

TA/TL/2025/1995



JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

**Uji Toksisitas dengan Metode *Whole Effluent Toxicity* (WET)
menggunakan *Daphnia* sp. terhadap Limbah Industri Batik
yang menggunakan Zat Warna Alami dan Sintetis**

**Annisa Nurrahma
21513021**

Dosen Pembimbing:

Any Juliani, S. T., M. Sc.(Res.Eng), Ph.D.

Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D.

**Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
2025**



DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BACHELOR THESIS

**Toxicity Test Using the *Whole Effluent Toxicity* (WET)
Method with *Daphnia sp.* on Batik Industry Waste Using
Natural and Synthetic Dyes**

Annisa Nurrahma

21513021

Supervisor:

Any Juliani, S. T., M. Sc.(Res.Eng), Ph.D.

Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D

Environmental Engineering Bachelor Program

Faculty of Civil Engineering and Planning

Universitas Islam Indonesia

2025

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

Uji Toksisitas dengan Metode *Whole Effluent Toxicity* (WET) menggunakan *Daphnia* sp. terhadap Limbah Industri Batik yang menggunakan Zat Warna Alami dan Sintetis

Tugas akhir ini disusun dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Annisa Nurrahma

21513021

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 7 Juli 2025 dan disetujui oleh:


Any Juliani, S. T., M. Sc.(Res.Eng), Ph.D.

(Pembimbing 1)


Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D.

(Pembimbing 2)


Dr. Suphia Rasmawati, S.T., M.T.

(Penguji)

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana


Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D.



PERNYATAAN

Saya, penyusun tugas akhir ini, menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia, maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan, dan studi saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Perangkat lunak atau program komputer yang digunakan dalam tugas akhir ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya. Bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Tidak ada penggunaan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*, AI) dalam penyusunan karya tugas akhir ini kecuali:
 - a. untuk membantu dalam kadar yang wajar (seperti membantu mengoreksi, mencari ide, dan mencari referensi), dan
 - b. tercantum dan dijelaskan perihal penggunaannya secara eksplisit di dalam karya tugas akhir ini.

Implikasi dari penggunaan AI tersebut menjadi tanggung jawab saya sepenuhnya.

6. Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 7 Juli 2025

Yang membuat pernyataan,



Annisa Nurrahma

21513021

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Uji Toksisitas Dengan Metode Whole Effluent Toxicity (WET) Menggunakan Daphnia Sp Terhadap Limbah Industri Batik Yang Menggunakan Zat Warna Alami dan Sintetis”. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada junjungan Nabi Muhammad Shalallahu ‘Alaihi Wassalam.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi sarjana Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Selama proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa Tugas Akhir yang disusun tidak akan berjalan lancar tanpa adanya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, baik secara moril maupun materil. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada:

1. Orang tua saya tercinta, Ibu Eliyanti Safitri dan Bapak Tabi'i yang telah memberikan dukungan tanpa henti baik secara finansial, emosional maupun spritual. Terima kasih atas doa, kasih sayang, kesabaran, serta pengorbanan yang tiada henti dalam mendampingi setiap langkah penulis. Semangat dan cinta yang diberikan menjadi kekuatan terbesar bagi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Abang tersayang, Muhammad Hisyam Isfahan yang selalu memberikan doa, semangat serta dukungan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih atas ketersediaannya membimbing, memberikan masukan serta menjadi sumber motivasi untuk mengerjakan Tugas Akhir.
3. Any Juliani, S.T., M. Sc.(Res.Eng), Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan serta Dosen Pembimbing Utama atas bimbingan, motivasi, serta arahan penuh dan nasehat dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Annisa Nur Lathifah, S.Si., M.Biotech., M.Agr., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang telah memberikan banyak masukan dan dukungan selama proses penyelesaian Tugas Akhir.

5. Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran, koreksi dan masukan kepada penulis untuk menyempurnakan Tugas Akhir.
6. Seluruh Dosen dan Staff Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia atas ilmu serta pengalaman yang diberikan selama penulis menempuh pendidikan di Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.
7. Sahabat terbaik yaitu Annisa, Asa, Awa, Dila, Iwit, Kharisma, Memei, Mimin, Puput, dan Sita yang telah memberikan dukungan, doa serta motivasi kepada penulis.
8. Sahabat penulis semasa perkuliahan, Hana yang telah menjadi teman dari mahasiswa baru hingga sekarang. Menjadi tempat keluh kesah dan membantu penulis dalam banyak hal baik memberikan masukan dan motivasi selama masa perkuliahan.
9. Rekan Penelitian, Hana, Intan, Tika, dan Pebi yang telah membantu dan memberikan masukan penulis selama penyusunan Tugas Akhir.
10. Teman semasa perkuliahan penulis yaitu Isti, Dyah, Rizal, Sahrul dan Aden yang telah banyak memberikan dukungan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih atas semangat, motivasi dan informasi yang senantiasa diberikan. Kehadiran mereka sangat membantu penulis dalam menjaga semangat dan suasana hati selama masa perkuliahan dan penyusunan Tugas Akhir.
11. Semua pihak yang berkontribusi, termasuk pihak industri batik yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Sleman, 7 Juli 2025

Annisa Nurrahma



Uji Toksisitas dengan Metode *Whole Effluent Toxicity* (WET) menggunakan *Daphnia* sp. terhadap Limbah Industri Batik yang Menggunakan Zat Warna Alami dan Sintetis

Mahasiswa : Annisa Nurrahma
NIM : 21513021
Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Pembimbing : Any Juliani, S.T., M. Sc.(Res.Eng), Ph.D.

