



SKRIPSI

**OPTIMASI ADSORPSI ZAT WARNA SINTETIK
INDIGOSOL *PINK* IR MENGGUNAKAN ADSORBEN
KARBON AKTIF**

**RIO PRIDATAMA
NRP. 01211640000013**

**Dosen Pembimbing
Yatim Lailun Ni'mah, Ph.D
Suprpto, Ph.D**

**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**



SCRIPT

**OPTIMIZATION OF INDIGOSOL *PINK* IR
SYNTHETIC DYE ADSORPTION USING ACTIVE
CARBON ADSORBENS**

**RIO PRIDATAMA
NRP. 0121164000013**

**Advisor lecturer
Yatim Lailun Ni'mah, Ph.D
Suprpto, Ph.D**

**CHEMISTRY DEPARTMENT
FACULTY OF SCIENCES AND DATA ANALYTICS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

**OPTIMASI ADSORPSI ZAT WARNA SINTETIK
INDIGOSOL *PINK* IR MENGGUNAKAN ADSORBEN
KARBON AKTIF**

SKRIPSI

Disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan mata kuliah skripsi
program S-1 Departemen Kimia
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh:

Rio Pridatama
NRP. 0121164000013

**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN ANALITIKA DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

HALAMAN PENGESAHAN

**Optimasi Adsorpsi Zat Warna Sintetik Indigosol *Pink* IR
Menggunakan Adsorben Karbon Aktif**

SKRIPSI

Oleh:

Rio Pridatama

NRP. 01211640000013

Surabaya, 9 Januari 2020

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I



Yatim Lailun Ni'mah, Ph.D

NIP. 19840524 200812 2 006

Dosen Pembimbing II



Suprpto, Ph.D

NIP. 19720919 199802 1 002

Mengetahui,
Kepala Departemen Kimia



Prof. Dr.rer.nat. Fredy Kurniawan, S.Si., M.Si.

DEPARTEMEN

KIMIA

NIP. 19740428 199802 1 001

**OPTIMASI ADSORPSI ZAT WARNA SINTETIK
INDIGOSOL *Pink* IR MENGGUNAKAN ADSORBEN
KARBON AKTIF**

Nama : Rio Pridatama
NRP. : 0121164000013
Departemen : Kimia- Fakultas Sains dan Analitika
Data ITS
Dosen Pembimbing : Yatim Lailun Ni'mah, Ph.D
Suprpto, Ph.D

ABSTRAK

Indigosol *Pink* IR merupakan salah satu zat warna sintetik batik yang dapat mencemari ekosistem perairan tanpa pengolahan lebih lanjut. Untuk itu perlu dilakukan upaya penurunan konsentrasi zat warna sintetik Indigosol *Pink* IR sebelum dibuang dengan metode efektif yaitu adsorpsi menggunakan karbon aktif. Penentuan kondisi optimum adsorpsi larutan Indigosol *Pink* IR dilakukan dengan empat parameter, yaitu waktu kontak (5; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 60 menit), dosis adsorben (2,50; 5,00; 7,50; 10,00; 15,00; 17,50; 20,00; 22,50 mg), konsentrasi awal (20; 30; 40; 50; 60; 80; 100 ppm), dan pH awal (2; 3; 4; 5; 6; 7; 9; 11; 12). Dari hasil penelitian yang dilakukan triplo dan uji-t “*Paired Two Sample for Means*” dengan relatif standar deviasi <2% didapatkan waktu kontak optimum 35 menit dan dosis adsorben 10 mg (*removal* 88,82% \pm 1,49%), konsentrasi awal 80 ppm (*removal* 89,47% \pm 0,22%), dan pH awal 3 (*removal* 95,87% \pm 0,25%). Metode adsorpsi optimum yang digunakan menghasilkan *removal* sebesar 95,87% \pm 0,25%. Proses adsorpsi melibatkan proses adsorpsi fisik dengan model isoterm Freundlich.

Kata kunci: Adsorpsi, Indigosol *Pink* IR, Karbon Aktif, Isoterm Freundlich

OPTIMIZATION OF INDIGOSOL *PINK* IR SYNTHETIC DYE ADSORPTION USING ACTIVE CARBON ADSORBENS

Name : Rio Pridatama
NRP. : 01211640000013
Department : Chemistry- Faculty Of Sciences and
Data Analytics ITS
Advisor Lecturer : Yatim Lailun Ni'mah, Ph.D
Suprpto, Ph.D

ABSTRACT

Indigosol Pink IR is one of batik's synthetic dyes which can pollute the aquatic ecosystem without further processing. For this reason, it is necessary to reduce the concentration of Indigosol Pink IR synthetic dyes before being discharged by an effective method of adsorption using activated carbon. Determination of the optimum adsorption of the Indigosol Pink IR solution was carried out with four parameters, is the contact time (5; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 60 minutes), the dose of adsorbents (2.50; 5.00; 7.50; 10.00; 15.00; 17.50; 20.00; 22.50 mg), initial concentrations (20; 30; 40; 50; 60; 80; 100 ppm), and initial pH (2; 3; 4; 5; 6 ; 7; 9; 11; 12). From the results of the research carried triplo and t-test "Paired Two Sample for Means" with deviation <2%, the optimum contact time was 35 minutes and the dose of adsorbent was 10 mg (removal $88.82\% \pm 1.49\%$), initial concentration was 80ppm (removal $89.47\% \pm 0.22\%$), and initial pH 3 (removal $95.87\% \pm 0.25\%$). The optimum adsorption method used produces %removal of $95.87\% \pm 0.25\%$. The adsorption involves the physical adsorption process with the Freundlich isotherm model.

Keywords: Adsorption, Indigosol Pink IR, Activated Carbon, Isotherm Freundlich.

*Karya ini saya persembahkan kepada
Ayah, Ibu, dan Kakak serta keluarga saya tercinta,
Yatim Lailun Ni'mah, Ph.D dan Suprpto, Ph.D
selaku Dosen Pembimbing skripsi saya,
Heny, Aryo, Dzikrur, Ridha Tantowi, dan
Rekan ITS Online yang selalu memberikan semangat
Nabila, Kiki, Wulan, dan teman-teman
Magnum Opus tersayang*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga naskah yang berjudul “**Optimasi Adsorpsi Zat Warna Sintetik Indigosol *Pink* IR Menggunakan Adsorben Karbon Aktif** ” dapat diselesaikan dengan baik. Tulisan ini tidak akan terwujud dengan baik tanpa bantuan, doa dan dukungan dari semua pihak. Untuk itu, penulis sangat berterima kasih kepada:

1. Ibu Yatim Lailun Ni'mah, Ph.D selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama proses pengerjaan penelitian dan penyusunan naskah Skripsi ini.
2. Bapak Suprpto, Ph.D selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama proses pengerjaan penelitian dan penyusunan naskah Skripsi ini.
3. Ibu Dr. Afifah Rosyidah S.Si, M.Si , selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama perkuliahan
4. Pihak Lembaga Pengabdian dan Pengembangan Masyarakat (LPPM) ITS yang telah memberikan bantuan dana dalam persiapan dan pelaksanaan penelitian ini.
5. Ayah Supriyono dan Ibu Ismiati yang tidak henti-hentinya memberikan kepercayaan, semangat, perhatian, doa dan menjadi motivasi pengerjaan skripsi ini.
6. Nabila, Wulan, dan Kiki yang telah memberikan semangat dan motivasi selama kuliah dan pengerjaan skripsi.
7. Teman-teman S1 di Laboratorium ISA, Puput, Putri, Hida, Ria, Dwi, dan Gayu, atas bantuan dan bertukar pikiran atas skripsi ini
8. Teman-teman Magnum Opus Kimia ITS 2016 atas kebersamaan dalam susah dan senang selama masa pembelajaran dan berorganisasi.

Saya menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan naskah Skripsi ini tidak lepas dari kekurangan. Oleh karena itu, saya terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun. Semoga Skripsi ini memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Surabaya, Desember 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Zat Warna.....	5
2.1.1 Zat Warna Indigosol.....	7
2.1.2 Indigosol <i>Pink IR</i>	8
2.2 Adsorpsi	8
2.2.1 Jenis-Jenis Adsorpsi	10
2.2.2 Mekanisme Adsorpsi.....	10
2.2.3 Tempat Terjadinya Adsorpsi	11
2.2.4 Isoterm Adsorpsi	11
2.3 Karbon Aktif	12
2.3.1 Proses Pembuatan Karbon Aktif	13
2.3.2 Sifat, Komposisi, dan Struktur Kimia Karbon Aktif ..	14
2.3.3 Klasifikasi Karbon Aktif	16
2.4 Spektrofotometer UV-Vis	17
2.4.1 Hukum Lambert-Beer (<i>Beer's law</i>).....	18
2.4.2 Skema Kerja Spektrofotometer UV-Vis.....	19
2.5 <i>Paired Sample t-Test</i>	20

2.6 Penelitian Sebelumnya	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Alat dan Bahan	23
3.1.1 Alat	23
3.1.2 Bahan.....	23
3.2 Prosedur Penelitian.....	23
3.2.1 Pembuatan Larutan Indigosol <i>Pink</i> IR 1000 ppm	23
3.2.2 Pembuatan Larutan Kerja Indigosol <i>Pink</i> IR.....	23
3.2.3 Penentuan Panjang Gelombang Indigosol <i>Pink</i> IR	24
3.2.4 Optimasi Waktu Kontak Adsorpsi.....	24
3.2.5 Optimasi Dosis Adsorben Adsorpsi	24
3.2.6 Optimasi Konsentrasi Awal Adsorpsi	25
3.2.7 Optimasi pH Awal Adsorpsi	26
3.2.8 Penentuan Model Isoterm Adsorpsi	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Indigosol <i>Pink</i> IR.....	27
4.2 Pembuatan Kurva Kalibrasi Indigosol <i>Pink</i> IR	29
4.3 Pengaruh Waktu Kontak terhadap Uji Adsorpsi Indigosol <i>Pink</i> IR.....	30
4.4 Pengaruh Dosis Adsorben terhadap Uji Adsorpsi Indigosol <i>Pink</i> IR.....	32
4.5 Pengaruh Konsentrasi Awal Larutan terhadap Uji Adsorpsi Indigosol <i>Pink</i> IR	35
4.6 Pengaruh pH Awal Larutan terhadap Uji Adsorpsi Indigosol <i>Pink</i> IR.....	37
4.7 Penentuan Kondisi Optimum	40
4.8 Penentuan Model Isoterm Adsorpsi	40
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1 Kesimpulan.....	43

5.2 Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA.....	45
LAMPIRAN.....	55
A. Skema Kerja Penelitian	55
B. Perhitungan Larutan	57
C. Tabel Data Hasil Adsorpsi.....	62
D. Data Hasil Uji-t “ <i>Paired Two Sample For Means</i> ”	68
E. Dokumentasi.....	78
BIODATA PENULIS.....	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Molekul Indigosol <i>Pink</i> IR	8
Gambar 2.2 Karakteristik Proses Adsorpsi	9
Gambar 2.3 Struktur Heksagonal Karbon Aktif.....	13
Gambar 2.4 Skema Pembuatan Karbon Aktif.....	14
Gambar 2.5 Struktur Kimia Karbon Aktif.....	15
Gambar 2.6 Hubungan Antara Energi dan Transisi Elektron	18
Gambar 2.7 Skema Kerja Spektrofotometer UV-Vis.....	19
Gambar 4.1 Kurva Panjang Gelombang Maksimum Indigosol Pink IR.....	28
Gambar 4.2 Kurva Kalibrasi Indigosol <i>Pink</i> IR 100ppm	30
Gambar 4.3 Hubungan % <i>Removal</i> terhadap Adsorpsi Larutan Indigosol <i>Pink</i> IR dengan Variasi Waktu Kontak	32
Gambar 4.4 Hubungan % <i>Removal</i> terhadap Adsorpsi Larutan Indigosol <i>Pink</i> IR dengan Variasi Dosis Adsorben	34
Gambar 4.5 Hubungan % <i>Removal</i> terhadap Adsorpsi Larutan Indigosol <i>Pink</i> IR dengan Variasi Konsentrasi Awal Larutan.....	36
Gambar 4.6 Hubungan % <i>Removal</i> terhadap Adsorpsi Larutan Indigosol <i>Pink</i> IR dengan Variasi pH Awal Larutan.....	39
Gambar 4.7 Grafik Model Isoterm Freundlich.....	41
Gambar 4.8 Grafik Model Isoterm Langmuir	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hubungan Antara Panjang Gelombang Cahaya Tampak dan Warna yang Terserap.....	6
Tabel 2.2 Perbedaan Adsorpsi Fisika dan Kimia	10
Tabel 2.3 Komposisi Kimia Karbon Aktif	15
Tabel 2.4 Klasifikasi Karbon Aktif Berdasarkan Bentuknya	16
Tabel 4.1 Data Absorbansi Larutan Indigosol <i>Pink</i> IR Pada Beberapa Konsentrasi	29

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Zat warna biasa digunakan sebagai agen zat warna pada katun dan industri tekstil. Pada era industri tahun 1800, zat warna sintetik mulai dipilih oleh industri tekstil dibanding zat warna alami karena sifatnya yang lebih murah dan tahan luntur. Zat warna sintetik dapat digolongkan menjadi zat warna reaktif, *direct*, asam dan basa (Husain dkk., 2015). Industri tekstil di Indonesia yang menggunakan zat warna sintetik, salah satunya yaitu Rumah Batik Putat Jaya di Surabaya yang hadir sebagai dampak dari penutupan Dolly (salah satu *hotspot* bisnis prostitusi terbesar di Asia Tenggara). Rumah Batik Putat Jaya merupakan sarana pembelajaran bagi warga Surabaya dan sekitarnya yang ingin belajar tentang batik (Utama dkk., 2017). Zat warna sintetik batik yang digunakan adalah Naftol, indigosol, dan remasol. Penggunaan zat warna naftol, indigosol, dan remasol secara berturut-turut untuk mendapatkan warna-warna tua, lembut/pastel, dan cerah (Febiyanto dkk., 2016).

Industri tekstil merupakan salah satu industri yang menggunakan bahan kimia paling banyak sehingga memiliki peran penting atas dampak lingkungan (Aisyahlika dkk., 2018). Hal itu terjadi karena industri tekstil dalam pengerjaannya selalu menghasilkan limbah padatan, cair, dan gas, seperti partikel debu, senyawa organik volatil, nitrogen oksida, belerang oksida, potongan kain tekstil, sisa zat warna, logam berat, dan mikroorganisme patogen. Salah satu limbah yang harus segera ditangani adalah limbah berbentuk cair karena air merupakan sumber dari kehidupan makhluk hidup (Hassan dkk., 2018). Proses perubahan warna air dari jernih menjadi berwarna mengindikasikan air telah tercemar oleh sisa zat warna berlebih yang tidak bisa diterima oleh lingkungan. Air yang berwarna dapat

mencegah penetrasi cahaya sehingga mengarah pada penurunan laju fotosintesis (Shah dkk., 2014) dan tingkat oksigen terlarut yang melindungi seluruh biota perairan (Hassan dkk., 2018). Maka dari itu diperlukan suatu upaya pengurangan konsentrasi zat warna dari limbah cair tekstil agar aman dibuang ke ekosistem perairan dan tidak mencemari lingkungan.

Limbah zat warna memiliki sifat kelarutan yang sangat tinggi dalam air dan sulit diolah langsung dengan metode konvensional (Febiyanto dkk., 2016). Para peneliti telah mengembangkan metode-metode penanganan limbah zat warna demi meningkatkan efisiensi dan efektifitas proses remediasi lingkungan perairan, seperti elektrooksidasi (Costa dkk., 2010), elektrokoagulasi (Saprykina, 2012), membran penukar ion (Welgemoed dkk., 2005), dan degradasi fotokatalitik (Cineros dkk., 2002). Namun, metode-metode tersebut memiliki kekurangan seperti elektrooksidasi yang masih menghasilkan senyawa yang berbahaya bagi kesehatan manusia (Wiratini dkk., 2012). Proses elektrokoagulasi yang hanya mampu mengolah limbah secara fisik, tetapi belum mampu mengolah limbah secara kimia, seperti mendegradasi senyawa organik (Wiratini dkk., 2016). Membran penukar ion tidak mampu menyeleksi komponen-komponen tak bermuatan (Strathman dkk., 2013). Selain itu, semua proses tadi tergolong mahal dan tidak dapat digunakan oleh industri kecil untuk menangani berbagai limbah cair zat warna.

Adsorpsi memberikan alternatif yang menarik, terutama jika adsorbennya murah dan tersedia. Metode adsorpsi ini memiliki kelebihan dari metode yang lain karena prosesnya lebih sederhana, biayanya relatif murah, ramah lingkungan (Gupta dkk., 2011) dan tidak adanya efek samping zat beracun (Blais dkk., 2000). Proses adsorpsi diharapkan dapat mengambil ion-ion zat warna dari larutan. Metode adsorpsi pada umumnya berdasarkan interaksi ion zat warna dengan gugus fungsional yang ada pada permukaan adsorben melalui ikatan hidrogen, *van der Waals*, kovalen dan ion

biasanya terjadi pada permukaan padatan yang kaya akan gugus fungsional seperti: -OH, -NH, -SH, dan -COOH (Stumm dkk., 1996). Komponen utama dalam adsorpsi yaitu adsorben dan adsorbat. Adsorben yang digunakan dalam kebanyakan proses adsorpsi adalah karbon aktif. Banyak penelitian yang mempelajari tentang manfaat dan kegunaan dari karbon aktif karena kegunaannya yang dapat mengadsorb senyawa organik maupun anorganik dengan tingkat kualitasan hasil pengolahan yang tinggi, desain prosesnya sederhana, dan bahannya yang tahan terhadap lingkungan korosif dan beracun (Viswanathan dkk., 2009).

