta
- Patrick, G.L. 2004. *Organic Chemistry*. London: Bios Scientific.
- Putranto, Agus M.H., 2011. *Metoda Ekstraksi Cair-Cair Alternatif untuk Pembersihan Lingkungan Perairan dari Limbah Cair Industri Kelapa Sawit*. Bengkulu: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Bengkulu.
- Rahmawati, Anita., 2009. *Analisis Kandungan Fenol*. Jakarta: Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia.
- Samin, Adi Ahmas dkk., 2011. *Penentuan Kandungan Fenoli Total dan Aktivitas Antioksidan Dari Rambut Jagung (Zea Mays L.) yang Tumbuh di Daerah Gorontalo*. Gorontalo: Jursusan Pendidikan Kimia Universitas Negeri Gorontalo.

- Santi, Devi Nuraini., 2004. *Pengelolaan Limbah Cair Pada Industri Penyamakan Kulit Industri Pulp dan Kerta Industri Kelapa Sawit*. Sumatera Utara:Fakultas Kesehatan Masyarakat USU.
- Saputro, Yoga dkk., 2009. *Pengambilan Asam Phosphat Dalam Limbah Sintesis Secara Ekstraksi Cair-Cair Dengan Solvent Campuran IPA dan n-Heksan*. Semarang: Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Sastrawidana, I.D.K. 2011. *Studi Perombakan Zat Warna Tekstil Remazol Red RB Secara Aerob Menggunakan Bakteri Enterobacter Aerogenes yang Diisolasi dari Lumpur Limbah Tekstil*. Jurnal Kimia, Vol:5(2), hal:117-124.
- Setiawan, Wahyudi Budi., 1998. *Berbagai Teknologi Proses Pemisahan*. Yogyakarta:Jurusan Teknik Kimia UGM.
- Shi, Z., Fang M., Zhou C., Wang S., dan Luo Z. 2012. *Studies on the extraction of phenols from coal tar produced in multi-generation system*. Journal Advance Material Research Vols. 347-353 hal. 673-677.
- Smith, J.M, Van Ness, H.C., and Abbot, M.M., 2001. *Chemical Engineering Thermodynamics 6<sup>th</sup> ed*. Singapore: McGraw-Hill International Edition.
- Subari, D dkk., 2012. *Efektivitas Pengelolaan Limbah Cair Pada Industri Kayu Lapis Kalimantan Selatan*. Malang
- Sukma, Indra W.D. *Ekstraksi Cair-Cair*. Lampung: Teknik Kimia Universitas Lampung.
- Suryani, Ch Lilis., 2012. *Optimasi Metode Ekstraksi Fenol Dari Rimpang Jahe Emprit (Zingiber Officinalle Var. Rubrum)*. Yogyakarta:Fakultas Agroindustri Universitas Mercu Buana.
- Villasenor, Jorge, Patrio, Gina Pecchi. 2002. *Catalytic and Photocatalytic Ozonation of Phenol on MnO<sub>2</sub> Supported Catalysts*. Catalysis Today, 76. 121-131