Abstrak

Jenis pewarnaan yang digunakan pada industri batik diantaranya pewarna sintetis dan alami. Pewarna alami menggunakan bahan yang berasal dari daun indigo, biji jolawe dll. Sedangkan pewarna alami menggunakan bahan tertentu seperti logam. Penggunaan zat pewarna dalam industri batik dapat mempengaruhi tingkat toksisitas pada limbah yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk menguji tingkat toksisitas limbah pewarna alami dan sintetis pada limbah industri batik menggunakan metode *Whole Effluent Toxicity* (WET) dengan hewan uji yang digunakan yaitu *Daphnia* Sp. Serta mengidentifikasi terkait parameter kimia yang terkandung pada limbah pewarna. Berdasarkan Peraturan Daerah DIY No. 7 Tahun 2016, pada hasil penelitian ini terdapat beberapa parameter yang tidak memenuhi baku mutu diantaranya pada pewarna sintetis yaitu BOD₅, COD, TSS, Fenol, Sulfida (Sebagai S) dan Minyak dan Lemak Total. Sedangkan pada pewarna alami meliputi BOD₅, COD, TDS, TSS, Sulfida (Sebagai S) dan Minyak dan Lemak Total. Hasil uji toksisitas dilakukan perhitungan LC₅₀ menggunakan metode Probit. Dihasilkan nilai LC₅₀ pewarna sintetis dengan waktu paparan 48 jam sebesar 4,45 dengan nilai TUa sebesar 22,5. Pewarna alami tidak terdapat nilai LC₅₀, disebabkan pada uji pendahuluan konsentrasi terendah 0,01% mengalami kematian total dalam waktu 24 jam.

Kata kunci: *Daphnia* sp., Industri Batik, LC₅₀, Parameter Kimia, Pewarna Alami, Pewarna Sintetis, *Whole Effluent Toxicity* (WET)

Toxicity Test Using the Whole Effluent Toxicity (WET) Method with *Daphnia* sp. on Batik Industry Waste Using Natural and Synthetic Dyes

Student : Annisa Nurrahma
Student Number : 21513021
Study Program : Environmental Engineering – Bachelor Program
Supervisor : Any Juliani, S.T., M. Sc.(Res.Eng), Ph.D.

Abstract

*The types of dyes used in the batik industry include synthetic and natural dyes. Natural dyes use materials derived from indigo leaves, jolawe seeds, etc. Whereas natural dyes use certain materials like metals. The use of dye substances in the batik industry can affect the toxicity levels of the waste produced. This study aims to test the toxicity levels of natural and synthetic dye waste in batik industry effluents using the Whole Effluent Toxicity (WET) method with the test organism being *Daphnia* Sp. And identifying the chemical parameters contained in the dye waste. Based on Regional Regulation DIY No. 7 of 2016, this research found several parameters that do not meet the quality standards, including synthetic dyes such as BOD5, COD, TSS, Phenol, Sulfide (as S), and Total Oil and Grease. Meanwhile, for natural dyes, it includes BOD5, COD, TDS, TSS, Sulfide (as S), and Total Oil and Grease. The results of the toxicity test were calculated using the Probit method for LC50. The LC50 value of the synthetic dye with a 48-hour exposure time was 4.45, with a TUa value of 22.5. Natural dyes do not have an LC50 value because in the preliminary test, the lowest concentration of 0.01% resulted in total mortality within 24 hours.*

*Key words: Batik Industry, Chemical Parameters, *Daphnia* sp., LC₅₀, Natural Dyes, Synthetic Dyes, Whole Effluent Toxicity (WET)*

DAFTAR ISI

PRAKATA	i
Abstrak.....	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Industri Batik	4
2.2 Proses Produksi Batik	4
2.3 Limbah Industri dan Dampaknya	8
2.4 Uji Toksisitas	13
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1 Prosedur Alur Penelitian.....	19
3.3 Alat dan Bahan	20
3.4 Desain Reaktor Aklimatisasi	21
3.5 Sampling Air Limbah	21
3.6 Uji Parameter	23
3.7 Aklimatisasi Hewan Uji.....	24
3.8 Uji Pendahuluan.....	26
3.9 Uji Toksisitas	27
4.0 Analisis Data.....	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Identitas Sumber Limbah.....	29

4.2	Karakteristik Air Limbah Industri Batik.....	30
4.3	Pengujian Toksisitas	33
4.4	Pengaruh Kualitas Air Limbah Industri Batik Terhadap Tingkat Toksisitas Uji	48
BAB V PENUTUP		52
5.1	Kesimpulan	52
5.2	Saran	52
DAFTAR PUSTAKA		53
LAMPIRAN		62
RIWAYAT HIDUP		1

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku Mutu Limbah Cair Untuk Kegiatan Industri Batik di DIY	11
Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu	16
Tabel 3. 1 Pengawetan Parameter Air Limbah Industri Batik	22
Tabel 3. 2 Parameter Uji Air Limbah Batik.....	23
Tabel 3. 3 Klasifikasi Tingkat Toksisitas Berdasarkan Nilai Toxicity Unit Acute	28
Tabel 4. 1 Hasil Uji Parameter Sampel Limbah Pewarna Sintetis	31
Tabel 4. 2 Pengukuran Parameter Kualitas Air	34
Tabel 4. 3 Jumlah Kematian Uji Pendahuluan Pewarna Sintetis	35
Tabel 4. 4 Data Parameter Uji Pendahuluan Pewarna Sintetis	37
Tabel 4. 5 Jumlah Kematian Uji Pendahuluan Pewarna Alami	38
Tabel 4. 6 Data Parameter Uji Pendahuluan Pewarna Alami	40
Tabel 4. 7 Jumlah Kematian Uji Toksisitas Pada Sampel Limbah Pewarna Sintetis	41
Tabel 4. 8 Rata Rata Mortalitas Uji Toksisitas Pada Sampel Limbah Pewarna Sintetis	45
Tabel 4. 9 Nilai Perhitungan LC50	46
Tabel 4. 10 Nilai Tua Sampel Limbah Pewarna Sintetis	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tahapan Proses Produksi Batik.....	5
Gambar 2. 2 Proses Membuat Pola.....	6
Gambar 2. 3 Proses Pengecapan	6
Gambar 2. 4 Proses Pewarnaan.....	7
Gambar 2. 5 Proses Nembok	7
Gambar 2. 6 Proses Nglorod.....	8
Gambar 3. 1 Bagan Alir Prosedur Analisis Data	19
Gambar 3. 2 Reaktor Aklimatisasi.....	21
Gambar 3. 3 Proses Aklimatisasi Hewan Uji.....	25
Gambar 3. 4 Tahapan Uji Pendahuluan	26