Berdasarkan uraian di atas, pada penelitian ini dilakukan optimasi adsorpsi salah satu zat warna sintetik batik yaitu Indigosol *Pink IR* menggunakan adsorben karbon aktif. Pada penelitian ini dilakukan uji adsorpsi dengan empat parameter, yaitu waktu kontak, dosis adsorben, konsentrasi dan pH awal larutan Indigosol *Pink IR* untuk mengetahui kondisi optimum. Selain itu, juga diteliti jenis adsorpsi dan interaksi ikatan yang terjadi.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana kinerja karbon aktif sebagai adsorben zat warna sintetik Indigosol *Pink IR* dalam aqua DM dengan cara menentukan kondisi optimum adsorpsi yang meliputi waktu kontak, dosis adsorben, konsentrasi dan pH awal larutan Indigosol *Pink IR* dan jenis adsorpsinya.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, larutan Indigosol *Pink IR* diadsorpsi sebanyak 25 mL dengan kecepatan pengadukan 450 rpm dalam variasi waktu kontak 5-60 menit, dosis adsorben berkisar 2,50-22,50 mg, konsentrasi awal larutan Indigosol *Pink IR* berkisar 20-100 ppm, dan rentang pH awal larutan Indigosol *Pink IR* antara 2 hingga 12.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja karbon aktif sebagai adsorben zat warna sintetik Indigosol *Pink* IR dalam aqua DM dengan cara menentukan kondisi optimum adsorpsi yang meliputi waktu kontak, dosis adsorben, konsentrasi dan pH awal larutan Indigosol *Pink* IR dan mengetahui jenis adsorpsinya.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat mengetahui kondisi optimum yang diperoleh pada waktu kontak, dosis adsorben, konsentrasi dan pH awal larutan Indigosol *Pink* IR sehingga dapat diaplikasikan pada limbah Indigosol *Pink* IR yang ada dalam Industri tekstil Batik Putat Jaya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Zat Warna

Warna merupakan salah satu aspek penting dalam hal penerimaan konsumen terhadap suatu produk. Macam-macam warna diperoleh dari pelarutan zat warna dalam suatu media cair. Zat warna adalah senyawa organik aromatik yang biasa digunakan untuk berbagai jenis proses pewarnaan tekstil, kertas, kosmetik, makanan dan industri farmasi (Yuliarti, 2007). Tidak seperti kebanyakan senyawa organik lain, zat warna dapat memunculkan warna karena adanya serapan cahaya pada spektrum cahaya tampak, memiliki sedikitnya satu kromofor (gugus pembentuk warna), memiliki sistem konjugasi, dan menunjukkan resonansi elektron yang merupakan kekuatan penstabil senyawa organik (Sari dkk., 2019).

Secara garis besar, zat warna dibedakan menjadi dua, yaitu zat warna alami dan sintetik. Lebih dari 100.000 jenis zat warna sintetik tersedia di pasaran dan telah diproduksi lebih dari 700.000 ton tiap tahunnya (Adedayo dkk., 2004). Zat warna sintetik lebih disukai daripada zat warna alami karena efisien produksi, tahan luntur, dan terdapat banyak variasi warna yang diinginkan. Disisi lain, zat warna sintetik lebih berbahaya dan merusak lingkungan daripada zat warna alami (Khatri dkk., 2015). Pembuatan zat warna sintetik dirancang agar stabil secara kimia dan fotolitik, sehingga zat warna ini sangat sulit diurai di lingkungan atau badan air. Penggunaan zat warna sintetik yang berkelanjutan mampu menghasilkan air limbah dengan sisa kandungan zat warna sekitar 10% -15%.

Zat warna memiliki struktur molekul dengan gugus tak jenuh (kromofor) seperti $-C=C-$, $-N=N-$ dan $-C\equiv N-$ dan gugus fungsi (auksokrom) seperti $-NH_2$, $-OH$, $-COOH$ dan $-SO_3H$ (Molinari dkk., 2004). Gugus kromofor bertugas sebagai pembawa

warna dan auksokrom sebagai pengikat warna dengan serat (Zollinger, 1987). Kehadiran auksokrom dapat mengubah warna pewarna dan sering digunakan untuk mempengaruhi kelarutan pewarna. Hubungan antara panjang gelombang cahaya tampak dan warna yang terserap dan teramati dapat ditunjukkan dalam Tabel 2.1. Warna yang teramati adalah warna yang dapat dilihat oleh mata secara langsung. Warna ini muncul karena adanya panjang gelombang cahaya tertentu yang diteruskan atau dipantulkan ketika mengenai sampel, dan bukan panjang gelombang yang terserap.

Tabel 2.1 Hubungan Antara Panjang Gelombang Cahaya Tampak dan Warna yang Terserap

Panjang Gelombang (nm)	Warna Terserap	Warna Teramati
400-435	Nila	Kuning-Hijau
435-480	Biru	Kuning
480-490	Hijau-Biru	Oranye
490-500	Biru-Hijau	Merah
500-560	Hijau	Ungu
560-580	Kuning-Hijau	Nila
580-595	Kuning	Biru
595-650	Oranye	Hijau-Biru
650-750	Merah	Biru-Hijau

(Skoog dkk., 2013)

Zat warna dapat dikelompokkan berdasarkan muatan ion, yaitu zat warna ionik dan zat warna nonionik. Zat warna ionik dibagi menjadi dua jenis, yaitu kationik dan anionik masing-masing membawa muatan positif dan negatif. Semua zat warna dasar (*basic*) termasuk golongan zat warna kationik, sedangkan zat warna asam, reaktif, dan *direct* termasuk zat warna anionik. Zat warna nonionik dibagi menjadi zat warna vat dan *disperse* (Tan dkk., 2015). Zat warna dapat menempel pada permukaan yang sesuai dengan larutan, seperti wol, sutra, dan nilon. Pewarnaan

yang kuat muncul akibat adanya pembentukan ikatan kovalen antara senyawa kompleks dengan garam atau logam melalui adsorpsi fisik atau retensi mekanis. Pada proses pewarnaan yang terjadi di Industri tekstil, bahan kimia lain seperti surfaktan, asam, basa, elektrolit, zat pendispersi, agen pengkelat, minyak pengemulsi, dan bahan pelunak sering ditambahkan untuk mendapatkan warna tua atau muda yang memiliki sifat ketahanan luntur terhadap pencahayaan matahari dan pencucian. Proses ini berkaitan dengan proses difusi zat warna ke dalam fase cair diikuti dengan adsorpsi ke permukaan luar serat, dan akhirnya difusi dan adsorpsi pada permukaan bagian dalam serat (Hubbe dkk., 2012).

Proses pewarnaan dapat dilakukan dengan proses kontinu atau *batch*. Pemilihan proses yang paling tepat untuk digunakan tergantung pada beberapa faktor, seperti jenis bahan (serat, benang, kain, garmen), jenis serat, ukuran batch pewarna, dan kualitas yang diinginkan dan sesuai persyaratan (Moore dkk., 2004). Pada proses kontinu melibatkan temperatur yang sangat tinggi pada proses pencelupan kedalam larutan dan berlangsung cepat. Setiap kali serat dilewatkan melalui larutan, sejumlah air yang setara dengan berat kain harus dialirkan. Pada proses *batch* melibatkan proses pencelupan secara bertahap yaitu pemindahan dari wadah zat warna ke bahan yang diwarnai selama waktu yang relatif lama pada suhu kamar. Menurut Mansour dkk. (2012), proses *batch* merupakan proses yang sering digunakan untuk mewarnai bahan tekstil daripada kontinu.

2.1.1 Zat Warna Indigosol

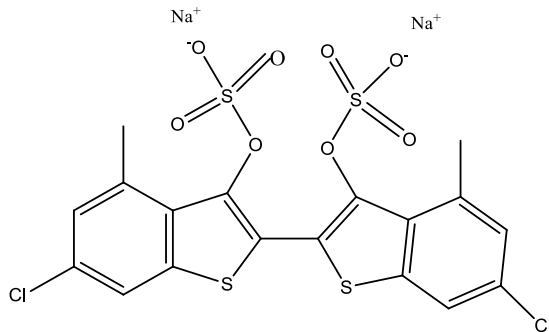
Zat warna indigosol adalah jenis zat warna bejana yang larut dalam air. Warna larutannya sangat jernih dan bersifat lembut atau pastel. Indigosol mengandung struktur ion spesifik Na^+ dalam struktur molekulnya (Chattopadhyay, dkk., 2009). Pada proses pencelupan, Indigosol akan terserap kedalam serat kain dengan cepat dan akan teroksidasi kembali oleh oksigen dalam udara dan

menjadi tidak larut. Hal inilah yang menyebabkan zat warna indigosol tidak mudah memudar dan berwarna cerah.

Jenis warna indigosol yaitu Indigosol *Yellow*, Indigosol *Green* IB, Indigosol *Yellow* JGK, Indigosol *Blue* 04B, Indigosol *Orange* HR, Indigosol *Grey* IBL, Indigosol *Pink* IR, Indigosol *Brown* IBR, Indigosol *Violet* ARR, Indigosol *Brown* IRR, Indigosol *Violet* 2R, dan Indigosol *Violet* IBBF.

2.1.2 Indigosol *Pink* IR

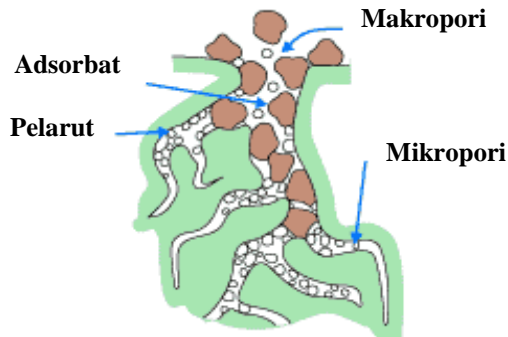
Indigosol *Pink* IR merupakan salah satu zat warna turunan indigo yang memiliki rumus molekul $C_{18}H_{10}Cl_2Na_2O_8S_4$ dan berat molekul relatif 299,40 g/mol. Indigosol *Pink* IR memiliki nama lain yaitu Sandozol *Pink* R, *Tinosol* *Pink* R, Soledon *Pink* FF, Anthrasol *Pink* IR, Kambosol *Pink* IR, Vat *Solubilized Brilliant Rose* Zh, Disodium 6,6'-dikloro-4,4'-dimetil (2,2'-bibenzo (b) tiophen)-3,3'-diyl disulfat (Pubchem, 2005). Pada Gambar 2.1 menunjukkan bahwa Indigosol *Pink* IR memiliki sepasang Ion Na^+ di sisi yang sama, namun ada beberapa jenis Indigosol memiliki pasangan ion Na^+ pada sisi yang berlawanan seperti Indigosol Biru dan Cokelat. Perbedaan posisi ion antara zat warna indigosol mempengaruhi interaksinya dengan molekul surfaktan.



Gambar 2.1 Struktur Molekul Indigosol *Pink* IR
(Aryanti dkk., 2018)

2.2 Adsorpsi

Adsorpsi adalah peristiwa penyerapan material dari fase cair ke fase padat. Pada fenomena adsorpsi, terjadi gaya tarik-menarik antara substansi terserap dan penyerapnya (adsorben). Substansi terserap yang tidak terakumulasi atau melekat ke permukaan adsorben disebut adsorptif dan yang terakumulasi disebut adsorbat. Sedangkan dalam pengertian lain, Sari dkk. (2017) menjelaskan adsorpsi adalah peristiwa yang menyebabkan perubahan konsentrasi pada lapisan antar muka (*interface*) akibat interaksi antara adsorbat dan adsorben. Adsorben yang digunakan dalam proses adsorpsi harus memiliki kriteria yaitu berbentuk batang, cetakan, pelet bulat dengan ukuran 0,50 hingga 10 mm, memiliki ketahanan abrasi yang tinggi, diameter pori kecil, stabilitas termal yang tinggi, area permukaan yang tinggi, dan kapasitas permukaan yang tinggi. Karakteristik proses adsorpsi dapat diilustrasikan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Karakteristik Proses Adsorpsi
(Gawande dkk., 2017)

Proses adsorpsi dapat terjadi karena adanya gaya tarik antara atom atau molekul pada permukaan adsorben yang tidak seimbang. Adanya gaya ini menyebabkan adsorben cenderung menarik molekul-molekul lain yang bersentuhan, baik fasa gas atau

fasa cair kedalam permukaannya. Pelekatan antara adsorbat dan adsorben dipengaruhi oleh reaksi kimia atau fisika dengan ikatan hidrogen, gaya *van der waals*, kovalen, ion, dan gaya london. Reaksi dalam proses adsorpsi tergantung pada sifat adsorben yang mengadsorpsi, sifat antar molekul yang diserap, konsentrasi, tekanan, dan temperatur. Kemampuan optimum adsorben dalam mengadsorpsi dapat ditentukan oleh penelitian dengan variasi waktu kontak, dosis adsorben, dan konsentrasi awal.

2.2.1 Jenis-Jenis Adsorpsi

Pengelompokan jenis adsorpsi berdasarkan interaksi molekular antar permukaan adsorben dengan adsorbat dibagi menjadi 2 jenis yaitu adsorpsi fisika (*physical adsorption*) dan adsorpsi kimia (*chemical adsorption*) (Treybal, 1980). Hal ini dapat disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Perbedaan Adsorpsi Fisika dan Kimia

Parameter	Adsorpsi Kimia	Adsorpsi Fisika
Jenis Ikatan	Ikatan kimia	Gaya <i>van der waals</i>
Energi Kalor	40-400 kJ/mol	< 20 kJ/mol
Reversibilitas	Ireversibel	Bolak-balik
Energi Aktivasi	Tinggi (bereaksi kimia)	Sangat rendah (mendekati nol)
Tebal Lapisan	Monolayer	Multilayer
Interaksi Adsorbat dan Adsorben	Kuat	Sangat lemah
Temperatur	Dapat terjadi pada temperatur tinggi	Terjadi pada temperatur di bawah titik didih adsorbat

(Atkins & Paula, 2010)

2.2.2 Mekanisme Adsorpsi

Proses adsorpsi dapat digambarkan sebagai proses dimana molekul meninggalkan larutan dan menempel pada permukaan zat adsorben akibat interaksi ikatan kimia atau fisika (Reynolds, 1982). Mekanisme penyerapan adsorben terhadap zat terlarut terbagi menjadi 4 tahapan, diantaranya :

1. Transfer molekul-molekul zat terlarut yang teradsorpsi menuju lapisan film yang mengelilingi adsorben.
2. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui lapisan film yang mengelilingi adsorben (*film diffusion process*).
3. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui kapiler atau pori dalam adsorben (*pore diffusion process*).
4. Adsorpsi zat terlarut yang teradsorpsi pada dinding pori atau permukaan adsorben
(Reynolds, 1982).

2.2.3 Tempat Terjadinya Adsorpsi

Proses terjadinya adsorpsi pada suatu adsorben terletak di pori-pori adsorben itu sendiri (Mohammed dkk., 2016). Tempat-tempat terjadinya adsorpsi pada adsorben adalah :

- a. Pori-pori berdiameter kecil (mikropori $d < 2\text{nm}$)
- b. Pori-pori berdiameter sedang (mesopori $2 < d < 50\text{ nm}$)
- c. Pori-pori berdiameter besar (makropori $d > 50\text{ nm}$)
- d. Permukaan adsorben
(Lanjar dkk., 2018)

2.2.4 Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi adalah hubungan antara jumlah yang diadsorpsi dan komposisi dari fase ruah (*bulk*) dalam kondisi kesetimbangan pada suhu konstan (Everret, 1972). Model isoterm

adsorpsi dapat digunakan untuk mengetahui mekanisme adsorpsi adsorbat oleh arang aktif. Adsorpsi fasa padat-cair biasanya menganut tipe isoterm Freundlich dan Langmuir (Gawande dkk., 2017). Model isoterm Freundlich menjelaskan tentang proses adsorpsi di mana permukaan adsorben yang heterogen terlibat dalam distribusi adsorbat membentuk beberapa lapisan (*multilayer*) (Maji, dkk., 2008). Hubungan antara kapasitas serapan zat warna oleh adsorben (mg/g) terhadap konsentrasi zat warna sisa C_e (ppm) pada kesetimbangan diberikan oleh persamaan 2.1.

$$\text{Plot sumbu-Y} \longrightarrow \log q_e = \log k + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.1)$$

Intersep dari k adalah ukuran kapasitas adsorben, dan slope n adalah ukuran intensitas adsorpsi. Hubungan ini berkaitan dengan suhu dan karakteristik kimiawi atau fisik dari adsorben. Isoterm Langmuir menunjukkan adsorpsi monolayer pada permukaan adsorben yang homogen dengan jumlah adsorpsi yang terbatas dan tidak ada interaksi antara molekul yang teradsorpsi dengan situs aktif sekitarnya (Gawande dkk., 2017). Persamaan Langmuir juga mengaitkan kapasitas serapan zat warna oleh adsorben (mg/g) terhadap konsentrasi zat warna sisa C_e (ppm) pada kesetimbangan diberikan oleh persamaan 2.2.