DAFTAR LAMPIRAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor batik memiliki peran penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan kualitas hidup masyarakat. Pusat produksi batik terkenal di Indonesia salah satunya yaitu di Daerah Istimewa Yogyakarta (Shaharuddin *et al.*, 2021). Sebagai salah satu pusat kerajinan batik terbesar di Indonesia, Yogyakarta memiliki peran penting dalam memenuhi permintaan batik yang terus meningkat. Pewarnaan dalam industri batik umumnya menggunakan dua tipe zat warna yakni alami dan sintetis. Pewarna alami yang digunakan biasanya yaitu berbahan dasar dari daun indigo, biji jolawe, dll (Ma'tia *et al.*, 2024). Sedangkan zat pewarna sintetis merupakan pewarna buatan dari proses kimia atau fisika yang menggunakan bahan bahan tertentu, seperti logam untuk menghasilkan warna yang diinginkan. Pewarna ini dibuat oleh manusia, berbeda dengan zat warna alami yang terbentuk secara alami (Pratistita *et al.*, 2024).

Penggunaan zat pewarna dalam industri batik baik alami maupun sintetis, memiliki pengaruh terhadap tingkat toksisitas limbah yang dihasilkan. Zat pewarna sintetis diduga memiliki tingkat toksisitas cenderung lebih tinggi daripada alami, mengingat keberadaan bahan kimia yang terkandung dalam zat pewarna sintetis berupa logam berat yang dimana dapat bersifat toksik, *carcinogenic* dan *mutagenic* (Ardila-Leal *et al.*, 2021). Akibatnya, dapat menyebabkan peningkatan nilai toksisitas yang lebih tinggi, menurunkan kadar oksigen dalam air sehingga mempengaruhi kehidupan biota air seperti ikan (Khasanah *et al.*, 2023). Dampak lainnya yaitu meningkatnya COD, BOD, dan TSS, terjadi perubahan pH, serta menimbulkan bau yang tidak sedap. Sebaliknya, zat pewarna alami yang berasal dari alam seperti tumbuhan diduga memiliki tingkat toksisitas yang lebih rendah karena umumnya terdiri dari senyawa organik yang lebih mudah untuk terdegradasi atau terurai di lingkungan. Oleh karena itu penggunaan zat pewarna alami dapat mengurangi pencemaran lingkungan (Purwaningrum, 2024). Namun demikian, dalam konsentrasi tinggi, pewarna alami tetap dapat memberikan dampak negatif seperti menurunkan kualitas air dan meningkatkan kekeruhan (Daud *et al.*, 2022).

Meskipun suatu industri batik sudah memiliki pengolahan limbah, pemantauan kualitas air limbah tetap perlu dilakukannya pengujian toksisitas. Hal ini penting karena uji ini dapat mengetahui dampak langsung limbah terhadap organisme hidup. Sedangkan baku mutu terbatas pada pengukuran konsentrasi parameter tertentu saja. Permasalahan ini mendorong dilakukannya penelitian untuk mengetahui sejauh mana zat pewarna dalam limbah batik mempengaruhi tingkat kematian organisme hidup.

Uji toksisitas ini dilakukan dengan menggunakan metode *Whole Effluent Toxicity (WET)* dengan hewan uji yang digunakan yaitu *Daphnia* sp. (Caroline *et al.*, 2019). Metode *Whole Effluent Toxicity (WET)* bertujuan untuk menilai dampak keseluruhan dari semua zat pencemar yang terdapat dalam limbah. Meskipun sudah dilakukan pemeriksaan parameter fisika maupun kimia, uji toksisitas tetap penting dilakukan karena mampu menunjukkan efek biologis yang mungkin tidak terdeteksi sebelumnya. Seperti, sebuah zat mungkin memenuhi standar baku mutu tetapi masih bisa menyebabkan efek berbahaya pada organisme hidup jika paparan terjadi dalam waktu tertentu. Selain itu uji toksisitas juga penting karena memberikan data dosis-respon yang membantu mengetahui tingkat paparan mana yang aman bagi manusia atau lingkungan (Krewski *et al.*, 2010). Sehingga untuk mengurangi dampak toksik, penting untuk mengidentifikasi bahan beracun yang terdapat dalam limbah yang akan diuji.

Penelitian ini dilakukan berfokus pada perbandingan tingkat toksisitas yang dihasilkan dari zat pewarna alami dan pewarna sintetis yang digunakan pada industri batik. Urgensi penelitian ini didasari oleh potensi limbah industri batik yang dapat mencari ekosistem perairan. Dengan dilakukannya uji toksisitas ini, diharapkan limbah yang dihasilkan dari industri batik dapat dikelola dengan lebih baik sehingga tidak lagi mencemari lingkungan dan aman untuk dibuang ke lingkungan.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

- 1) Bagaimana kualitas air limbah industri batik untuk zat pewarna alami dan pewarna sintetis ?

- 2) Bagaimana tingkat toksisitas zat warna alami dan sintetis pada air limbah industri batik dapat mempengaruhi kematian *Daphnia* sp.?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini yaitu:

- 1) Mengidentifikasi parameter yang mencakup BOD₅, COD, TDS, TSS, Fenol, Krom Total (Cr), Amonia Total (NH₃ sebagai N), Sulfida (Sebagai S), Minyak dan Lemak Total, Suhu, dan pH dari air limbah industri batik.
- 2) Menguji serta menganalisis tingkat toksisitas dari air limbah yang dihasilkan industri batik baik pewarna alami dan pewarna sintetis menggunakan metode *Whole Effluent Toxicity (WET)* terhadap *Daphnia* sp.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dalam penelitian ini yaitu:

- 1) Sebagai penerapan ilmu pengetahuan bagi peneliti, yang didapatkan selama masa perkuliahan khususnya dalam bidang pengujian toksisitas pada air limbah.
- 2) Hasil penelitian dapat menjadi bahan masukan bagi industri batik untuk meningkatkan kesadaran tentang dampak limbah batik terhadap lingkungan sekitar.

1.5 Ruang Lingkup

- 1) Uji toksisitas yang dilakukan menggunakan metode *Whole Effluent Toxicity (WET)*.
- 2) Hewan uji yang digunakan dalam penelitian yaitu *Daphnia* sp.
- 3) Tempat menjadi lokasi penelitian yaitu Laboratorium Bioteknologi & Laboratorium Kualitas Air Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP) Universitas Islam Indonesia.
- 4) Sampel air yang akan di uji yaitu proses Nglorod dari air limbah industri batik X dan industri batik Y

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Industri Batik

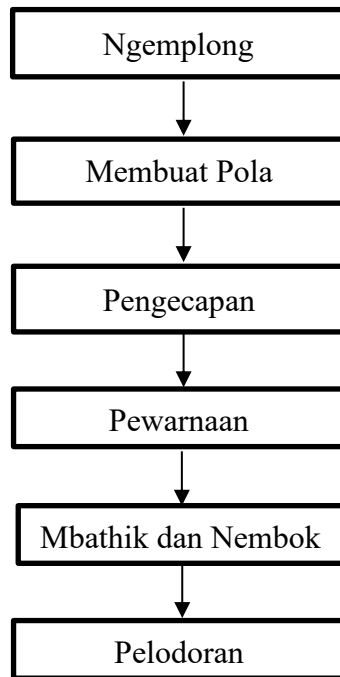
Sebagai simbol kehidupan yang mendalam dalam budaya Indonesia, batik mencerminkan nilai seni dan tradisi yang kuat. Industri batik juga merupakan sektor penting dalam ekonomi kreatif, memberikan sumbangan besar bagi perekonomian nasional melalui penciptaan lebih dari 200 ribu lapangan kerja di lebih dari 47 ribu unit usaha terdaftar. Pada tahun 2020, produk batik Indonesia berhasil mencapai nilai ekspor skitar USD 532,7 juta, membuktikan daya tariknya di pasar internasional. Pengakuan UNESCO pada tahun 2019 yang menetapkan batik sebagai warisan budaya dunia semakin meningkatkan peran batik tidak hanya sebagai produk seni, tetapi juga sebagai kekayaan budaya yang memiliki nilai ekonomi tinggi (Hatammimi & Gunawan, 2023).

Batik dikenal sebagai salah satu warisan budaya yang menceritakan kekayaan tradisi Indonesia, tidak hanya memiliki nilai sejarah tetapi juga kaya akan filosofi yang mempresentasikan citra dan memberikan kesan khusus bagi pemakainya. Hal ini menjadikan kerajinan batik sebagai usaha yang sangat berpotensi untuk terus dikembangkan baik melalui industri berskala besar maupun usaha kecil. Seiring dengan perkembangan zaman, batik telah mengalami perkembangan dalam teknik produksinya. Kini, terdapat berbagai jenis batik, seperti batik tulis yang mempertahankan proses tradisionalnya, baik cap yang lebih efisien, serta batik printing yang cocok untuk produksi massal. Perkembangan ini tidak hanya memperkaya ragam batik, tetapi juga memperluas jangkauan pasar dan meningkatkan daya tarik di era modern (Siswati *et al.*, 2024).

2.2 Proses Produksi Batik

Dalam proses pembuatan batik terdapat beberapa tahap meliputi ngemplong, membuat pola, pengecapan, pewarnaan, mbathik dan nembok, serta peledoran. Untuk menghasilkan batik yang bagus, diperlukan ketelitian dan kesebaran yang tinggi (Athariq *et al.*, 2024). Selain itu sebelum tahap membuat pola, tahap pertama yang perlu dilakukan yaitu proses pencucian kain. Batik dapat dibedakan menjadi

tiga jenis menurut cara pembuatannya, yaitu batik tulis, cap dan jumputan (Prawoto *et al.*, 2019). Berikut merupakan tahapan proses produksi batik.



Gambar 2. 1 Tahapan Proses Produksi Batik

1. Ngemplong

Dalam proses pembuatan batik, langkah pertama yang dilakukan yaitu pencucian kain mori. Hal ini bertujuan untuk membuka serat pada kain dan menghilangkan kanji. Setelah proses diatas, kain diberi kanji lalu dikeringkan (Larasati *et al.*, 2021). Selanjutnya proses pengemplongan dimana kain mori dipalu atau dipukul pukuk yang telah dikanji agar mudah dibatik (Maghfiroh *et al.*, 2023).

2. Membuat Pola

Proses pembuatan pola terdapat berbagai cara, seperti pola digambar di kertas atau kain bekas, serta ada juga yang langsung dibatik menggunakan malam (lilin). Setelah salah satu pola selesai dan kain yang sudah digambar dengan pola kemudian dilipat. Bagian kain yang belum digambar akan dilengkapi dengan pola yang ada sebelumnya. Proses ini dilakukan hingga seluruh kain terisi dengan gambar sesuai dengan pola yang telah dibuat (Wibowo, 2019).