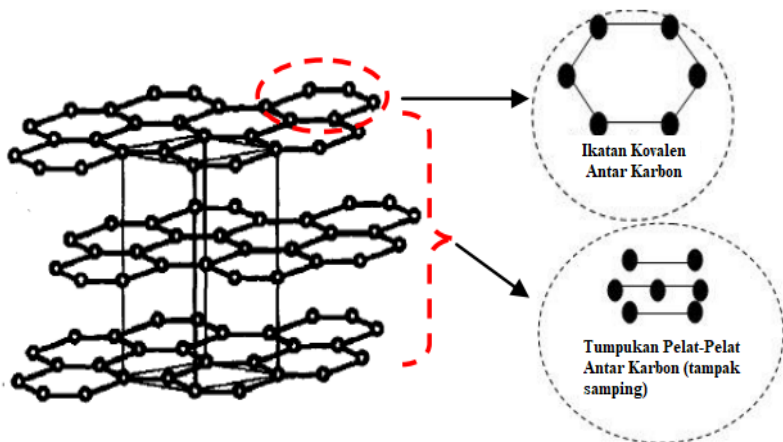
$$\text{Plot sumbu-Y} \longrightarrow \frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L \cdot q_m} + \frac{1}{q_m} C_e \quad (2.2)$$

K_L adalah konstanta Langmuir yang mewakili kapasitas adsorpsi maksimum pada permukaan padatan dan q_m konstanta energi yang terkait dengan panas adsorpsi. Kedua persamaan diatas

diperoleh dengan memplotkan grafik sumbu-Y dan sumbu-X dari hasil adsorpsi variasi konsentrasi larutan awal.

2.3 Karbon Aktif

Karbon aktif atau arang aktif, adalah material dengan porositas tinggi yang diproses agar memiliki volume pori-pori kecil yang dapat meningkatkan luas permukaan. Karbon aktif disusun oleh atom-atom C yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi heksagonal datar dengan satu atom C pada setiap sudutnya yang luas permukaan berkisar 500 hingga 1500 m²/g. Hartanto dan Ratnawati (2010), melaporkan bahwa karbon aktif merupakan karbon amorf dari pelat-pelat datar tersusun oleh atom-atom C yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi heksagonal datar dengan satu atom C pada setiap sudutnya dapat dilustrasikan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Struktur Heksagonal Karbon Aktif (Marsh dkk., 2006)

2.3.1 Proses Pembuatan Karbon Aktif

Pembuatan karbon aktif berasal dari material alami yang mengandung karbon seperti bambu, sabut kelapa, gambut, serbuk gergaji, dan batubara (Alvarez dkk., 2014). Sebagian besar zat

organik dengan kandungan karbon tinggi adalah bahan baku utama untuk memproduksi karbon aktif. Selain itu, kandungan anorganik rendah, densitas tinggi, dan degradasi penyimpanan yang rendah menjadikan faktor utama penentu keberhasilan pembuatan karbon aktif (Kvech dkk., 1998). Proses untuk pembuatan karbon aktif meliputi dua tahap yaitu karbonisasi dan proses aktivasi. Karbonisasi merupakan suatu proses pemanasan pada suhu tertentu dalam jumlah oksigen yang sangat terbatas sehingga menyebabkan penguraian senyawa organik yang menyusun struktur bahan membentuk hidrokarbon (Triyanto, 2013). Sementara proses aktivasi adalah proses untuk memperluas permukaan total karbon hasil dari pemanasan karbonisasi dengan melakukan pelepasan hidrokarbon yang melekat pada arang sehingga daya serap bertambah. Terdapat 2 metode aktivasi, yaitu metode aktivasi fisika dan aktivasi kimia (Ioannidou dkk., 2007). Aktivasi fisika dilakukan untuk memperluas pori karbon aktif dengan bantuan panas, uap dan gas CO_2 dan aktivasi kimia yaitu aktivasi menggunakan bahan kimia atau aktivator, seperti hidroksida logam alkali, klorida, sulfat, fosfat dari logam alkali tanah, asam-asam anorganik (Triyanto, 2013). Gambar 2.4 menjelaskan secara skematis proses pembuatan karbon aktif.



Gambar 2.4 Skema Pembuatan Karbon Aktif (Marsh dkk, 2006).

2.3.2 Sifat, Komposisi, dan Struktur Kimia Karbon Aktif

Karbon aktif bersifat hidrofobik, yaitu molekul pada karbon aktif cenderung tidak bisa berinteraksi dengan molekul air

sehingga karbon aktif dapat digunakan adsorpsi fase cair-padat secara optimal seperti pemurnian air limbah dan penjernihan air (Kvech dkk., 1998 dan Worch, 2012). Gugus fungsi pada karbon aktif akan terbentuk ketika dilakukan aktivasi, yang disebabkan terjadinya interaksi radikal bebas pada permukaan karbon dengan atom-atom seperti oksigen dan nitrogen, yang berasal dari proses pengolahan ataupun atmosfer (Shaheed dkk., 2015). Gugus fungsi ini menyebabkan permukaan karbon aktif menjadi reaktif secara kimiawi dan mempengaruhi sifat adsorpsinya. Oksidasi permukaan dalam produksi karbon aktif akan menghasilkan gugus hidroksil, karbonil, dan karboksilat yang memberikan sifat amfoter sehingga karbon aktif dapat bersifat sebagai asam maupun basa (Chowdurry dkk., 2011). Pada Tabel 2.3 menunjukkan bahwa atom karbon yang terkandung dalam karbon aktif lebih besar persentasenya. Menurut (Kvech dkk., 1998), tingginya komposisi unsur karbon yang berada pada karbon aktif sebanding dengan kemampuannya dalam mengadsorpsi.

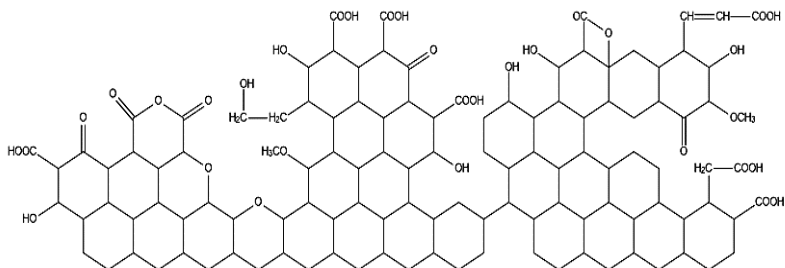
Tabel 2.3 Komposisi Kimia Karbon Aktif

Formula	Konsentrasi (%)
Al	0,10
Ca	0,21
CH ₂	98,60
Cl	0,05
Fe	0,23
K	0,46
Mg	0,03
Mn	0,01
Si	0,06

(Daud dkk., 2017)

Arang aktif memiliki struktur kimia yang terdiri dari sebagian kecil hidrogen dan oksigen yang terikat pada suatu gugus fungsi. Jumlah oksigen dan hidrogen dikatakan sedikit karena

sebagian besar struktur arang aktif adalah atom karbon (Maryono dkk, 2013). Ilustrasi dari struktur kimia arang aktif ditampilkan pada Gambar 2.5.






Gambar 2.5 Struktur Kimia Karbon Aktif (Sudibandriyo, 2003).

2.3.3 Klasifikasi Karbon Aktif

Penggunaan karbon aktif sebagai adsorben dalam proses adsorpsi berdasarkan pada bentuknya. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Klasifikasi Karbon Aktif Berdasarkan Bentuknya

Jenis Karbon	Ukuran (mm)	Kegunaan	Bentuk
<i>Powdered Activated Carbon (PAC)</i>	< 0,18	Digunakan pada fasa cair	
<i>Granular Activated Carbon (GAC)</i>	0,20-5,00	Digunakan pada fasa cair dan gas	
<i>Extruded Activated Carbon (EAC)</i>	0,80-5,00	Digunakan pada fasa gas	

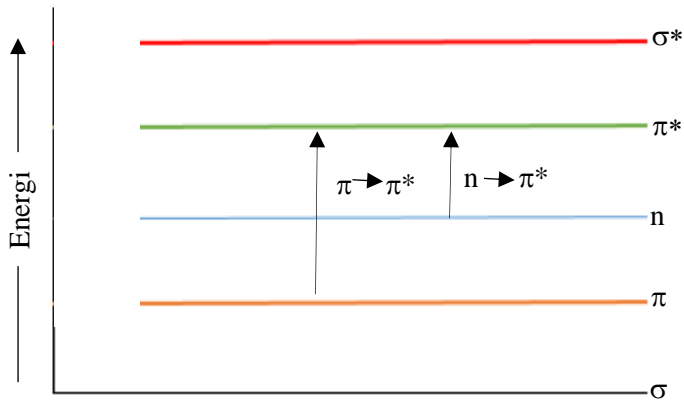
(Martin, 2008)

2.4 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis adalah teknik analisis spektrofotometer yang memakai sumber radiasi elektromagnetik ultraviolet (190nm – 380nm) dan sinar tampak (380nm – 780nm) dengan menggunakan instrumen spektrofotometer (Behera dkk., 2012). Metode spektrofotometer UV-Vis adalah salah satu metode analisis kimia untuk menentukan konsentrasi sampel dalam suatu larutan secara kuantitatif. Konsentrasi sampel yang dianalisis akan sebanding dengan jumlah sinar yang diserap oleh zat yang terdapat dalam larutan tersebut. Interaksi senyawa organik dengan sinar ultraviolet dan sinar tampak dapat digunakan untuk menentukan struktur molekul senyawa organik.

Penyerapan cahaya oleh atom atau molekul mengakibatkan tereksitasinya elektron pada kulit terluar ke tingkat energi yang lebih tinggi. Eksitasi elektron-elektron ini akan dideteksi oleh detektor dan diterjemahkan dalam bentuk spektrum yang dinyatakan sebagai panjang gelombang dan absorbansi (Andari, 2013). Elektron yang mudah mengalami eksitasi mengakibatkan panjang gelombang yang diabsorpsi menjadi besar dan elektron yang banyak tereksitasi mengakibatkan nilai absorbansi menjadi tinggi. Tipe eksitasi tergantung pada panjang gelombang cahaya yang diserap. Sinar ultraviolet dan sinar tampak akan menyebabkan elektron tereksitasi ke orbital yang lebih tinggi (Dachriyanus, 2004). Sistem yang bertanggung jawab terhadap absorpsi cahaya disebut dengan kromofor.

Kromofor sendiri merupakan gugus tak jenuh (pada ikatan kovalen) yang bertanggung jawab terhadap terjadinya absorpsi elektronik antara energi yang dibutuhkan untuk eksitasi dari keadaan dasar ke keadaan yang lebih tinggi (Dachriyanus, 2004).. Berdasarkan energi yang dibutuhkan, maka transisi dari σ ke σ^* membutuhkan energi yang paling besar dan transisi dari n ke π^* membutuhkan energi yang paling kecil. Hubungan antara energi yang dibutuhkan untuk eksitasi dari keadaan dasar ke keadaan transisi bisa dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Hubungan Antara Energi dan Transisi Elektron
(Khan dkk., 2009)

2.4.1 Hukum Lambert-Beer (*Beer's law*)

Hukum Lambert-Beer merupakan hukum yang mendasari metode absorpsi spektrofotometri. Apabila suatu berkas dengan intensitas awal (I_0) melewati suatu larutan, maka sebagian sinar akan diserap sehingga intensitas radiasi yang diteruskan (I) menjadi lebih kecil dari I_0 (Behara dkk., 2012). Hal ini dapat didefinisikan melalui persamaan 2.3.

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (2.3)$$

Dimana, I = intensitas cahaya setelah melewati sampel
 I_0 = intensitas cahaya awal

Hukum Lambert Beer juga dapat didefinisikan sebagai hubungan linearitas antara absorbansi (A) dengan konsentrasi larutan analit yang dapat ditunjukkan pada persamaan 2.4.

$$A = \epsilon \cdot b \cdot C \quad (2.4)$$

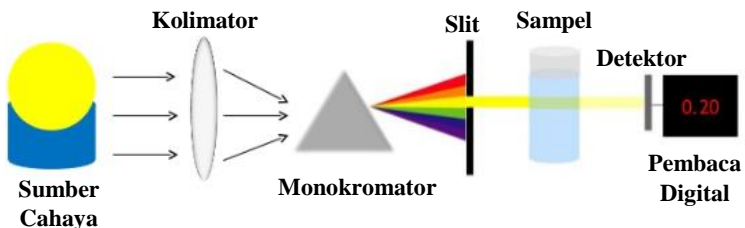
Dimana, ϵ = koefisien absorbtivitas molar ($M^{-1} \text{ cm}^{-1}$)
 b = tebal kuvet (cm)
 C = konsentrasi (M)

Pada percobaan, cahaya yang diserap diukur sebagai absorbansi (A) sedangkan cahaya yang dihamburkan diukur sebagai transmitansi (T). Nilai absorbansi berbanding terbalik dengan transmitansi, sehingga energi maksimum yang diserap oleh larutan ditunjukkan pada panjang gelombang yang memiliki nilai absorbansi tertinggi dan % transmitan terendah. Hubungan antara absorbansi dan transmitansi dapat didefinisikan melalui persamaan 2.5.

$$A = - \log T \quad (2.5)$$

2.4.2 Skema Kerja Spektrofotometer UV-Vis

Skema kerja spektrometer UV-Vis dapat ditunjukkan pada Gambar 2.7. Pada sumber cahaya harus memiliki pancaran radiasi yang stabil dan intensitas tinggi. Sumber cahaya pada spektrofotometer UV-Vis ada dua macam yaitu Lampu tungsten (Wolfram) untuk mengukur sampel pada daerah tampak dan lampu deuterium untuk mengukur sampel daerah ultraviolet.



Gambar 2.7 Skema Kerja Spektrofotometer UV-Vis
 (Behera dkk., 2012)

2.5 Paired Sample t-Test

Paired sample t-Test (Uji beda dua sampel berpasangan) merupakan analisis dengan melibatkan dua pengukuran pada subjek yang sama terhadap suatu pengaruh atau perlakuan tertentu. Pada uji beda *Paired sample t-Test*, peneliti biasanya menggunakan sampel yang sama, tetapi pengujian terhadap sampel dilakukan sebanyak dua kali (Montolalu dkk, 2018). Rumus perhitungan uji-t berpasangan dapat ditunjukkan pada persamaan 2.6.

$$t_{\text{hit}} = \frac{\bar{D}}{\frac{SD}{\sqrt{n}}} \quad (2.6)$$

dimana $SD = \sqrt{\text{varian}}$

$$\text{varian } (s^2) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

t = nilai t hitung
 \bar{D} = rata-rata selisih pengukuran 1 dan 2
 SD = standar deviasi selisih pengukuran 1 dan 2
 n = jumlah sampel
 (Remini dkk., 2016).

Uji *Paired Sample t-Test* menunjukkan apakah sampel berpasangan mengalami perubahan yang signifikan. Hasil uji *Paired Sample t-Test* ditentukan oleh nilai signifikansinya. Nilai ini kemudian menentukan keputusan yang diambil dalam penelitian.

- Nilai signifikansi t hitung $< t$ tabel menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan antara variabel awal dengan variabel akhir. Hal ini berarti tidak terdapat pengaruh yang bermakna terhadap perbedaan perlakuan yang diberikan pada masing-masing variabel
- Nilai signifikansi t hitung $> t$ tabel menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara variabel awal dengan variabel akhir. Hal ini berarti terdapat pengaruh yang bermakna terhadap perbedaan perlakuan yang diberikan pada masing-masing variabel.

2.6 Penelitian Sebelumnya

Penelitian mengenai upaya pengurangan konsentrasi zat warna sintetik Indigosol *Pink* IR dalam limbah cair hasil finishing industry tekstil (khususnya batik) masih sangat jarang dilakukan. Penelitian tentang zat warnaini pernah dilakukan oleh Aryanti dkk (2018) dengan menggunakan *Micellar Enhanced Ultrafiltration* (MEUF) membran termodifikasi sodium dodesil sulfat (SDS). Membran yang digunakan adalah membran tipis *polyethersulfone* (PES). Hasil dari proses filtrasi dalam sistem MEUF berupa permeat dan retentat yang ditampung dalam wadah terpisah dan diukur menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Indigosol *Pink* IR mengalami rejeksi terbesar pada konsentrasi PES 1,50 kali konsentrasi misel kritis dan waktu kontak 120 menit dengan nilai 94,27%.

Penelitian mengenai upaya penurunan konsentrasi zat warna sintetik Indigosol pernah dilakukan oleh Herfiani dkk (2017) dengan menggunakan karbon aktif dari batok kelapa. Jenis zat warna Indigosol yang diadsorpsi adalah Indigosol *Blue* (*C.I. Vat Blue* 4). Proses pengolahan adsorpsi menggunakan media arang batok kelapa yang diaktivasi dengan larutan HCl 1M selama 24 jam. Perlakuan adsorpsi zat warna Indigosol *Blue* yang paling

optimum berada pada waktu kontak 180 menit dan dosis adsorben 100 gram dengan efisiensi penurunan sebesar 39,70%.

Penelitian lain mengenai adsorpsi zat warna sintetik Indigosol juga pernah dilakukan oleh Sari dkk. (2018) dengan menggunakan karbon aktif teknis. Jenis zat warna Indigosol yang diadsorpsi adalah Indigosol *Golden Yellow* IRK. Optimasi adsorpsi menggunakan empat parameter yaitu waktu kontak, dosis adsorben, konsentrasi dan pH awal larutan. Hasil adsorpsi dengan keempat parameter tadi didapatkan optimasi adsorpsi larutan Indigosol *Golden Yellow* IRK pada waktu kontak 60 menit, dosis adsorben 14 mg, konsentrasi awal larutan 60 ppm dalam kondisi asam (pH 4) dengan %*removal* sebesar $96,16\% \pm 0,59$ dan dalam kondisi basa (pH 12) dengan %*removal* sebesar $99,60\% \pm 0,36$.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah botol timbang, spatula, pengaduk kaca, neraca analitik, labu ukur 1000 mL dan 100 mL, gelas kimia 250 mL dan 100 mL, pipet ukur 25 mL dan 10 mL, gelas ukur 100 mL, pro pipet, pipet tetes, *magnetic stirrer*, corong kimia, pH meter, dan spektrofotometer UV-Vis (*Genesys 10S*).

3.1.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aqua DM, zat warna Indigosol *Pink IR* teknis, karbon aktif (Merck KGaA), NaOH (Merck KGaA), HCl 37% (*Smart-Lab*).