Gambar 2. 2 Proses Membuat Pola

Sumber: (Siswati *et al.*, 2024)

3. Pengecapan

Alat yang digunakan untuk pengecapan terbuat dari tembaga dengan dimensi 20x20 cm. Sebelum pengecapan, lilin/malam direbus suhu 60 sampai 70 °C. Setelah itu dilakukan proses pengecapan kain mori, canting cap sebelum digunakan dicelupkan kurang lebih 2 cm ke dalam cairan malam. Cap tersebut ditekan secara merata di atas kain mori sehingga membentuk motif (Nurdin & Amelia, 2024).



Gambar 2. 3 Proses Pengecapan

Sumber: (Siswati *et al.*, 2024)

4. Pewarnaan

Pada proses pewarnaan, kain yang sudah melewati proses pembuatan pola dan proses mencanting, kain tersebut dicelupkan ke dalam air pewarna yang akan digunakan. Proses pencelupan dimulai dengan menggunakan warna panas, lalu dilanjutkan dengan warna dingin. Ketika kain dimasukkan ke dalam larutan

dingin, kain akan berubah menjadi warna yang di inginkan (Lestari N. & Syafii, 2019). Setelah proses pencelupan, kain dijemur hingga sedikit kering di tempat yang teduh. Kemudian, pencelupan dapat diulang dengan menggunakan bahan yang sama sampai warna yang diinginkan sesuai (Abaharis *et al.*, 2023).



Gambar 2. 4 Proses Pewarnaan

Sumber: (Fatih *et al.*, 2022)

5. Mbathik dan Nembok

Tahap berikutnya yaitu proses mbathik, lilin/malam diaplikasikan ke kain mori dengan cara membuat garis di tepi pola terlebih dahulu, kemudian dilanjutkan dengan mengisi bagian dalam pola sesuai motif yang diinginkan. Selanjutnya yaitu proses nembok yang bertujuan untuk menutup sebagian dari motif agar warna tersebut tidak terkena warna berikutnya.



Gambar 2. 5 Proses Nembok

Sumber: (Hariyanto, 2015)

6. Peledoran (Nglorod)

Proses selanjutnya yaitu peledoran, yang merupakan tahap untuk menghilangkan lilin yang menempel pada kain. Pada tahap ini, kain hasil

pembatikan kemudian direbus dalam air yang mendidih. Untuk mempermudah proses penghilangan lilin, biasanya air tersebut dicampur dengan bahan tambahan seperti soda abu, waterglas, atau kanji (Abaharis *et al.*, 2023). Jika lilin sudah hilang, maka kain dibilas menggunakan air bersih agar tidak ada sisa lilin yang tertinggal. Terakhir yaitu kain tersebut dijemur dengan tidak terpapar langsung sinar matahari (Lestari N. & Syafii, 2019).



Gambar 2. 6 Proses Nglorod

Sumber: (Susanti & Azhar, 2020)

2.3 Limbah Industri dan Dampaknya

Dengan pertumbuhan industri batik, tidak hanya memiliki memiliki manfaat terhadap pembukaan lapangan kerja maupun meningkatkan ekonomi negara tetapi terdapat sisi negatifnya terutama terkait masalah lingkungan. Salah satu isu lingkungan saat ini yaitu limbah cair yang dihasilkan proses membatik. Proses membatik yang menghasilkan limbah cair yaitu dari proses pencucian kain, pewarnaan serta pelodoran (nglorod) (Indrayani, 2019). Sekitar 80% dari total penggunaan air, industri batik menghasilkan limbah cair saat proses produksinya (Setiyono *et al.*, 2017).

Tanpa pengolahan yang memadai, pembuangan limbah batik ke badan air berpotensi mencemari ekosistem. Salah satu dampaknya adalah munculnya bau tidak sedap pada perairan yang dapat menurunkan kandungan *Dissolved Oxygen* (DO). Selain itu, pembuangan limbah ini juga dapat meningkatkan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme *Biochemical Oxygen Deman* (BOD), *Chemical Oxygen Deman* (COD), serta TSS (Pangestuti *et al*, 2021).

Apabila kadar pencemaran melebihi standar baku mutu, salah satu dampak yang paling terlihat jelas adalah kematian organisme yang hidup di perairan. Hal ini menyebabkan terjadinya pencemaran aliran dan menurunnya sumber air bersih di

wilayah yang terdampak limbah batik. Akibatnya, ini dapat merugikan masyarakat yang bergantung pada perairan sekitar dan mengganggu aktivitas sehari-hari (Purwaningrum, 2024). Selain itu, sungai-sungai yang terkontaminasi limbah dari industri batik biasanya terlihat berwarna coklat pekat hingga kehitaman. Warna ini muncul disebabkan oleh kandungan bahan kimia dalam pewarna batik dan bahan lainnya yang digunakan dalam proses produksinya.

2.3.1 Parameter Pencemar Limbah Batik

Menurut (Peraturan Daerah DIY No 7, 2016), terdapat beberapa parameter pencemar limbah cair industri batik. Diantaranya yaitu:

1. BOD₅

Prinsip pengukuran BOD₅ yaitu nilai BOD dihitung dengan cara mengukur selisih atau perbedaan konsentrasi oksigen terlarut antara hari pertama dan hari kelima.

Sebelum pengujian, sampel dicampurkan dengan larutan pengencer yang mengandung oksigen tinggi dan telah diberi tambahan nutrisi serta mikroorganisme, lalu diinkubasi selama 5 hari dalam ruang gelap bersuhu 20°C ± 1°C (SNI-6989-72-2009).

2. COD

Dalam metode ini, senyawa Cr₂O₇²⁻ berperan sebagai oksidator untuk menentukan kadar COD pada air dan limbah cair. Pengujian dilakukan melalui proses refluks tertutup, dan hasilnya diukur menggunakan spektrofotometri. Untuk kadar COD yang berkisar 900 mg/L hingga 1000 mg/L, dilakukan menggunakan panjang gelombang 600 nm. Sementara untuk kadar COD ≤ 90 mg/L, dilakukan menggunakan panjang gelombang 420 nm (SNI 6989.2-2019).

3. TDS

Prinsip uji TDS yaitu dilakukan penyaringan sampel yang sudah dihomogenkan menggunakan media penyaring. filtrat yang dihasilkan kemudian diuapkan hingga kering. Setelah itu dikeringkan dengan suhu 180°C hingga berat tetap (SNI 6989.27-2019).

4. TSS

Prinsip uji ini yaitu menyaring sampel yang sudah dihomogenkan menggunakan media penyaring. Media penyaring ditimbang terlebih dahulu

sebelum digunakan. Residu yang tertinggal pada saringan kemudian dikeringkan dengan suhu 103°C hingga 105°C sampai mencapai berat yang konstan. Kenaikan berat pada saringan tersebut menunjukkan jumlah TSS (SNI 6989.3-2019).

5. Fenol

Prinsip uji ini yaitu dilakukan dengan prosedur fotometrik berdasarkan reaksi senyawa fenolik yang dapat disuling dengan uap 4-aminoantipyrine (ASTM D1783-01).

6. Krom Total (Cr)

Metode ini dimanfaatkan untuk menentukan konsentrasi total krom pada sampel air maupun limbah cair dengan menggunakan spektrofotometri serapan atom (SSA). Pengukuran dilakukan pada konsentrasi krom antara 0,2 mg/L sampai 10 mg/L pada panjang gelombang pengukuran sebesar 357,9 nm (SNI 6989.17-2009).

7. Amonia Total (NH₃ sebagai N)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi amonia dalam sampel air maupun air limbah menggunakan spektrofotometer secara fenat. Pengukuran dilakukan pada rentang konsentrasi 0,1 mg/L hingga 0,6 mmg/L NH₃-N dengan panjang gelombang 640 nm (SNI 06-6989.30-2005).

8. Sulfida (sebagai S)

Pengujian ini bertujuan sebagai pengukur total sulfida dalam air dan limbah cair menggunakan biru metilen secara spektrofotometri, khususnya pada kadar yang berkisar 0,02 mg/L hingga 1,0 mg/L. Pengukuran dilakukan ketika senyawa sulfida bereaksi dengan ferri klorida dan dimetil-p-fenelindiamina menghasilkan metilen biru, kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang yaitu 664 nm (SNI 6989.70-2009-1).

9. Minyak dan Lemak Total

Prinsip pengujian ini yaitu untuk memisahkan minyak mineral maupun minyak nabati dari pelarut organik melalui proses distilasi. Setelah itu, residu yang tertinggal di dalam labu distilasi kemudian ditimbang untuk menghitung total minyak dan lemaknya (SNI 6989.10-2011).

10. Suhu

Metode ini untuk mengukur suhu air maupun suhu air limbah dengan alat yang digunakan yaitu termometer air raksa (SNI 06-6989.23-2005).

11. pH

Metode pengukuran pH terdiri dari metode potensiometri dan metode kolorimetri. Pengukuran dengan metode potensiometri untuk mengukur pH yang didasarkan pada pengukuran perbedaan potensial antara dua elektroda. Sedangkan pengukuran metode kolorimetri berdasarkan pengamatan secara visual pada perubahan warna. Pengukuran ini menggunakan alat yaitu pH meter (SNI 6989.11-2019).

Tabel 2. 1 Baku Mutu Limbah Cair Untuk Kegiatan Industri Batik di DIY

Parameter	Proses Basah		Proses Kering	
	Kadar Paling Banyak (mg/L)	Beban Pencemaran Paling Banyak (Kg/Ton)	Kadar Paling Banyak (mg/L)	Beban Pencemaran Paling Banyak (Kg/Ton)
BOD ₅	85	5,1	85	1,275
COD	250	15	250	3,75
TDS	2.000	120	2.000	30
TSS	60	3,6	80	1,2
Fenol	0,5	0,03	1	0,015
Krom Total (Cr)	1	0,06	2	0,03
Amonial Total (NH ₃ Sebagai N)	3	0,18	3	0,045
Sulfida (Sebagai S)	0,3	0,018	0,3	0,0045
Minyak dan Lemak Total	5	0,3	5	0,075
Suhu	± 3°C terhadap suhu udara			
pH	6,0-9,0			
Debit limbah Paling Banyak	60		16	

Parameter	Proses Basah		Proses Kering	
	Kadar Paling Banyak (mg/L)	Beban Pencemaran Paling Banyak (Kg/Ton)	Kadar Paling Banyak (mg/L)	Beban Pencemaran Paling Banyak (Kg/Ton)
(m ³ /Ton produk batik)				

Sumber: Peraturan Daerah DIY No. 7 Tahun 2016

Penetapan nilai baku mutu oleh Peraturan Daerah maupun SNI dilakukan melalui serangkaian kajian ilmiah dan teknis. Nilai tersebut termasuk dalam kategori standar *effluent*, yaitu batas maksimum konsentrasi zat pencemar dalam air limbah sebelum dibuang ke lingkungan. Penentuan nilai baku mutu mempertimbangkan berdasarkan seberapa besar dampak suatu zat terhadap lingkungan dan kesehatan makhluk hidup. Salah satu acuannya adalah hasil pengujian toksisitas terhadap organisme air, yang menunjukkan pada konsentrasi berapa suatu zat mulai menimbulkan efek berbahaya. Selain itu, mengacu dari standar internasional, kondisi lingkungan, serta kemampuan teknologi industri agar standar tersebut bisa diterapkan.

Terdapat beberapa penelitian yang melakukan pengujian parameter kimia pada limbah industri batik diantaranya penelitian dari (Dindasari, 2018). Penelitian tersebut menjelaskan bahwa pada hasil yang didapatkan untuk sampel dari influent yaitu pada pH = 10,2, BOD = 501,4 mg/L, COD = 3.937 mg/L, TSS = 1.462 mg/L, dan warna = 2.180 mg/L. Sedangkan hasil pada effluent dari reaktor kombinasi anaerob-aerob didapatkan nilai pH = 9, BOD = 135 mg/L, COD = 1.037 mg/L, TSS = 452 mg/L, dan warna = 1.015 mg/L.