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Pembuatan Larutan Induk Indigosol *Pink IR* 1000 ppm

Zat warna Indigosol *Pink IR* ditimbang sebanyak 1 gram menggunakan neraca analitik, kemudian dilarutkan dengan aqua DM dalam gelas kimia 100 mL dan dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL. Aqua DM ditambahkan ke dalam labu ukur 1000 mL hingga tanda batas, dihomogenkan dengan cara dikocok perlahan.

3.2.2 Pembuatan Larutan Kerja Indigosol *Pink IR*

Larutan induk 1000 ppm diambil 100 mL dan diencerkan dalam labu ukur 1000 mL untuk mendapatkan larutan kerja 100 ppm. Kemudian dibuat larutan kerja 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80;

90 ppm (pengenceran dari larutan induk) dalam labu ukur 100 mL. Rumus pengenceran konsentrasi ditunjukkan pada Lampiran B.

3.2.3 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Indigosol *Pink IR*

Larutan induk Indigosol *Pink IR* 100 ppm diukur absorbansi maksimumnya pada panjang gelombang 200-800 nm (daerah ultraviolet-sinar tampak) menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan aqua DM sebagai blanko (Vijayan dkk., 2015). Panjang gelombang maksimum Indigosol *Pink IR* yang diperoleh kemudian dibuat kurva kalibrasi dengan mengukur larutan kerja Indigosol *Pink IR* (10-100 ppm).

3.2.4 Optimasi Waktu Kontak Adsorpsi

Karbon aktif ditimbang sebanyak 10 mg menggunakan neraca analitik, kemudian dimasukkan kedalam gelas kimia 100 mL. Larutan induk Indigosol *Pink IR* 100 ppm dipipet sebanyak 25 mL menggunakan pipet ukur, kemudian ditambahkan ke gelas kimia 100mL yang telah terisi karbon aktif. Larutan diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 5 menit dengan kecepatan 450 rpm, kemudian disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan larutan dengan karbon aktif. Filtrat diambil dan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis (λ_{maks} 325 nm) dengan aqua DM sebagai blanko. Perlakuan dilakukan secara triplo (pengulangan 3 kali) dengan cara yang sama untuk variasi waktu lainnya yaitu 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55 dan 60 menit. Hasil pengukuran absorbansi yang dibuat grafik %*removal* terhadap waktu kontak. Penentuan waktu kontak optimum berdasarkan pada hasil uji-t "*Paired Two Sample for Means*".

3.2.5 Optimasi Dosis Adsorben Adsorpsi

Karbon aktif ditimbang sebanyak 2,5 mg menggunakan neraca analitik, kemudian dimasukkan ke dalam gelas kimia 100

mL. Larutan induk Indigosol *Pink* IR 100 ppm dipipet sebanyak 25 mL menggunakan pipet ukur, kemudian ditambahkan ke dalam gelas kimia 100 mL yang telah terisi karbon aktif. Larutan diaduk dengan *magnetic stirrer* selama waktu optimum 35 menit dengan kecepatan 450 rpm, kemudian disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan larutan dengan karbon aktif. Filtrat diambil dan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis (λ_{maks} 325 nm) dengan aqua DM sebagai larutan blanko. Perlakuan dilakukan secara triplo dengan cara yang sama untuk variasi dosis adsorben lainnya yaitu 2,50; 5,00; 7,50; 15,00; 17,50; 20,00 dan 22,50 mg. Hasil pengukuran absorbansi yang diperoleh dibuat grafik *%removal* terhadap dosis adsorben. Penentuan dosis adsorben optimum berdasarkan pada hasil uji-t.

3.2.6 Optimasi Konsentrasi Awal Adsorpsi

Sebanyak dosis karbon aktif optimum 10 mg ditimbang menggunakan neraca analitik, kemudian dimasukkan ke dalam gelas kimia 100 mL. Larutan induk Indigosol *Pink* IR 100 ppm dipipet sebanyak 25 mL menggunakan pipet ukur, kemudian ditambahkan ke dalam gelas kimia 100 mL yang telah terisi karbon aktif. Larutan diaduk dengan *magnetic stirrer* selama waktu optimum 35 menit dengan kecepatan 450 rpm, kemudian disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan larutan dengan karbon aktif. Filtrat diambil dan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis (λ_{maks} 325 nm) dengan aqua DM sebagai sebagai larutan blanko. Perlakuan dilakukan secara triplo dengan cara yang sama untuk variasi konsentrasi awal larutan Indigosol *Pink* IR lainnya yaitu 20; 30; 40; 50; 60; dan 80 ppm. Hasil pengukuran absorbansi yang diperoleh dibuat grafik *%removal* terhadap konsentrasi awal larutan. Penentuan konsentrasi awal larutan Indigosol *Pink* IR optimum berdasarkan pada hasil uji-t.

3.2.7 Optimasi pH Awal Adsorpsi

Larutan induk Indigosol *Pink* IR dengan konsentrasi awal optimum 80 ppm diukur pH-nya menggunakan pH meter. Larutan dipipet sebanyak 100 mL menggunakan pipet ukur, kemudian ditambahkan larutan HCl atau NaOH tetes demi tetes untuk mengatur nilai pH larutan menjadi 7 dengan bantuan pH meter. Sebanyak 10 mg karbon aktif ditimbang menggunakan neraca analitik, kemudian dimasukkan ke dalam gelas kimia 25 mL. Larutan diaduk dengan waktu kontak optimum yaitu 35 menit menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 450 rpm, kemudian disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan larutan dengan karbon aktif. Filtrat diambil dan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis (λ_{maks} 325 nm) dengan aqua DM yang ditambahkan HCl atau NaOH dengan jumlah penambahan yang sama sebagai larutan blanko. Perlakuan dilakukan secara triplo dengan cara yang sama untuk variasi pH lainnya yaitu yaitu 2; 3; 4; 5; 6; 9; 11; dan 12. Hasil pengukuran absorbansi yang diperoleh dibuat grafik %*removal* terhadap pH awal larutan. Penentuan pH awal larutan Indigosol *Pink* IR optimum berdasarkan pada hasil uji-t.

3.2.8 Penentuan Model Isoterm Adsorpsi

Hasil penentuan konsentrasi awal adsorpsi optimum dibuat grafik isoterm Freundlich dengan nilai logaritma kapasitas adsorpsi ($\log q_e$ -sumbu y) terhadap logaritma konsentrasi akhir dari proses adsorpsi ($\log C_e$ -sumbu x). Kemudian, dibuat grafik isoterm Langmuir dengan nilai konsentrasi akhir per kapasitas adsorbs (C_e/q_e -sumbu Y) terhadap konsentrasi akhir dari proses adsorpsi (C_e -sumbu X). Hubungan linearitas dengan menghitung koefisien determinasi R^2 yang nilainya mendekati 1 menjadi dipilihnya model isoterm adsorpsi dari kedua model pada penelitian ini (Kurniaty, 2008).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

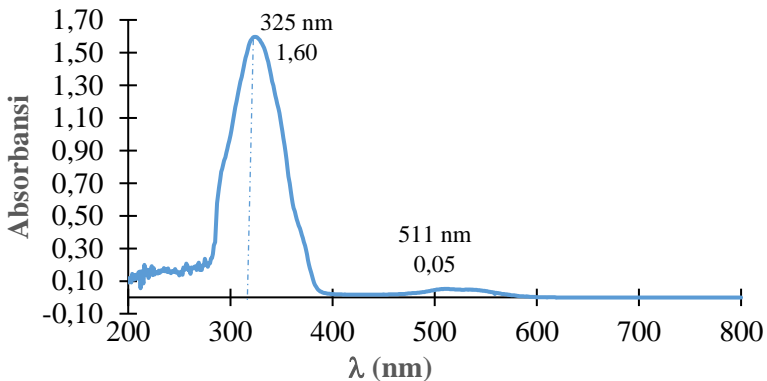
4.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Indigosol *Pink IR*

Tahap awal pada penelitian ini adalah penentuan panjang gelombang maksimum zat warna sintesis Indigosol *Pink IR*. Panjang gelombang maksimum dipilih untuk mengetahui pada serapan berapa zat yang dibaca oleh spektrofotometer UV-VIS secara optimum. Pada prinsipnya, untuk mengetahui besarnya serapan oleh larutan yang bukan analat digunakan blanko. Blanko sendiri memiliki pengertian yaitu larutan yang berisi selain komponen yang akan dianalisis (Torowati dkk., 2014). Blanko yang digunakan pada penelitian ini adalah aqua DM. Aqua DM dipilih karena memenuhi syarat sebagai pelarut yang baik yaitu mampu melarutkan sampel dengan sempurna, tidak mengandung ikatan rangkap terkonjugasi pada struktur molekulnya, tidak berwarna, dan memiliki kemurnian yang tinggi.

Pada pengukuran spektrofotometer UV-Vis (*Genesys 10 S*), dibuat larutan dengan konsentrasi yang sangat rendah. Hal ini untuk meminimalisir kesalahan, karena hukum Beer berlaku pada larutan encer agar larutan dapat ditembus cahaya. Spektrum UV-Vis (Gambar 4.1) menunjukkan adanya dua puncak serapan pada 325nm (pita I) dan 511nm (pita II). Pada penelitian ini, spektrum pada pita I berada pada rentang daerah ultraviolet. Menurut Purbowati dan Ersam (2017), hal ini mengindikasikan adanya eksitasi elektron dari $\pi \rightarrow \pi^*$ yang merupakan kromofor khas sistem ikatan rangkap terkonjugasi ($-C=C-C=C-$) pada cincin aromatik. Pada pita II dengan panjang gelombang 511nm menunjukkan adanya eksitasi elektron dari $n \rightarrow \pi^*$ yang merupakan kromofor khas untuk sistem terkonjugasi dari heteroatom dengan ikatan rangkap terkonjugasi ($-C=C-C=O$).

Transisi elektron $n \rightarrow \pi^*$, memerlukan energi yang lebih kecil daripada transisi $\pi \rightarrow \pi^*$, tetapi karena orbital non bonding n berbeda ruang dengan orbital anti bonding π^* , maka jumlah elektron n yang bertransisi ke π^* jumlahnya lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah elektron transisi dari $\pi \rightarrow \pi^*$, sehingga di dalam spektrum UV-Vis absorbansi dari eksitasi $n \rightarrow \pi^*$ adalah jauh lebih rendah (Silverstein dkk., 1981). Selain itu, juga disebabkan oleh sedikitnya gugus kromofor pada struktur Indigosol *Pink IR* yang mampu mengeksitasi elektron dari $n \rightarrow \pi^*$.

Pembacaan absorbansi yang baik dalam penggunaan proses adsorpsi oleh spektrofotometer UV-Vis modern hendaknya dilakukan pada rentang 0,00-2,00 (Galban dkk., 2007). Hal ini dikarenakan pada kisaran daerah tersebut kesalahan fotometrik yang terjadi akibat pembiasan cahaya paling minimal sehingga penyimpangan yang terjadi sangat rendah yaitu 0,05% atau 0,50%. Hal ini dapat dipilih panjang gelombang maksimum larutan Indigosol *Pink IR* 100 ppm adalah 325 nm dengan absorbansi 1,60 yang dapat ditunjukkan pada Gambar 4.1. Alasan tidak dipilihnya panjang gelombang maksimum 511 nm karena terlalu kecil dan menghasilkan nilai absorbansi negatif setelah proses adsorpsi.



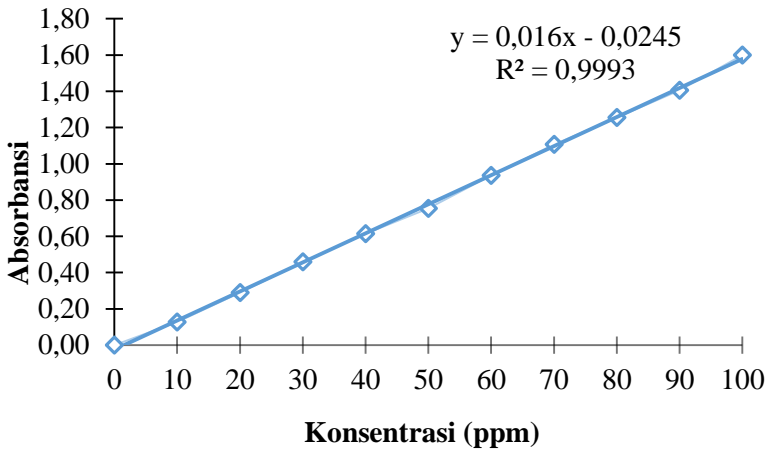
Gambar 4.1 Kurva Panjang Gelombang Maksimum Indigosol *Pink IR* 100 ppm

4.2 Pembuatan Kurva Kalibrasi Indigosol *Pink* IR

Kurva kalibrasi dibuat dengan mengukur nilai absorbansi larutan Indigosol *Pink* IR konsentrasi 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, dan 100 ppm. Menurut Dian dkk (2012) kurva kalibrasi dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi akhir larutan setelah proses adsorpsi pada tahap selanjutnya dengan memasukkan nilai absorbansi ke persamaan regresi linear yang diperoleh. Penentuan absorbansi pada masing-masing konsentrasi dilakukan pada panjang gelombang maksimum 325nm. Pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.2 menunjukkan peningkatan konsentrasi awal larutan Indigosol *Pink* IR menyebabkan peningkatan pula pada nilai absorbansi yang terukur. Hal ini disebabkan karena konsentrasi yang semakin tinggi mengakibatkan semakin banyak sinar ultraviolet dari spektrofotometer yang diserap oleh molekul-molekul dalam larutan sehingga nilai absorbansi menjadi lebih tinggi.

Tabel 4.1 Data Absorbansi Larutan Indigosol *Pink* IR Pada Beberapa Konsentrasi

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0	0,00
10	1,60
20	1,41
30	1,26
40	1,11
50	0,94
60	0,75
70	0,62
80	0,46
90	0,29
100	0,13



Gambar 4.2 Kurva Kalibrasi Indigosol *Pink IR*

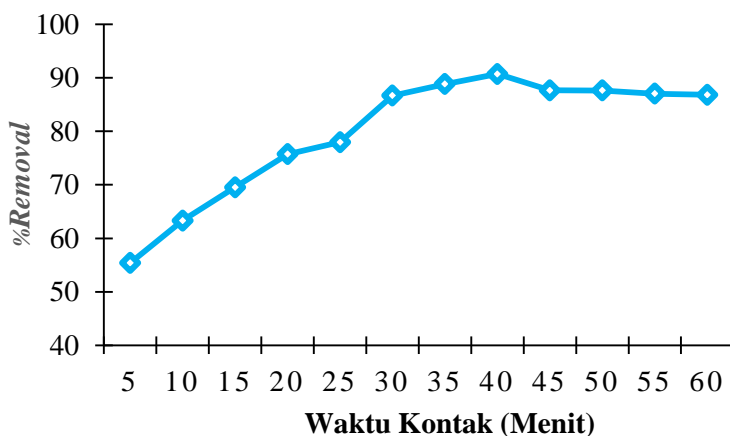
Kurva kalibrasi yang diperoleh memiliki persamaan regresi linear $y = 0,016x - 0,0245$ dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9993 artinya terdapat hubungan yang linear antara variabel bebas x (konsentrasi) dengan variabel y (absorbansi). Nilai koefisien korelasi yang mendekati satu menunjukkan bahwa kurva regresi yang dibuat memiliki tingkat kesalahan yang kecil dan sangat baik untuk standar pengukuran dalam dekolonisasi sampel zat warna (Febiyanto dkk., 2016).

4.3 Pengaruh Waktu Kontak terhadap Uji Adsorpsi Indigosol *Pink IR*

Waktu kontak adsorpsi merupakan faktor penting karena dapat mengetahui pengaruh waktu kontak yang diperlukan sehingga dapat menghasilkan proses adsorpsi Indigosol *Pink IR* yang optimum. Semakin lama waktu kontak, maka semakin lama waktu yang dibutuhkan adsorben dalam proses adsorpsi dengan adsorbatnya. Proses adsorpsi Indigosol *Pink IR* yang diteliti adalah

sebanyak 25 mL dengan konsentrasi 100 ppm, dosis karbon aktif 10 mg, kecepatan pengadukan 450 rpm, dan variasi waktu 5; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55 dan 60 menit. Penelitian dilakukan secara triplo yang menunjukkan standar deviasi kurang dari 2% sehingga prosedur yang dilakukan telah presisi (Silverstein dkk., 1981).

Hasil pengaruh variasi waktu kontak adsorpsi dapat ditunjukkan pada Gambar 4.3 yang menunjukkan bahwa %*removal* meningkat dari menit ke-5 hingga menit ke-40 yaitu 90,72%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak maka semakin banyak Indigosol *Pink* IR yang berinteraksi dan teradsorpsi pada adsorben. Berbeda pada waktu kontak yang terjadi pada menit ke-45, 50, 55, dan 60 terjadi penurunan persen removal yang cenderung konstan berturut-turut 87,66%; 87,64%; 87,05% dan 86,82%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak melewati waktu kesetimbangan maka akan terjadi desorpsi atau pelepasan kembali adsorbat yang telah diadsorpsi (Wahyuningsih dkk., 2018). Pelepasan ini terjadi karena interaksi yang lemah antara adsorbat dengan adsorben.