Penelitian lain dari (Riskiyani, 2024) mendapatkan hasil uji parameter kimia pada influent yaitu BOD₅ = 501,4 mg/L, COD = 3.937 mg/L, TSS = 1.462 mg/L, pH = 10. Sedangkan pada effluent nilai yang didapat yaitu BOD₅ = 7,97 mg/L, COD = 66,6 mg/L, TDS = 0,352 mg/L, TSS = 0,3444 mg/L, Fenol = 1,329 mg/L, Krom Total (Cr) = 2,05 mg/L, Amonia Total (NH₃ Sebagai N) = 0,64 mg/L, Sulfida (Sebagai S) = 0,3 mg/L, Suhu = 27 °C, dan pH = 7,5

Selain itu terdapat penelitian dari (Pangestuti *et al.*, 2018) dimana didapatkan hasil untuk parameter kimia pada influent yaitu BOD = 501,40 mg/L, COD =

3936,67 mg/L, TSS = 1462,00 mg/L, dan warna = 2180,00 mg/L. Sedangkan pada effluent nilai BOD = 135,02 mg/L, COD = 1037,33 mg/L, TSS = 452,00 mg/L, dan warna = 1015,00 mg/L

2.4 Uji Toksisitas

Suatu zat kimia dikategorikan bersifat toksik apabila memiliki potensi berbahaya terhadap fungsi biologis pada suatu organisme. Toksisitas sendiri merujuk pada sejauh mana suatu senyawa kimia dapat menyebabkan kerusakan pada makhluk hidup akibat terpapar atau dikonsumsi zat tersebut. Senyawa yang dapat merusak fungsi biologis ini disebut juga dengan beracun atau toksik. Tingkat toksisitas dari suatu senyawa dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain dosis yang diberikan, konsentrasi racun yang mencapai reseptor, karakteristik zat serta kondisi organisme yang terpapar (Marsella & Saleh, 2024).

Uji toksisitas dapat dibagi menjadi tiga kategori diantaranya toksisitas akut, subkronik, serta kronik. Toksisitas akut bertujuan untuk mengetahui dosis zat berbahaya yang dikenal sebagai LD₅₀. Dalam pengujian ini, zat kimia uji diberikan satu kali atau lebih selama periode 24 jam. Uji toksisitas akut bertujuan untuk mengetahui besarnya efek toksik suatu zat dalam periode waktu tertentu setelah satu kali pemberian dosis. LD₅₀ sering digunakan untuk menggambarkan rentang dosis yang dapat menyebabkan kematian dalam uji toksisitas akut (Jumain *et al.*, 2018).

2.4.1 Metode *Whole Effluent Toxicity*

Mengingat limbah dari industri batik memiliki potensi yang besar terhadap lingkungan perairan, maka dilakukan penelitian mengenai uji toksisitas terhadap organisme perairan. Pengujian toksisitas dilakukan menggunakan metode *Whole Effluent Toxicity*. WET adalah metode untuk menilai efek toksik zat secara langsung dengan memaparkannya kepada hewan uji. Keunggulan dari pendekatan ini adalah tingkat keefektifannya, dengan tingkat kesalahan yang hanya sekitar 0,05% dari hasil pengujian (Nugraha *et al.*, 2018). Selain itu, metode ini dapat mengidentifikasi potensi adanya toksisitas yang tidak teridentifikasi, serta menunjukkan bahwa senyawa racun yang diketahui oleh organisme uji dapat mengalami perubahan tingkat toksisitas. Perubahan ini bisa berupa peningkatan

atau penurunan efek toksik, yang dimana dapat disebabkan oleh pengaruh karakteristik khusus dari komposisi limbah atau kimia (Ra *et al.*, 2007).

Pengujian dengan *Whole Effluent Toxicity* (WET) relatif terhadap tujuan umum yang meliputi identifikasi, karakterisasi, dan mitigasi efek racun limbah terhadap sumber daya perairan. Meskipun berguna, pengujian WET tidak sempurna karena memiliki keterbatasan yang disebabkan oleh faktor faktor tertentu, seperti variabilitas dalam pengujian yang disebabkan oleh faktor biotik dan antropogenik. Perbedaan dalam sensitivitas spesies baik di laboratorium maupun di lingkungan alamiah.

serta perbedaan antara kondisi laboratorium dan lingkungan penerima, juga merupakan tantangan yang dihadapi. Secara keseluruhan, pengujian toksisitas limbah bisa jadi terlalu konservatif karena tidak sepenuhnya mempertimbangkan proses lingkungan yang dapat mengurangi paparan. Namun, pengujian ini juga bisa kurang protektif karena tidak selalu mencakup spesies yang paling sensitif atau mempertimbangkan dampak jangka panjang (Chapman, 2000).

2.4.2 Lethal Concentration 50

Lethal Concentration 50 (LC₅₀) adalah metode yang digunakan untuk mengukur efektivitas dari senyawa tertentu (Lestari *et al.*, 2019). Konsentrasi ini, jika diberikan satu kali maupun berulang kali dalam periode 24 jam. Secara statistik, dapat menyebabkan kematian pada 50% dari total populasi hewan uji. Nilai LC₅₀ digunakan untuk menentukan apakah suatu zat termasuk dalam kategori toksik atau tidak (Dewi *et al.*, 2024).