Gambar 4.3 Hubungan %*Removal* terhadap Adsorpsi Larutan Indigosol *Pink* IR dengan Variasi Waktu Kontak

Penentuan waktu kontak optimum adsorpsi dilakukan uji statistik berupa uji-t “*Paired Two Sample for Means*” antara dua waktu kontak sebelum dan sesudah waktu kontak yang diduga optimum. Pada uji statistik dibuat hipotesis dimana H_0 diterima apabila tidak terdapat perbedaan secara signifikan (terjadi jika $t_{hitung} < t_{kritis}$), sedangkan H_1 diterima apabila terdapat perbedaan secara signifikan (terjadi jika $t_{hitung} > t_{kritis}$). Dari hasil uji-t didapatkan nilai t_{hitung} pada waktu kontak 35 dan 40 menit sebesar 2,78 sedangkan 45 dan 40 menit sebesar 7,51 dengan nilai t_{kritis} yang sama yaitu 4,30. Artinya antara data waktu kontak 35 dan 40 menit tidak terdapat perbedaan signifikan (H_0 diterima), sedangkan data 40 dan 45 menit terdapat perbedaan signifikan (H_1 diterima).

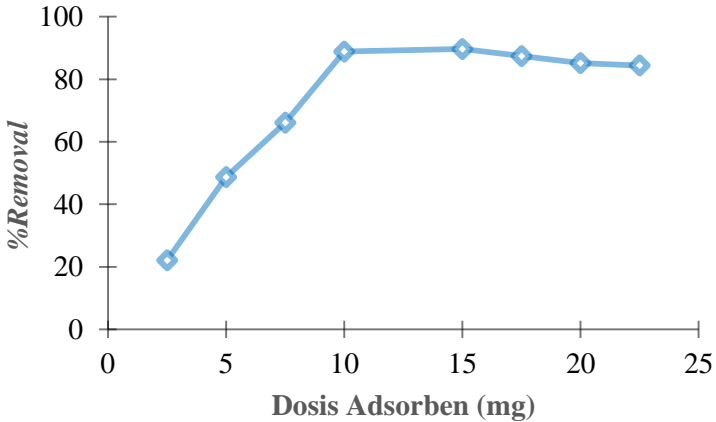
Hal ini menunjukkan bahwa waktu kontak optimum yang dibutuhkan Indigosol *Pink IR* teradsorb oleh karbon aktif selama 35 menit dengan persen *removal* sebesar $88,82\% \pm 1,49\%$. Penambahan waktu kontak antara adsorben dan adsorbat selanjutnya tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan zat warna. Kapasitas adsorpsi (q_e) merupakan jumlah zat warna yang diadsorpsi per satuan dosis adsorben. Kapasitas adsorpsi berbanding lurus dengan hasil persentase *removal*. Kapasitas adsorpsi terus meningkat seiring bertambahnya waktu kontak sama halnya dengan persen *removal*. Kapasitas adsorpsi maksimum terjadi pada waktu kontak 35 menit dengan nilai 223,92 mg/g.

4.4 Pengaruh Dosis Adsorben terhadap Uji Adsorpsi Indigosol *Pink IR*

Variasi dosis adsorben adalah faktor penting kedua setelah penentuan waktu optimum. Variasi dosis karbon aktif dilakukan untuk mengetahui pengaruh dosis adsorben yang diperlukan sehingga dapat menghasilkan proses adsorpsi Indigosol *Pink IR* yang optimum. Semakin besar dosis adsorben maka semakin tinggi

pula %*removal* suatu zat warna karena kuantitas sisi aktif serapan akan meningkat dengan bertambahnya jumlah adsorben. Pengaruh dosis adsorben memberikan ide terhadap kemampuan adsorben dalam menyerap zat warnaditinjau dari sudut pandang ekonomi. Proses adsorpsi Indigosol *Pink* IR yang diteliti adalah sebanyak 25 ml dengan konsentrasi 100 ppm, waktu kontak 35 menit, kecepatan pengadukan 450 rpm, dan variasi dosis adsorben 2,50; 5,00; 7,50; 10,00; 15,00; 17,50; 20,00 dan 22,50 mg. Penelitian dilakukan secara triplo yang menunjukkan standar deviasi kurang dari 2% sehingga prosedur yang dilakukan telah presisi.

Hasil pengaruh variasi dosis adsorben dapat ditunjukkan pada Gambar 4.4 yang menunjukkan bahwa persen *removal* meningkat dari dosis adsorben 2,50 mg hingga 15 mg yaitu 89,64%. Pada penambahan sedikit adsorben mengakibatkan luas permukaan adsorben yang mudah jenuh dengan zat warna sedangkan sisa konsentrasi zat warna dalam larutan masih besar sehingga persen *removal* relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak dosis adsorben yang ditambahkan maka luas permukaan juga akan bertambah, sehingga sisi aktif pada adsorben bertambah banyak untuk mengikat dan menjerap adsorbat yang menyebabkan efisiensi penyerapan zat warna lebih maksimal sampai titik optimum (Phuengprasop dkk., 2011). Berbeda dengan dosis adsorben setelah kondisi optimum (17,50; 20,00; 22,50 mg) mengalami penurunan persen *removal* berturut-turut 87,41%; 85,15%; 87,05% dan 84,39%. Terjadi penurunan persen *removal* disebabkan partikel karbon aktif yang mengalami agregasi pada dosis lebih besar dan volume larutan yang tidak sesuai dengan porsinya sehingga menyebabkan penurunan luas permukaan pada karbon aktif (Pathania dkk., 2013). Jika luas permukaan kecil maka karbon aktif memiliki kemampuan yang kecil juga dalam mengadsorpsi zat zat warna Indigosol *Pink* dalam larutan (Aljeboree dkk., 2017).



Gambar 4.4 Hubungan %*Removal* terhadap Adsorpsi Larutan Indigosol *Pink* IR dengan Variasi Dosis Adsorben

Penentuan dosis adsorben optimum dalam proses adsorpsi dilakukan uji statistik berupa uji-t “*Paired Two Sample for Means*” antara dua dosis adsorben sebelum dan sesudah dosis adsorben yang diduga optimum. Pada uji statistik dibuat hipotesis dimana H_0 diterima apabila tidak terdapat perbedaan secara signifikan (terjadi jika $t_{hitung} < t_{kritis}$), sedangkan H_1 diterima apabila terdapat perbedaan secara signifikan (terjadi jika $t_{hitung} > t_{kritis}$). Dari hasil uji-t didapatkan nilai t_{hitung} pada dosis adsorben 10 dan 15mg sebesar 0,95 sedangkan 15 dan 17,50 mg sebesar 8,38 dengan nilai t_{kritis} yang sama yaitu 4,30. Artinya antara data dosis adsorben 10 dan 15 mg tidak terdapat perbedaan signifikan (H_0 diterima), sedangkan data 15 dan 17,50 mg terdapat perbedaan signifikan (H_1 diterima). Hal ini menunjukkan bahwa dosis adsorben optimum yang dibutuhkan Indigosol *Pink* IR teradsorb oleh karbon aktif sebanyak 10 mg dengan persen *removal* sebesar $88,82\% \pm 1,49\%$. Penambahan dosis adsorben selanjutnya tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan zat warna. Pada

tahap ini, juga diteliti kapasitas adsorpsi terhadap dosis adsorben optimum yaitu 223,92 mg/g.

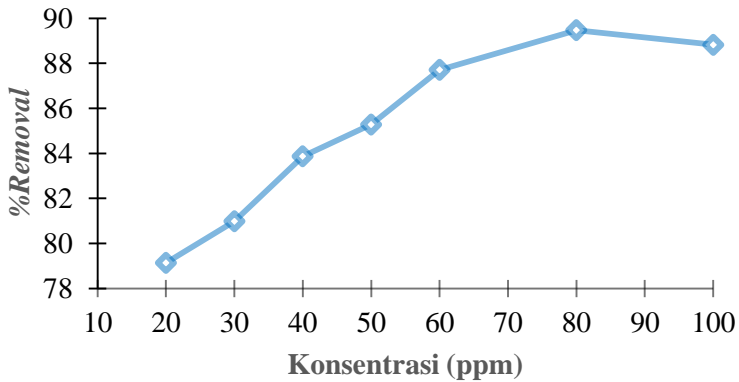
4.5 Pengaruh Konsentrasi Awal Larutan terhadap Uji Adsorpsi Indigosol *Pink* IR

Jumlah penurunan konsentrasi zat warna sangat tergantung pada konsentrasi awal zat warna dalam proses adsorpsi. Variasi konsentrasi adalah faktor penting ketiga setelah penentuan waktu kontak dan dosis adsorben optimum. Persen *removal* zat warna akan berkurang seiring dengan peningkatan konsentrasi awal zat warna yang disebabkan kejenuhan sisi aktif pada permukaan adsorben. Namun, di sisi lain, peningkatan konsentrasi awal zat warna juga meningkatkan kapasitas adsorben yang disebabkan tingginya gaya dorong molekul dalam perpindahan dosis berkonsentrasi tinggi. Uji adsorpsi Indigosol *Pink* IR pada tahap ini adalah sebanyak 25 mL dengan variasi konsentrasi 10; 20; 40; 60; 80; 100 ppm, waktu kontak 35 menit, kecepatan pengadukan 450 rpm, dan dosis adsorben 10mg. Penelitian dilakukan secara triplo yang menunjukkan standar deviasi kurang dari 2% sehingga prosedur yang dilakukan telah presisi.

Hasil pengaruh variasi konsentrasi awal larutan dapat ditunjukkan pada Gambar 4.5 yang menunjukkan bahwa persen *removal* meningkat dari konsentrasi awal 20 ppm hingga 80 ppm. Semakin tinggi konsentrasi awal larutan zat warna maka semakin besar perbedaan konsentrasi yang menjadi gaya dorong (*driving force*) bagi perpindahan massa zat warna dari larutan ke permukaan karbon aktif, kemudian menuju makropori dan berakhir pada mikropori. Besarnya perbedaan konsentrasi mempercepat pergerakan molekul-molekul zat warna sehingga laju perpindahan dosis zat warna juga makin cepat (Zahra dkk., 2014). Hal ini juga diperjelas oleh Sahara dkk. (2018) bahwa terjadinya peningkatan adsorpsi diakibatkan belum jenuhnya situs aktif pada permukaan adsorben sehingga semakin tinggi konsentrasi zat warna Indigosol

Pink IR maka akan semakin banyak molekul zat warna yang teradsorpsi. Sementara pada konsentrasi awal 10 ppm, rasio jumlah molekul zat warna awal terhadap luas permukaan adsorben yang tersedia masih rendah.

Pada konsentrasi awal 80 ppm hingga 100 ppm, %*Removal* tidak mengalami penurunan yang signifikan dan cenderung konstan yaitu berturut-turut sebesar 89,47% dan 88,82%. Hal ini dikarenakan permukaan adsorben telah jenuh untuk berinteraksi dengan zat warna sehingga persentase *removal* mengalami kesetimbangan (Herfiani dkk. 2017). Selain itu, penurunan jumlah molekul yang teradsorpsi menunjukkan permukaan adsorben yang digunakan telah melewati titik jenuh sehingga pori-pori pada permukaan adsorben tidak mampu lagi mengikat molekul-molekul zat warna yang masih tersisa pada larutan (Sahara dkk., 2018)



Gambar 4.5 Hubungan %*Removal* terhadap Adsorpsi Larutan Indigosol Pink IR dengan Variasi Konsentrasi Awal Larutan

Penentuan konsentrasi awal larutan optimum dalam proses adsorpsi dilakukan uji statistik berupa uji-t “*Paired Two Sample*

for Means” antara dua konsentrasi awal sebelum dan sesudah konsentrasi awal yang diduga optimum. Pada uji statistik dibuat hipotesis dimana H_0 diterima apabila tidak terdapat perbedaan secara signifikan (terjadi jika $t_{hitung} < t_{kritis}$), sedangkan H_1 diterima apabila terdapat perbedaan secara signifikan (terjadi jika $t_{hitung} > t_{kritis}$). Dari hasil uji-t didapatkan nilai t_{hitung} pada dosis adsorben 60 dan 80 ppm sebesar 4,80 sedangkan 80 dan 100 ppm sebesar 0,88 dengan nilai t_{kritis} yang sama yaitu 4,30. Artinya antara data konsentrasi awal 60 dan 80ppm terdapat perbedaan signifikan (H_1 diterima), sedangkan data 80 dan 100 ppm tidak terdapat perbedaan signifikan (H_0 diterima). Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi awal optimum yang dibutuhkan untuk proses adsorpsi Indigosol *Pink IR* sebanyak 80ppm dengan persen *removal* dan kapasitas adsorpsi sebesar 89,47% \pm 0,22% dan 178,67 mg/g. Penambahan konsentrasi awal selanjutnya tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan zat warna.

4.6 Pengaruh pH Awal Larutan terhadap Uji Adsorpsi Indigosol Pink IR

Parameter penting dalam uji adsorpsi selain waktu kontak, dosis adsorben, dan konsentrasi awal larutan adalah derajat keasaman atau pH. pH suatu larutan mengarah pada variasi derajat ionisasi dari molekul adsorptif dan sifat permukaan adsorben. Menurut Riapanitra (2006), pH akan mempengaruhi muatan permukaan adsorben, derajat ionisasi, dan spesi apa saja yang terserap dalam kondisi adsorpsi tersebut. Nilai pH juga akan mempengaruhi kesetimbangan kimia, baik pada adsorbat maupun adsorben. Dalam variasi pH, kemungkinan ikatan kimia antara adsorbat dan adsorben akan terjadi (Alfarisi, 2017).

Uji adsorpsi Indigosol *Pink IR* pada tahap ini adalah sebanyak 25 mL dengan konsentrasi 80 ppm, waktu kontak 35 menit, kecepatan pengadukan 450 rpm, dosis adsorben 10 mg dan variasi pH 2; 3; 4; 5; 6; 7; 9; 11 dan 12. Penelitian dilakukan secara

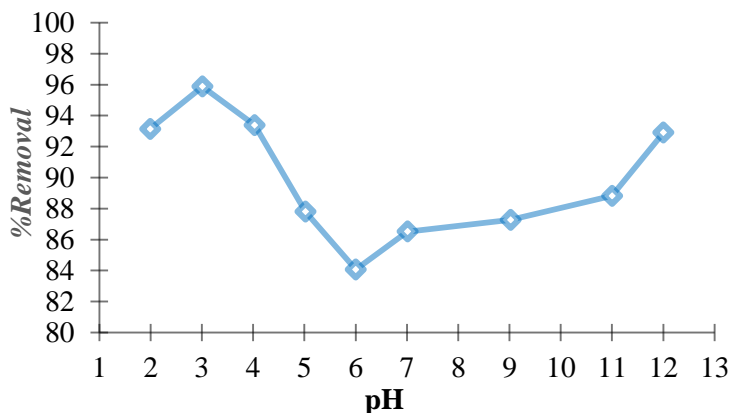
triplo atau pengulangan tiga kali dengan syarat standar deviasi kurang dari 2% untuk menunjukkan bahwa prosedur yang dilakukan telah presisi. Semua zat warna jenis indigosol memiliki gugus aktif sulfonat (SO_3^-) yang dapat berinteraksi dengan adsorben (Aryanti dkk., 2017).

Hasil pengaruh variasi pH awal larutan dapat ditunjukkan pada Gambar 4.6 yang menunjukkan bahwa persen *removal* meningkat dari pH 2 ke 3 kemudian menurun hingga pH 6 dan pada pH 7 hingga 12 terjadi peningkatan lagi. Hal ini disebabkan karena pada kondisi asam, jumlah ion H^+ dalam larutan menjadi lebih banyak sehingga dapat memprotonasi gugus hidroksil (OH^-) yang berasal dari gugus aktif adsorben karbon aktif berupa gugus karboksil ($-\text{COOH}$) dan fenol menjadi $-\text{H}_2\text{O}^+$ (Wahyuningsih dkk., 2018). Dalam larutan encer zat warna akan terlarut dan terdisosiasi membentuk anion berupa gugus sulfonat ($-\text{SO}_3^-$). Gugus sulfonat terdisosiasi ($-\text{SO}_3^-$) inilah yang berikatan dengan $-\text{H}_2\text{O}^+$ dari adsorben dan menyebabkan anion gugus sulfonat tertarik ke permukaan adsorben (Ada dkk., 2009).

Pada kondisi basa proses adsorpsi masih dapat terjadi dan mengalami peningkatan hingga pH 12, namun efisiensinya lebih rendah dibandingkan pada kondisi asam. Pada nilai pH yang lebih tinggi, permukaan adsorben menjadi bermuatan negatif dan tidak mendukung adsorpsi zat warna anionik karena akan mengakibatkan terjadinya tolakan elektrostatis antara zat warna dengan permukaan karbon aktif yang juga bermuatan parsial negatif sehingga adsorpsi yang terjadi relatif rendah. Namun, interaksi dispersi π - π antara karbon aktif dan molekul Indigosol Pink IR masih dapat terjadi (Zhu dkk., 2005). Hal ini sesuai dengan penelitian Netty Kamal (2009), dimana proses adsorpsi zat warna anionik oleh karbon aktif terjadi pada nilai pH basa optimal 11 akibat terjadinya kesetimbangan antara zat warna dengan ion hidroksil didalam larutan. Adsorpsi tinggi pada pH asam dikarenakan meningkatnya protonasi oleh penetralan muatan

negatif dari permukaan adsorben sehingga memudahkan proses difusi pada adsorben (Nasution dkk., 2015).

Uji adsorpsi Indigosol *Pink* IR pada tahap ini adalah sebanyak 25 mL dengan konsentrasi 80 ppm, waktu kontak 35 menit, kecepatan pengadukan 450 rpm, dosis adsorben 10 mg, dan variasi pH 2; 3; 4; 5; 6; 7; 9; 11; 12. Penentuan dosis adsorben optimum dalam proses adsorpsi dilakukan uji statistik berupa uji-t “*Paired Two Sample for Means*” antara dua dosis adsorben sebelum dan sesudah pH yang diduga optimum. Pada uji statistik dibuat hipotesis dimana H_0 diterima apabila tidak terdapat perbedaan secara signifikan (terjadi jika $t_{hitung} < t_{kritis}$), sedangkan H_1 diterima apabila terdapat perbedaan secara signifikan (terjadi jika $t_{hitung} > t_{kritis}$). Dari hasil uji-t didapatkan nilai t_{hitung} pada pH 2 dan 3 sebesar 8,63 sedangkan pH 3 dan 12 sebesar 12,94 dengan nilai t_{kritis} yang sama yaitu 4,30. Artinya antara data pH 2 dan 3 serta 3 dan 12 terdapat perbedaan signifikan (H_1 diterima). Hal ini menunjukkan bahwa pH awal larutan optimum yang dibutuhkan Indigosol *Pink* IR teradsorb oleh karbon aktif pada pH 3 dengan %*removal* dan kapasitas adsorpsi sebesar $95,87\% \pm 0,25$ dan $190,86$ mg/g.



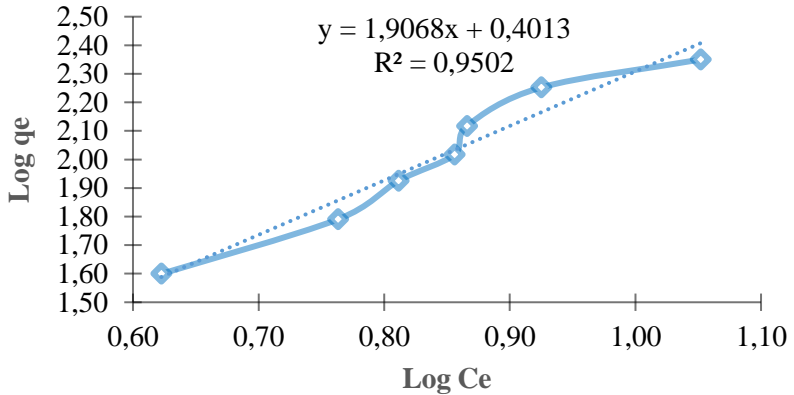
Gambar 4.6 Hubungan %*Removal* terhadap Adsorpsi Larutan Indigosol *Pink* IR dengan Variasi pH Awal Larutan

4.7 Penentuan Kondisi Optimum

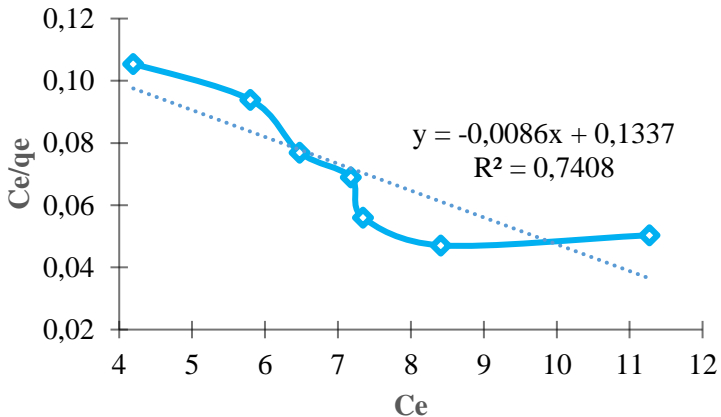
Penurunan konsentrasi Indigosol *Pink* yang dilakukan melalui proses adsorpsi dengan adsorben karbon aktif hingga mencapai persen *removal* dan kapasitas adsorpsi tertinggi sebesar $95,87\% \pm 0,25\%$ dan $190,86 \text{ mg/g}$. Kondisi optimum untuk menghasilkan persen *removal* tertinggi yaitu dengan mencampurkan 25 mL larutan Indigosol *Pink* konsentrasi 80 ppm dan 10 mg karbon aktif. Larutan Indigosol *Pink* yang digunakan diatur pada pH 3 (asam). Proses adsorpsi dilakukan pada suhu ruang dengan kecepatan pengadukan 450 rpm selama 35 menit. Setelah proses pengadukan berakhir, dilakukan penyaringan menggunakan kertas saring untuk memisahkan karbon aktif dengan filtrat yang diperoleh menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 325 nm.

4.8 Penentuan Model Isoterm Adsorpsi

Perubahan konsentrasi adsorbat dalam proses adsorpsi sesuai dengan mekanismenya dapat dipelajari melalui penentuan model isoterm adsorpsi. Model isoterm adsorpsi yang biasa digunakan adalah isoterm adsorpsi tipe Langmuir dan Freundlich. Tipe isoterm adsorpsi dapat digunakan untuk mengetahui mekanisme adsorpsi adsorben terhadap adsorbat. Adsorpsi fase padat cair biasanya mengikuti tipe isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich, dengan ikatan antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben dapat terjadi secara fisisorpsi dan kemisorpsi. Pada grafik isoterm Freundlich (Gambar 4.7) dan isoterm Langmuir (Gambar 4.8) menunjukkan bahwa proses adsorpsi karbon aktif cenderung mengikuti pola isoterm adsorpsi Freundlich. Menurut Kurniaty (2008), pengujian persamaan model adsorpsi dibuktikan dengan grafik linierisasi yang baik dan mempunyai harga koefisien determinasi mendekati angka 1 dengan harga R^2 yang dapat diterima adalah $\geq 0,95$ atau $\geq 95\%$.



Gambar 4.7 Grafik Model Isoterm Freundlich



Gambar 4.8 Grafik Model Isoterm Langmuir

Isoterm Freundlich pada proses adsorpsi menunjukkan permukaan adsorben bersifat heterogen yang artinya terdapat sisi aktif yang memiliki afinitas tinggi dan bagian lainnya memiliki

afinitas rendah (Sembodo, 2006), membentuk lebih dari satu lapisan permukaan (*multilayer*), dan proses adsorpsi yang bersifat fisika (fisorpsi) (Lyubchik, 2000). Ciri-ciri dari adsorpsi fisika itu sendiri adalah terjadi pada suhu yang rendah, jenis interaksinya adalah interaksi intermolekuler (gaya *van der waals*), entalpinya rendah ($\Delta H < 40$ kJ/mol) dan merupakan suatu proses bolak-balik (*reversible*) (Beroeh, 2004). Adsorpsi yang terjadi secara fisik berarti penyerapan lebih banyak terjadi pada permukaan adsorben yaitu arang aktif. Adsorbat tidak terikat kuat pada permukaan adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke permukaan yang lain, dan pada permukaan yang ditinggalkan dapat digantikan oleh adsorbat yang lainnya. Hal ini terjadi karena adanya ikatan *van der waals* yaitu gaya tarik menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben (Jasmal dkk., 2015).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penurunan konsentrasi zat warna sintetik Indigosol *Pink IR* telah berhasil dilakukan dengan menggunakan adsorben karbon aktif. Proses adsorpsi dengan persen *removal* tertinggi terjadi pada waktu kontak selama 35 menit dengan dosis adsorben karbon aktif 10 mg dan konsentrasi awal larutan Indigosol *Pink IR* 80 ppm dalam kondisi asam (pH 3) dengan nilai sebesar $95,87\% \pm 0,25\%$. Proses adsorpsi mengikuti model isoterm Freundlich yang berlakunya jenis adsorpsi yang bersifat fisika (fisorpsi).

5.2 Saran

Hasil dari penelitian ini selanjutnya dapat diaplikasikan untuk pengolahan limbah zat warna sintetik Indigosol *Pink IR* di Rumah Batik Putat Jaya, Surabaya sebelum dibuang ke lingkungan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Ada, E., Ergene, K., Tan, A., Sema, Yalcin, 2009, “Adsorption of Remazol Brilliant Blue R using ZnO fine powder: Equilibrium, kinetic and thermodynamic modeling studies,” *J. Hazard. Mater*, **165**: 637–644.
- Adedayo, O., Javadpour, S., Taylor, C. Anderson, W.A., Moo-Young, M., 2004, “Decolourization and detoxification of methyl red by aerobic bacteria from a wastewater treatment plant”, *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, **20**: 545–550.
- Aisyahlika Z.S., Firdaus L.M., Elvia R., 2018, “Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Cangkang Bintaro (Cerbera odollam) Terhadap Zat Warna Sintetis Reactive Red-120 dan Reactive Blue-198”, *Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Kimia*, **2**(2): 148-155.
- Alfarisi, F., 2017, “Sintesis dan Karakteristik Karbon Aktif dari Tandan Pisang dengan Menggunakan Aktivator KOH Untuk Adsorpsi Fenol”, *Skripsi, Studi Ilmu Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta*.
- Aljeboree, A.M., Alshirifi, A.N., Alkaim, A.F., 2017, “Kinetics and equilibrium study for the adsorption of textile dyes on coconut shell activated carbon”, *Arabian J. Chem*, **10**: 3381-3393.
- Alvarez, J., Lopez, G., Amutio, M., Bilbao, J., Olazar, M., 2014, “Upgrading the rice husk char obtained by flash pyrolysis for the production of amorphous silica and high quality activated carbon”, *Bioresour Technol*, **170**: 132–137.
- Andari, S., 2013, “Perbandingan Penetapan Kadar Ketoprofen Tablet Secara Alkalimetri dengan Spektrofotometri-UV”, *Jurnal EduHealth*, **3**(2).

- Aryanti, N., Saraswati, A., Putra, P.R., Nafiunisa A., Wardhani H.D., 2018, "Fouling Mechanism Of Micelle Enhanced Ultrafiltration With SDS Surfactant For Indigozol Dye Removal", *Jurnal Teknologi*, **80**(3): 29–36.
- Atkins, P., Paula., J.D., 2010. "Physical Chemistry Ninth Edition", *W. H. Freeman and Company: New York*. 888-889
- Behera, S., Ghanti, S., Ahmad, F., Santra, S., Banerjee, S., 2012, "UV-visible Spectrophotometric Method Development and Validation Of Assay Of Paracetamol Tablet Formulation", *Journal Analytical and Bioanalytical Techniques*, **3**(6):1-6.
- Beroeh, K., 2004, "Pengaruh Suhu Karbonisasi terhadap Daya Serap Karbon Aktif dengan Aktivator $ZnCl_2$ dari Serbuk Gergaji Kayu Jati", *Jurnal Teknik Kimia UMJ*.
- Blais, J.F, Dufresne, B., Mercier, G., 2000, "State of The Art of Technologies for Metal Removal from Industrial Effluents", *Rev Sci Eau*, **12**(4): 687-711.
- Chattopadhyay, S.N., Pan, N.C., Roy, A.K., Khan, A., 2009, "Dyeing of Jute Fabric Using Indigosol Dyes", *Journal of Natural Fibers*, **6**: 98-107.
- Chowdhury, Z.Z., Zain, S.M., Khan, R.A., Ahmad , A.A., Islam, M.S., Arami-niya A., 2011, "Application of central composite design for preparation of Kenaf fiber based activated carbon for adsorption of manganese (II) ion", *African Journal*, **6**(31): 7191–7202.
- Cisneros, R.L., Espinoza, A.G., Litter M.I., 2002, "Photodegradation of an azo dye of the textile industry", *Chemosphere*, **48**(4):393-399.
- Costa, C.R., Montilla, F., Morallon, E., and Olivi, P., 2010, "Electrochemical oxidation of synthetic tannery wastewater in chloride free aqueous media", *Journal of Hazardous Materials*, **180**(1-3): 429-435.

- Daud, Z., Abubakar H.M., Kadir, A.A., Latiff A.A., Awang, H., Halim, A.A., Marto, A., 2017, "Batch Study on COD and Ammonia Nitrogen Removal Using Granular Activated Carbon and Cockle Shells", *International Journal of Engineering*, **30**(7): 937-944.
- Dachriyanus, 2004, "Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi", LPTIK Universitas Andalas, 1-20.
- Dian. A., Yanlinastuti, Noviarty, Masrukan, 2012, "Analisis Zr Dalam Paduan UZr (6%) Melalui Pengukuran Senyawa Zr-Arsenazo III Menggunakan Spektrofotometri UV-Vis", *Urania*, **18**(2): 59 – 119.
- Everett, D.H., 1972, "Manual of symbols and terminology for physicochemical quantities and units. Appendix II. Definitions, terminology and symbols in colloid and surface chemistry", *Pure Appl. Chem*, **31**(4): 577–638.
- Febiyanto, Soleh, A., Afif M., 2016, "Elektrodekolorisasi Limbah Cair Zat warna Batik Dengan Memanfaatkan Batang Karbon Dari Limbah Baterai Bekas", *Jurnal MIPA*, **39**(2): 135-142.
- Galban, J., Marcos, S.D., Sanz, I., Ubide, C., Zuriararin, J., 2007, "Uncertainty in Modern Spechtrophotometers", *Product Review*, American Chemical Society.
- Gawande M.S., Belwalkar S.N., Mane A.A., 2017, "Adsorption and its Isotherm-Theory", *International Journal of Engineering Research*. **6**(6): 312-316.
- Gupta S., Bhattacharyya, K.G., 2011, "Kinetics of adsorption of metal ions on inorganic materials", *Adv Colloid Interface Sci*, **162**(2): 39-58.
- Hassan, M.M., Carr, C.M., 2018, "A critical review on recent advancements of the removal of reactive dyes from dyehouse effluent by ion-exchange adsorbents", *Chemosphere*, **209**: 201-219.

- Herfiani, H.Z., Rezagama, A., Nur, M., 2017, “Pengolahan Limbah Cair Zat Warna Jenis Indigosol Blue (C.I Vat Blue 4) Sebagai Hasil Produksi Kain Batik Menggunakan Metode Ozonasi dan Adsorpsi Arang Aktif Batok Kelapa Terhadap Parameter COD dan Warna”, *Jurnal Teknik Lingkungan*, **6**(3).
- Hubbe, M., O’Neal, W., Beck, K.R., Sharma, C.Y., 2012, “Cellulosic substrates for removal of pollutants from aqueous systems”, *BioResource*, **7**(2): 2592-2687.
- Hussain, S., Arshad, M., 2015, “The stability of textile azo dyes in soil and their impact on microbial phospholipid fatty acid profiles”, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **120**: 163–168
- Ioannidou, O., Zabaniotou, A., 2007, “Agricultural residues as precursors for activated carbon production”, *Renewable Sustainable Energy. Rev*, **11**(9): 1966–2005.
- Jasmal, Sulfikar, Ramlawati, 2015, “Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Ijuk Pohon Aren (*Arenga pinnata*) terhadap Pb^{2+} ”, *Jurnal Sainsmat*, **4**(1): 57-66.
- Kamal, N., 2009, “Pemakaian Adsorben Karbon Aktif Dalam Pengolahan Limbah Industri Batik”, *Jurnal Teknologi Kimia*, **1**: 77-80.
- Khan, A.S., Khan, L.U., Khan, B.S., Khan, A., Farooq, K., Asiri, A.M., 2019, “Fourier Transform Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Application in Functional Groups and Nanomaterials Characterization. Handbook of Materials Characterization”, *Springer International Publishing: Switzerland*. 323.
- Khatri, A., Peerzada, H.M., Mohsin, M., White, M., 2015, “A review on developments in dyeing cotton fabrics with

- reactive dyes for reducing effluent pollution”, *Journal of Cleaner Production*, **87**: 50-57.
- Kurniati, E., 2008, “Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Arang Aktif”, *Jurnal Penelitian Ilmu Teknik*, **8**(2): 96-103.
- Kvech, Steve, Erika, T., 1998, “Activated Carbon”. United States of America (US): Departement of Civil and Environmental Engineering, Virginia Tech University.
- Lanjar, Riayanti I.F., Astuti W., 2018, “Keseimbangan Adsorpsi Zat Warna Methyl Violet Oleh Karbon Aktif Berbasis Limbah Daun Nanas (*Ananas comosus*L)”, *Metana*, **14**(2): 31-36.
- Lyubchik, S., 2000, “Comparison of The Thermodynamic Parameters Estimation for The Adsorption Process of The Metals from Liquid Phase on Activated Carbon”. Portugal: Intech.
- Maji, S.K., Pal, A., Pal, T., 2008, “Arsenic removal from real-life groundwater by adsorption on laterite soil”, *Journal of Hazard Mater*, **151** :811-820.
- Mansour, B.H., Houas, I., Montassar, F., Ghedira, K., Barillier, D., Mosrati, R., Ghedira, C.L., 2012, “Alteration of in vitro and acute in vivo toxicity of textile dyeing wastewater after chemical and biological remediation”, *Environ Sci Pollut Res*, **19**: 2634–2643.
- Marsh, H., Francisco, R.R., 2006, “Activated Carbon Elsevier Science and Technology Books”, Ukraina.
- Martin, A., 2008, “Farmasi Fisika Dasar-Dasar Farmasi Fisik dalam Ilmu Farmasetik Edisi Ketiga jilid 2”, UI Press: Jakarta.
- Maryono, Sudding, Rahmawati, 2013, “Pembuatan dan Analisis Mutu Briket Arang Tempurung Kelapa Ditinjau dari Kadar Kanji”, *Jurnal Teknik Kimia*, **14**: 74-83.

- Mohammed, J., Nasri, S.N., Zaini, A.A.M., Hamza, D.U., Zain, M.H., Arif, A.F., 2016, "Optimization Of Microwave Irradiated - Coconut Shell Activated Carbon Using Response Surface Methodology For Adsorption Of Benzene And Toluene", *Journal of Desalination and Water Treatment*, **4**(2).
- Molinari, R., Pirillo, F., Falco, M., Loddo, V., Palmisano, L., 2004, "Photocatalytic degradation of dyes by using a membrane reactor", *Chemical Engineering and Processing*, **43**: 1103–1114.
- Montolalu, C.J.E.C., Langi, A.R.Y., 2018, "Pengaruh Pelatihan Dasar Komputer dan Teknologi Informasi bagi Guru-Guru dengan Uji-t Berpasangan (Paired Sample T-Test)", *Jurnal Matematika dan Aplikasi*, **7**(1).
- Moore, B.S., Ausley, W.L., 2004, "Systems thinking and green chemistry in the textile industry: concepts, technologies and benefits", *Journal of Cleaner Production*, **12**: 585-601
- Nasution, A.N., Amrina, Y., Zein, R., Azis, H., Munaf, E., 2015, "Biosorption characteristics of Cd(II) ions using herbal plant of mahkota dewa (*Phaleria macrocarpa*)", *Journal of Chem and Pharm. Res*, **7**(7): 189-196.
- Pathania, D., Shikha, S., Pardeep, S., 2013, "Removal Of Methylen Blue By Adsorption Onto Activated Carbon Developed From Ficus Carica Bast", *Arabian Journal of Chemistry*, **10**: 1445-1451.
- Phuengprasop, T., Sittiwong, J., Unob, F., 2011, "Removal of heavy metal ions by iron oxide coated sewage sludge", *J. Hazard. Mater*, **186**: 502-507.
- Pubchem, 2005, "Indigosol Pink IR", <URL:<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov> (diakses pada 12 Desember 2019)>.

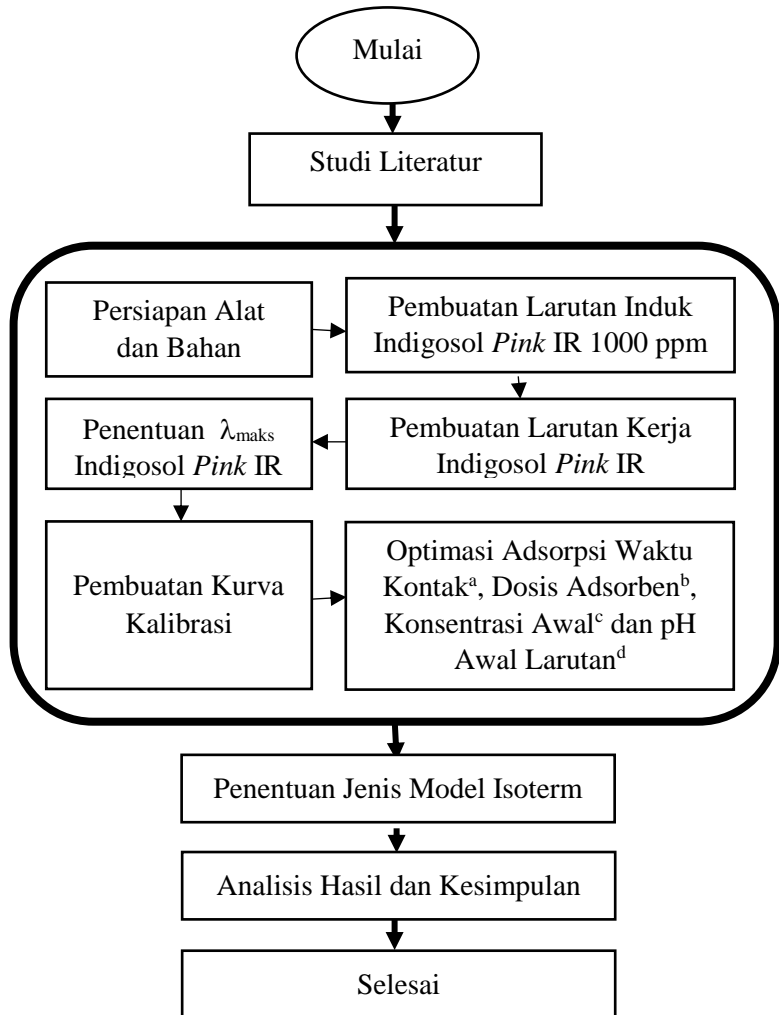
- Purbowati, R., Ersam, T, 2017, “2, 4, 6-Trihidroksi Benzofenon dari Kulit Batang *Garcinia balica* Miq”, *Jurnal Sains dan Seni ITS*, **6**(1): 2337-3520.
- Ratnawati, Hartanto, S., 2010, “Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dengan Metode Aktivasi Kimia”, *Indonesian Journal of Materials Science*, **12**(1): 12-16.
- Remini D., Molinari F., Liboni W., Balbo M., Daro, R., Viotti E., Fernandez I., 2016, “Effect of Ocular Movemnet during Eye Movement Desensitization and Reprocessing (EMDR) Therapy : A Near-Infrared Spectroscopy Study”, *PubMed*, **11**(10).
- Reynolds, 1982, “Unit Operation and Processes in Environmental Engineering”, Texas A&M University, Engineering Division, Brook/Cole Publishing Company ,California.
- Riapanitra, Anung., Setyaningsih, T. Sarih, M.N., 2006, “Penentuan Waktu Kontak dan pH Optimum Penyerapan Metilen Biru Menggunakan Abu Sekam Padi”, *Jurnal Molekul*, **1**(1) : 41-44.
- Rosenfield, R. E., Parthasarathy, R., Dunitz, J.D., “Directional preferences of nonbonded atomic contacts with divalent sulfur”, *Electrophiles and nuclephiles. J. Am. Chem. Soc*, **99**: 4860–4862.
- Sahara, E., Gayatri, S., Suarya, P., 2018, " Adsorpsi Zat Warna Rhodamin-B dalam Larutan oleh Arang Aktif Batang Tanaman Gunitir Teraktivasi Asam Fosfat”, *Indonesian E-Journal of Applied Chemistry*, **6**(1): 37-45.
- Saprykina, M.N., 2012, “A New Design of the Electrocoagulation Apparatus for Removal of Micromycetes from Water”, *Journal of Water Chemistry and Technology*, **34**(5): 240–245.
- Sari, P.F.M, Loekitowati, P., Mohadi, R., 2017, “Penggunaan Karbon Aktif dari Ampas Tebu Sebagai Adsorben Zat

- Warna Procion Merah Limbah Cair Industri Songket”, *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, **7**(1): 37-40.
- Sari, D.K., Ni'mah, Y.L., Suprpto, 2018, “Adsorpsi Zat warna Sintetis Indigosol Pink IR Menggunakan Karbon Aktif”, *Skripsi*, Departemen Kimia, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Sembodo, S.T.B., 2006, “Model Kinetika Langmuir Untuk Adsorpsi Timbal Pada Abu Sekam Padi”, *Jurnal Ekuilibrium*, **5**(1): 28-33.
- Shah, K., 2014, “Biodegradation of Azo Dye compounds”, *International Research Journal of Biochemistry and Biotechnology*, **1**(2) : 5-13.
- Shaheed, R., Azhari, C.H., Ahsan, A., Mohtar, W.H.M.W, 2015 “Production and characterisation of low-tech activated carbon from coconut shell”, *J. Hydrol. Environ. Res*, **3**(1): 6–14.
- Silverstein, R.M., Bassler, G.C. and Morrill, T.C., 1981, “Spectrometric Identification of Organic Compounds 4th Edition”, *Inc.*, New York.
- Skoog, D.A., West, M.D., Holler, F.J., Crouch, R.S., 2013, “Fundamentals of Analytical Chemistry Ninth Edition”, *Brooks/Cole 20 Davis Drive Belmont, CA 94002-3098 USA*
- Strathmann, H., Kock, K., Amar, P., Baker, R.W., 2013, “The Formation Mechanism of Asymmetric Membranes”, *Desalination*, **16**: 179–203.
- Stumm, W. and Morgan, J.J., 1996, “Aquatic Chemistry, Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters 3rd Edition”, *Inc.*, New York.

- Sudibandriyo, M., 2003, "A Generalized Ono-Kondo Lattice Model For High Pressure on Carbon Adsorben", *Ph.D Dissertation*, Oklahoma State University.
- Tan K.B., Vakili M., Horri B.A., Poh P.E., Abdullah A.Z., Salamatinia, B., 2015, "Adsorption of dyes by nanomaterials: Recent developments and adsorption mechanisms", *Separation and Purification Technology*, **150**: 229 -242.
- Torowati, Galuh, B. S., 2014, "Penentuan Nilai Limit Deteksi dan Kuantitasi Alat Titration Potensiometer Untuk Analisis Uranium", Serpong : Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, Puspitek.
- Treybal, R. E., 1980, "Mass-transfer Operations", McGraw-Hill: New York, 35.
- Triyanto, A., 2013, "Peningkatan Kualitas Minyak Goreng Bekas menggunakan Arang Ampas Tebu Teraktivasi dan Penetralkan dengan NaHSO_3 ", *Tugas Akhir II Jurusan Kimia*, Fakultas MIPA, Unnes.
- Utama, K.D.M., Wonoseputra, C., 2017, "Galeri Kerajinan Batik Putat Jaya di Surabaya", *Jurnal eDimensi Arsitektur*, **5**(1): 617-624.
- Vijayan, C., M. Pandiaraman, N., Soundararajan., 2014, "Photoluminac-ence studies on $\text{Ag}_2\text{Se}_{0.2}\text{Te}_{0.8}$ thin film", *J. ChemTech. Res.* **6**: 3343-3345.
- Viswanathan, B., Neel, I.P., Varadarajan, T.K., 2009, "Development of Carbon Materials for Energy and Environmental Applications", *Catal Surv Asia*, **13**: (164–183).
- Wahyuningsih, A.W.K., Ulfan, I., Suprpto, "Pengaruh pH dan Waktu Kontak Pada Adsorpsi Remazol Brilliant Blue R Menggunakan Adsorben Ampas Singkong", *Jurnal Sains dan Seni ITS*, **7**(2): 2337-3520

- Welgemoed, T.J., Schutte, C.F., 2005, “Capacitive Deionization Technology™: An alternative desalination solution”, *Desalination*, **183**(1–3): 327-340.
- Wiratini, N.M., Ngadiran K., 2016, “Dampak Rangkaian Sel Elektroda Al-C dalam Elektrokimia untuk Mendegradasi Limbah Tekstil”, *Jurnal Reaktor*, **16**(2): 65-71.
- Wiratini, N.M., Yuningrat, N.W., dan Gunamantha, I.M., 2012, “Degradasi pencemar organik dalam lindi dengan proses oksidasi lanjut”, *Jurnal Sains dan Teknologi*, **1**(2):73-84.
- Worch, E., 2012, “Adsorption Technology in Water Treatment”, Berlin (GM): Walter de Gruyter GmbH and Co.
- Zahra, L.N., Sugiyana, D. Notodarmojo. S., 2014, “Adsorpsi Zat Warna Tekstil Reactive Red 141 Pada Tanah Liat Lokal Alami”. *Arena Tekstil*. **29**(2) : 63-72.
- Zhu, D., Pignatello, J.J., 2005, “Characterization of aromatic compound sorptive interactions with black carbon (charcoal) assisted by graphite as a model”, *Environ. Sci. Technol*, **39** : 2033–2041.
- Zollinger, H., 1987, “Colour Chemistry-Synthesis, Properties and Applications of Organic Dyes and Pigments”, VCH Publishers: New York, 92-100.

LAMPIRAN A
SKEMA KERJA PENELITIAN



KETERANGAN :

^a 5; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55 dan 60 menit

^b 2,5; 5; 7,5; 10; 15; 17,5; 20 dan 22,5 mg

^c 20; 30; 40; 50; 60; 80, 100 ppm

^d 2; 3; 4; 6; 7; 9; 11 dan 12

LAMPIRAN B PERHITUNGAN LARUTAN

B.1 Pembuatan Larutan Induk Indigosol *Pink* IR 1000 ppm

$$\text{Konsentrasi (ppm)} = \frac{\text{Dosis Zat (mg)}}{\text{Volume Pelarut (L)}}$$

$$\text{Massa Zat (mg)} = 1 \text{ L} \times 1000 \text{ ppm}$$

$$\text{Massa Zat (mg)} = 1000 \text{ mg atau } 1 \text{ gram}$$

Sebanyak 1 gram zat warna sintesik Indigosol *Pink* IR dilarutkan sedikit demi sedikit dengan aqua DM kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 1 L, dan ditambahkan aqua DM hingga tanda batas.

B.2 Pembuatan Larutan Kerja Indigosol *Pink* IR

B.2.1 Indigosol *Pink* 100 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

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

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 100000 \text{ ppm.mL}$$

$$V_1 = 100000 \text{ ppm.mL} / 1000 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 100 \text{ mL}$$

Sebanyak 100 mL Indigosol *Pink* IR 1000 ppm dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL dan ditambahkan aqua DM hingga tanda batas.

B.2.2 Indigosol *Pink* 90 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 90 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 9000 \text{ ppm.mL}$$

$$V_1 = 9000 \text{ ppm.mL} / 1000 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 9 \text{ mL}$$

Sebanyak 9 mL Indigosol *Pink* IR 1000 ppm dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan aqua DM hingga tanda batas.

B.2.3 Indigosol *Pink* 80 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 80 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 8000 \text{ ppm.mL}$$

$$V_1 = 8000 \text{ ppm.mL} / 1000 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 8 \text{ mL}$$

Sebanyak 8 mL Indigosol *Pink* IR 1000 ppm dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan aqua DM hingga tanda batas.

B.2.4 Indigosol *Pink* 70 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 70 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 7000 \text{ ppm.mL}$$

$$V_1 = 7000 \text{ ppm.mL} / 1000 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 7 \text{ mL}$$

Sebanyak 7 mL Indigosol *Pink* IR 1000 ppm dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan aqua DM hingga tanda batas.

B.2.5 Indigosol *Pink* 60 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 60 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 6000 \text{ ppm.mL}$$

$$V_1 = 6000 \text{ ppm.mL} / 1000 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 6 \text{ mL}$$

Sebanyak 6 mL Indigosol *Pink* IR 1000 ppm dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan aqua DM hingga tanda batas.

B.2.6 Indigosol *Pink* 50 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 50 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 5000 \text{ ppm.mL}$$

$$V_1 = 5000 \text{ ppm.mL} / 1000 \text{ ppm}$$

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

Sebanyak 5 mL Indigosol *Pink* IR 1000 ppm dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan aqua DM hingga tanda batas.

B.2.7 Indigosol *Pink* 40 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 40 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 4000 \text{ ppm.mL}$$

$$V_1 = 4000 \text{ ppm.mL} / 1000 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 4 \text{ mL}$$

Sebanyak 4 mL Indigosol *Pink* IR 1000 ppm dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan aqua DM hingga tanda batas.

B.2.8 Indigosol *Pink* 30 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 30 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 3000 \text{ ppm.mL}$$

$$V_1 = 3000 \text{ ppm.mL} / 1000 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 3 \text{ mL}$$

Sebanyak 3 mL Indigosol *Pink* IR 1000 ppm dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan aqua DM hingga tanda batas.

B.2.9 Indigosol *Pink* 20 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 20 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 2000 \text{ ppm.mL}$$

$$V_1 = 2000 \text{ ppm.mL} / 1000 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 2 \text{ mL}$$

Sebanyak 2 mL Indigosol *Pink* IR 1000 ppm dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan aqua DM hingga tanda batas.

B.2.10 Indigosol *Pink* 10 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 10 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$$

$$1000 \text{ ppm} \times V_1 = 1000 \text{ ppm.mL}$$

$$V_1 = 1000 \text{ ppm.mL} / 1000 \text{ ppm}$$

$$V_1 = 1 \text{ mL}$$

Sebanyak 1 mL Indigosol *Pink* IR 1000 ppm dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan aqua DM hingga tanda batas.

Keterangan :

V_1 = Volume larutan induk Indigosol *Pink* 1000 ppm

V_2 = Volume labu ukur yang digunakan

M_1 = Konsentrasi larutan induk Indigosol *Pink* 1000 ppm

M_2 = Konsentrasi larutan kerja Indigosol *Pink*

B.3 Konsentrasi Larutan Indigosol *Pink* IR Sebelum dan Sesudah

Persamaan garis lurus yang didapatkan dari persamaan kurva kalibrasi dimana absorbansi terhadap konsentrasi yaitu $y = ax + b$ yang ekuivalen dengan persamaan Lambert-Beer yaitu $A = \epsilon \cdot b \cdot c$ maka dapat diterapkan bahwa A (Absorbansi hasil pengukuran spektrofotometer UV-Vis) adalah y , dan x adalah c (konsentrasi) sehingga dapat dihitung nilai konsentrasi larutan. Persamaan garis lurus yang diperoleh dari

kurva penggambaran kurva kalibrasi yaitu $y = 0,016x - 0,0245$. Oleh karena itu, untuk mencari konsentrasi (x) dengan substitusi nilai absorbansi yang diperoleh dari hasil pengukuran ke dalam y.

$$x \text{ (ppm)} = \frac{y + 0,016}{0,0245}$$

B.4 %Removal Adsorpsi Indigosol Pink IR

%Removal adalah penurunan konsentrasi zat warna per konsentrasi awal dalam persen. Perhitungan *%Removal* dapat diperoleh dengan menggunakan rumus :

$$\%Removal = \frac{\text{Konsentrasi Awal} - \text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100\%$$

Konsentrasi akhir diperoleh dengan mengukur larutan Indigosol *Pink IR* yang telah mengalami proses adsorpsi dengan spektrofotometer UV-Vis. Absorbansi yang diperoleh pada panjang gelombang 325 nm dicatat dan disubstitusi ke dalam persamaan kurva kalibrasi untuk mendapatkan nilai konsentrasi.

B.5 Kapasitas Adsorpsi Indigosol Pink IR

Kapasitas adsorpsi (q_e) adalah Jumlah zat warna yang teradsorpsi tiap unit dosis adsorben (mg/g). Perhitungan kapasitas adsorpsi dapat diperoleh dengan menggunakan rumus :

$$q_e \text{ (mg/g)} = \frac{\text{Konsentrasi Awal} - \text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Dosis Adsorben (g)}} \times \text{Vol Larutan (L)}$$

LAMPIRAN C
DATA HASIL ADSORPSI

C.1 Data Hasil Adsorpsi Indigosol *Pink* IR Variasi Waktu Kontak (konsentrasi awal 100ppm, dosis adsorben 10mg, dan kecepatan pengadukan 450rpm).

Waktu (min)	A_t	C_t (ppm)	<i>Removal</i>	Rata-rata <i>Removal</i>	STDEV
5	0,70	45,41	54,97%	55,38%	0,82%
	0,70	45,53	54,85%		
	0,68	44,05	56,32%		
10	0,57	37,47	62,90%	63,30%	0,43%
	0,56	36,60	63,75%		
	0,57	37,10	63,26%		
15	0,46	30,47	69,78%	69,54%	1,18%
	0,45	29,67	70,58%		
	0,48	32,01	68,25%		
20	0,36	24,27	75,90%	75,71%	0,27%
	0,36	24,33	75,83%		
	0,37	24,77	75,40%		
25	0,30	20,84	79,33%	77,95%	1,30%
	0,34	23,45	76,74%		
	0,33	22,40	77,79%		
30	0,19	13,74	86,37%	86,68%	1,52%
	0,20	14,79	85,33%		
	0,16	11,77	88,33%		
35	0,14	10,84	89,25%	88,82%	1,49%
	0,17	12,94	87,17%		
	0,13	10,04	90,05%		

Waktu (min)	A_t	C_t (ppm)	<i>Removal</i>	Rata-rata <i>Removal</i>	STDEV
40	0,12	9,42	90,66%	90,72%	0,34%
	0,12	9,67	90,41%		
	0,11	8,99	91,09%		
45	0,18	13,25	86,86%	87,66%	0,94%
	0,17	12,69	87,41%		
	0,15	11,40	88,70%		
50	0,15	11,40	88,70%	87,64%	1,04%
	0,17	12,51	87,60%		
	0,18	13,49	86,62%		
55	0,18	13,43	86,68%	87,05%	0,49%
	0,18	13,25	86,86%		
	0,17	12,51	87,60%		
60	0,17	12,69	87,41%	86,82%	0,69%
	0,18	13,12	86,99%		
	0,19	14,05	86,07%		

C.2 Data Hasil Adsorpsi Indigosol *Pink* IR Variasi Dosis Adsorben (konsentrasi awal 100ppm, waktu kontak 35 menit, dan kecepatan pengadukan 450rpm).

Karbon (mg)	A _t	C _t (ppm)	Removal	Rata-rata Removal	STDEV
2,50	1,23	78,06	22,59%	22,02%	0,99%
	1,26	79,79	20,87%		
	1,23	78,06	22,59%		
5,00	0,79	50,65	49,77%	48,71%	0,93%
	0,81	52,38	48,05%		
	0,81	52,14	48,30%		
7,50	0,52	34,48	65,81%	66,05%	1,12%
	0,54	35,22	65,07%		
	0,50	33,00	67,27%		
10,00	0,14	10,84	89,25%	88,82%	1,49%
	0,17	12,94	87,17%		
	0,13	10,04	90,05%		
15,00	0,15	11,15	88,94%	89,64%	0,67%
	0,13	10,41	89,68%		
	0,12	9,79	90,29%		
17,50	0,19	13,93	86,19%	87,41%	1,10%
	0,17	12,38	87,72%		
	0,16	11,77	88,33%		
20,00	0,23	16,46	83,68%	85,15%	1,44%
	0,21	14,91	85,21%		
	0,18	13,56	86,56%		
22,50	0,23	16,27	83,86%	84,39%	0,77%
	0,23	16,09	84,05%		
	0,21	14,85	85,27%		

C.3 Data Hasil Adsorpsi Indigosol *Pink* IR Variasi Konsentrasi Awal Indigosol *Pink* IR (waktu kontak 35 menit, dosis adsorben 10mg, dan kecepatan pengadukan 450rpm)

C_0 (ppm)	A_t	C_t (ppm)	<i>Removal</i>	Rata-rata <i>Removal</i>	STDEV
20	0,04	4,48	77,70%	79,14%	1,28%
	0,03	3,99	80,16%		
	0,03	4,11	79,55%		
30	0,05	5,41	82,27%	80,99%	1,11%
	0,06	6,02	80,24%		
	0,06	5,96	80,45%		
40	0,07	6,52	83,77%	83,87%	0,62%
	0,07	6,21	84,54%		
	0,07	6,70	83,31%		
50	0,08	6,95	85,75%	85,28%	0,51%
	0,09	7,44	84,73%		
	0,08	7,14	85,37%		
60	0,09	7,51	87,43%	87,71%	0,76%
	0,09	7,69	87,12%		
	0,08	6,83	88,57%		
80	0,10	8,31	89,60%	89,47%	0,22%
	0,10	8,62	89,21%		
	0,10	8,31	89,60%		
100	0,14	10,84	89,25%	88,82%	1,49%
	0,17	12,94	87,17%		
	0,13	10,04	90,05%		

C.4 Data Hasil Adsorpsi Indigosol *Pink* IR Variasi pH Awal (konsentrasi awal 80ppm, waktu kontak 35 menit, dosis adsorben 10mg, kecepatan pengadukan 450rpm)

pH Awal	A _t	C ₀ (ppm)	Removal	Rata-rata Removal	STDEV
1,99	0,05	5,16	93,52%	93,13%	0,36%
	0,06	5,72	93,82%		
	0,05	5,53	93,05%		
3,00	0,02	3,37	95,78%	95,87%	0,25%
	0,01	3,06	96,17%		
	0,02	3,43	95,70%		
4,01	0,06	5,84	92,69%	93,38%	0,63%
	0,04	4,85	93,93%		
	0,05	5,16	93,54%		
5,02	0,11	8,99	88,75%	87,98%	0,43%
	0,12	9,42	88,21%		
	0,12	9,67	87,90%		
6,00	0,17	12,51	84,34%	84,06%	0,23%
	0,17	12,69	84,11%		
	0,17	12,88	83,88%		
7,01	0,14	11,09	86,12%	86,52%	0,57%
	0,14	10,90	86,35%		
	0,13	10,22	87,20%		
9,01	0,12	9,54	88,05%	87,27%	0,98%
	0,12	9,85	87,67%		
	0,14	11,02	86,20%		
11,00	0,11	8,93	88,83%	88,82%	0,35%
	0,11	9,17	88,52%		
	0,10	8,62	89,21%		

pH Awal	A_t	C_0 (ppm)	Removal	Rata-rata Removal	STDEV
12,00	0,06	5,65	92,90%	92,90%	0,16%
	0,06	5,78	92,74%		
	0,05	5,53	93,05%		

C.5 Data Hasil Hubungan Model Isoterm Adsorpsi dari Adsorpsi Variasi Konsentrasi Awal Indigosol *Pink* IR

C_0 (ppm)	Rata-rata q_e (mg/g)	Rata-rata C_e (ppm)	C_e/q_e	$\text{Log}C_e$	$\text{Log} q_e$
20	39,76	4,19	0,11	0,62	1,60
30	61,74	5,80	0,09	0,76	1,79
40	84,21	6,48	0,08	0,81	1,93
50	103,97	7,18	0,07	0,86	2,02
60	130,97	7,34	0,06	0,87	2,12
80	178,66	8,41	0,05	0,93	2,25
100	223,92	11,27	0,05	1,05	2,35

LAMPIRAN D
DATA HASIL UJI-t

D.1 Data Hasil Uji-t “Paired Two Sample for Means” Pada Variasi Waktu Kontak

Uji-t antara waktu kontak 40 menit dan 45 menit

	t=40	t=45
<i>Mean</i>	90,72	87,66
<i>Variance</i>	0,12	0,89
<i>Observations</i>	3,00	3,00
<i>Pearson Correlation</i>	0,79	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0,00	
<i>df</i>	2,00	
<i>t Stat</i>	7,51	
<i>P(T<=t) one-tail</i>	0,01	
<i>t Critical one-tail</i>	2,92	
<i>P(T<=t) two-tail</i>	0,02	
<i>t Critical two-tail</i>	4,30	

Keterangan:

$$|t_{hitung}| > |t_{tabel}| = 7,51 > 4,30$$

Sehingga, H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti terdapat perbedaan signifikan.

Uji-t antara waktu kontak 40 menit dan 35 menit

	t=40	t=35
<i>Mean</i>	90,72	88,82
<i>Variance</i>	0,12	2,21
<i>Observations</i>	3,00	3,00
<i>Pearson Correlation</i>	0,92	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0,00	
<i>df</i>	2,00	
<i>t Stat</i>	2,78	
<i>P(T<=t) one-tail</i>	0,05	
<i>t Critical one-tail</i>	2,92	
<i>P(T<=t) two-tail</i>	0,11	
<i>t Critical two-tail</i>	4,30	

Keterangan:

$$|t_{hitung}| < |t_{kritis}| = 2,78 < 4,30$$

Sehingga, H_0 diterima dan H_1 ditolak yang berarti tidak ada perbedaan signifikan.

Uji-t antara waktu kontak 35 menit dan 30 menit

	t=35	t=30
<i>Mean</i>	88,82	86,68
<i>Variance</i>	2,21	2,32
<i>Observations</i>	3,00	3,00
<i>Pearson Correlation</i>	0,91	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0,00	
<i>df</i>	2,00	
<i>t Stat</i>	5,81	
<i>P(T<=t) one-tail</i>	0,01	
<i>t Critical one-tail</i>	2,92	
<i>P(T<=t) two-tail</i>	0,03	
<i>t Critical two-tail</i>	4,30	

Keterangan:

$$|t_{hitung}| > |t_{tabel}| = 5,81 > 4,30$$

Sehingga, H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti terdapat perbedaan signifikan.

D.2 Data Hasil Uji-t “Paired Two Sample for Means” Pada Variasi Dosis Adsorben

Uji-t antara dosis adsorben 15mg dan 17,50mg

	m=15	m=17,50
<i>Mean</i>	89,64	87,41
<i>Variance</i>	0,45	1,22
<i>Observations</i>	3,00	3,00
<i>Pearson Correlation</i>	0,98	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0,00	
<i>df</i>	2,00	
<i>t Stat</i>	8,38	
<i>P(T<=t) one-tail</i>	0,01	
<i>t Critical one-tail</i>	2,92	
<i>P(T<=t) two-tail</i>	0,01	
<i>t Critical two-tail</i>	4,30	

Keterangan:

$$|t_{hitung}| > |t_{kritis}| = 8,38 > 4,30$$

Sehingga, H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti terdapat perbedaan signifikan.

Uji-t antara dosis adsorben 15mg dan 10mg

	m=15	m=10
<i>Mean</i>	89,64	88,82
<i>Variance</i>	0,45	2,21
<i>Observations</i>	3,00	3,00
<i>Pearson Correlation</i>	0,22	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0,00	
<i>df</i>	2,00	
<i>t Stat</i>	0,95	
<i>P(T<=t) one-tail</i>	0,22	
<i>t Critical one-tail</i>	2,92	
<i>P(T<=t) two-tail</i>	0,44	
<i>t Critical two-tail</i>	4,30	

Keterangan:

$$|t_{hitung}| < |t_{kritis}| = 0,95 < 4,30$$

Sehingga, H_0 diterima dan H_1 ditolak yang berarti tidak ada perbedaan signifikan.

Uji-t antara dosis adsorben 10mg dan 7,50mg

	m=10	m=7,50
<i>Mean</i>	88,82	66,05
<i>Variance</i>	2,21	1,26
<i>Observations</i>	3,00	3,00
<i>Pearson Correlation</i>	0,90	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0,00	
<i>Df</i>	2,00	
<i>t Stat</i>	58,56	
<i>P(T<=t) one-tail</i>	0,00	
<i>t Critical one-tail</i>	2,92	
<i>P(T<=t) two-tail</i>	0,00	
<i>t Critical two-tail</i>	4,30	

Keterangan:

$$|t_{hitung}| > |t_{tabel}| = 58,56 > 4,30$$

Sehingga, H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti terdapat perbedaan signifikan.

D.3 Data Hasil Uji-t “Paired Two Sample for Means” Pada Variasi Konsentrasi Awal Indigosol Pink IR

Uji-t antara konsentrasi awal 80ppm dan 100ppm

	C₀=80	C₀=100
<i>Mean</i>	89,47	88,82
<i>Variance</i>	0,05	2,21
<i>Observations</i>	3,00	3,00
<i>Pearson Correlation</i>	0,96	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0,00	
<i>df</i>	2,00	
<i>t Stat</i>	0,88	
<i>P(T<=t) one-tail</i>	0,24	
<i>t Critical one-tail</i>	2,92	
<i>P(T<=t) two-tail</i>	0,47	
<i>t Critical two-tail</i>	4,30	

Keterangan:

$$|t_{hitung}| < |t_{kritis}| = 0,88 < 4,30$$

Sehingga, H₀ diterima dan H₁ ditolak yang berarti tidak ada perbedaan signifikan.

Uji-t antara konsentrasi awal 80ppm dan 60ppm

	C₀=80	C₀=60
<i>Mean</i>	89,47	87,71
<i>Variance</i>	0,05	0,58
<i>Observations</i>	3,00	3,00
<i>Pearson Correlation</i>	0,67	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0,00	
<i>df</i>	2,00	
<i>t Stat</i>	4,80	
<i>P(T<=t) one-tail</i>	0,02	
<i>t Critical one-tail</i>	2,92	
<i>P(T<=t) two-tail</i>	0,04	
<i>t Critical two-tail</i>	4,30	

Keterangan:

$$|t_{hitung}| > |t_{tabel}| = 4,80 > 4,30$$

Sehingga, H₀ ditolak dan H₁ diterima yang berarti terdapat perbedaan signifikan.

D.4 Data Hasil Uji-t “Paired Two Sample for Means” Pada Variasi pH Awal Indigosol Pink IR

Uji-t antara pH awal larutan 3 dan 2

	pH=3	pH=2
<i>Mean</i>	95,87	93,13
<i>Variance</i>	0,06	0,13
<i>Observations</i>	3,00	3,00
<i>Pearson Correlation</i>	-0,64	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0,00	
<i>df</i>	2,00	
<i>t Stat</i>	8,63	
<i>P(T<=t) one-tail</i>	0,01	
<i>t Critical one-tail</i>	2,92	
<i>P(T<=t) two-tail</i>	0,01	
<i>t Critical two-tail</i>	4,30	

Keterangan:

$$|t_{hitung}| > |t_{tabel}| = 8,63 > 4,30$$

Sehingga, H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti terdapat perbedaan signifikan.

Uji-t antara pH awal larutan 3 dan 12

	pH=3	pH=12
<i>Mean</i>	95,87	92,90
<i>Variance</i>	0,06	0,02
<i>Observations</i>	3,00	3,00
<i>Pearson Correlation</i>	-0,93	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0,00	
<i>df</i>	2,00	
<i>t Stat</i>	12,94	
<i>P(T<=t) one-tail</i>	0,00	
<i>t Critical one-tail</i>	2,92	
<i>P(T<=t) two-tail</i>	0,01	
<i>t Critical two-tail</i>	4,30	

Keterangan:

$$|t_{hitung}| > |t_{tabel}| = 12,94 > 4,30$$

Sehingga, H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti terdapat perbedaan signifikan.

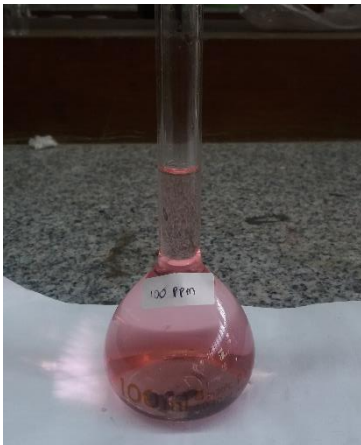
LAMPIRAN E DOKUMENTASI PENELITIAN



Serbuk Indigosol *Pink* IR



Penimbangan Serbuk
Indigosol *Pink* IR



Pembuatan Larutan
Indigosol *Pink* 100 ppm



Pengambilan Volume
Indigosol *Pink* IR 100ppm
untuk Proses Adsorpsi



Karbon Aktif Teknis
(Merck KGaA)



Proses Adsorpsi



Penyaringan Untuk
Memisahkan Adsorben dan
Filtrat Hasil Adsorpsi



Preparasi Filtrat Hasil
Adsorpsi dalam Kuvet

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Rio Pridatama yang dilahirkan di Mojokerto, 22 Mei 1998 dan merupakan anak bungsu dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Dharmawanita Lebaksono, SDN Lebaksono, SMPN 1 Pungging, dan SMAN 1 Mojosari. Penulis diterima di Departemen Kimia FSains Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun 2016 yang terdaftar dengan NRP 0121164000013. Selama menempuh pendidikan sebagai mahasiswa, penulis aktif mengikuti pelatihan, organisasi, dan kepanitiaan. Pelatihan pengembangan diri dan keprofesional yang pernah diikuti oleh penulis di antaranya ialah LKMM PRA TD FMIPA ITS 2016, LKMM TD HIMKA ITS 2017, PP LKMM FIA-FMKSD 2017. Selain pelatihan, penulis juga aktif diberbagai organisasi dan kepanitiaan di antaranya sebagai Koordinator Fundraising PSI I 2018, Koordinator Fundraising Chemistry Week 10, Kepala Biro Akademik Prestasi JMMI 2018 dan Kepala Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HIMKA ITS 2019. Selain itu, penulis pernah menjadi reporter kampus yang tergabung di ITS Online tahun 2017-2019 dan juga reporter harian surya selama sebulan di bulan Januari 2018. Di Departemen Kimia ITS, penulis mengambil bidang Instrumentasi dan Sains Analitik dalam menyelesaikan skripsi jenjang S1 di bawah bimbingan Ibu Yatim Lailun Ni'mah, Ph.D. dan Bapak Suprpto, Ph.D. Segala kritik dan saran bagi penulis atas naskah skripsi ini dapat disampaikan melalui pridatamar@gmail.com.