Untuk menghitung nilai LC₅₀, terdapat empat metode yang dapat digunakan, yaitu *Probit Method*, *Graphical Method*, *Trimmed Spearman-Kärber Method*, dan *Spearman-Kärber Method*. Metode tersebut tidak hanya untuk menghasilkan nilai LC₅₀ tetapi juga interval kepercayaan 95%. Namun, pada kondisi tertentu dimana perangkat lunak yang digunakan untuk menghitung estimasi LC₅₀ mungkin tidak dapat memberikan interval kepercayaan 95%. Hal ini dikarenakan, jika data uji tidak memenuhi asumsi khusus yang diperlukan oleh metode statistik, ketika estimasi titik berada di luar rentang konsentrasi uji atau jika terdapat keterbatasan tertentu dalam perangkat lunak yang digunakan (EPA, 2002).

2.4.3 *Daphnia* sp.

Organisme yang umum digunakan dalam pengujian toksisitas dan diakui sebagai indikator biologis kualitas air oleh lembaga internasional, yaitu *United States Environmental Protection Agency* (USEPA), antara lain *crustaceae*, alga serta ikan. Dalam pengujian ini, organisme uji yang digunakan sebagai hewan uji yaitu *Daphnia* (Edwin *et al*, 2017). *Daphnia* sp. adalah *Cruataceae* mikroskopis dari ordo *Cladocera* dan famili *Daphniidae*, serta hidup di perairan air tawar yang dikenal secara umum sebagai kutu air (Sari *et al.*, 2022). Makanan *Daphnia* sp. berupa detritus, bakteri, bahan organik terlarut juga alga (Amira & Nursidah, 2024). Ukuran partikel nutrisi yang dikonsumsi oleh *Daphnia* antara 1 μ m hingga 50 μ m (Hasan & Kasmawijaya, 2021).

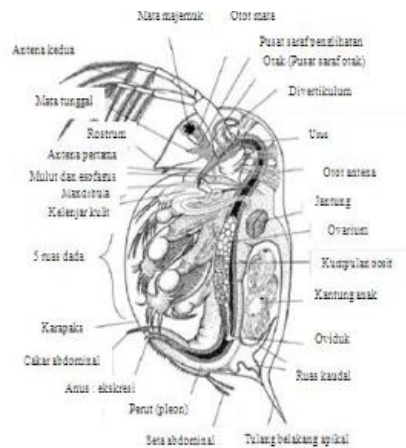
Mereka memiliki tubuh kecil yang dilindungi oleh cangkang transparan berbahan polisakarida yang disebut kitin, dan tersebar luas di berbagai perairan (Hasan & Kasmawijaya, 2021). Terdapat berbagai macam ukuran pada *Daphnia* tergantung dengan spesienya. *Daphnia* yang baru menetas biasanya berukuran 0,1-3 mm. *Daphnia* mengalami dua jenis reproduksi, yaitu seksual dan aseksual. Secara umum, populasi *Daphnia* di banyak perairan didominasi oleh betina yang berkembang biak melalui reproduksi aseksual. Dalam lingkungan yang mendukung, *Daphnia* betina mampu menghasilkan hingga 100 butir telur setiap kali bertelur, dengan kemampuan untuk bertelur kembali setiap tiga hari (Pangkey, 2009). Habitat dari *Daphnia* biasanya berada di air tawar yang tergenang (Amira & Nursidah, 2024).

Beberapa studi menunjukkan bahwa dalam kegiatan budidaya *Daphnia* sp. tidak hanya diberi pakan alami, tambahan nutrisi dari limbah pertanian maupun industri juga sering digunakan. *Daphnia* banyak dimanfaatkan untuk pengujian toksisitas, baik untuk mengamati dampak paparan akut maupun kronis terhadap senyawa kimia yang dibuang ke ekosistem perairan oleh industri dan pertanian. Organisme ini memiliki siklus hidup yang pendek, dapat diaklimatisasi dalam kondisi laboratorium dengan ruang terbatas, dan sensitif terhadap berbagai jenis polutan di ekosistem perairan (Pangkey, 2009). Selain itu, *Daphnia* dipilih sebagai organisme uji dikarenakan mudah digunakan serta mudah dicari dan harganya juga terjangkau (Suprayogi *et al.*, 2021). Selain itu keunggulan penggunaan *Daphnia*

dalam uji toksisitas yaitu tingkat reproduksi tinggi serta laju pertumbuhannya yang cepat.

Menurut (Pangkey, 2009), berikut merupakan klasifikasi *Daphnia*:

Kingdom : *Animalia*
 Filum : *Arthropoda*
 Subfilum : *Crustacea*
 Klas : *Branchiopoda*
 Ordo : *Cladocera*
 Famili : *Daphniidae*
 Subgenus : *Daphnia*
 Spesies : *Pulex*
 Subgenus : *Ctenodaphnia*
 Spesies : *Magna*



Sumber: (Surtikanti *et al.*, 2017)

2.5 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu

Judul	Penulis	Hasil
Uji Toksisitas Akut Limbah Industri Batik Kampung Batik Giriloyo Terhadap Ikan Nila (<i>Oreochromis Niloticus</i>)	Nuzuliana Dindasari	Limbah batik pada influent menunjukkan tingkat toksisitas akut yang tinggi (<i>High Acute Toxicity Level</i>) dengan Tua 54,22 dan $LC50$

Judul	Penulis	Hasil
Dengan Menggunakan Reaktor Anaerob-Aerob		sebesar 18,4. Sedangkan pada <i>effluent</i> dari reaktor kombinasi anaerob-aerob memiliki <i>Tua</i> 1,17 dan <i>LC50</i> mencapai 85,507 sehingga masuk dalam kategori toksisitas akut signifikan (<i>Siginificant Acute Toxicity Level</i>).
Uji Toksisitas Limbah Cair Industri Batik Menggunakan Metode <i>Whole Effluent Toxicity</i> (Wet) Menggunakan <i>Zebra Fish (Danio Rerio)</i>	Dini Riskiyani	Pengujian air limbah dari IPAL industri batik X menunjukkan pada <i>influent</i> , nilai <i>LC50</i> yang diperoleh adalah 85,35 dan <i>Tua</i> sebesar 1,17 dikategorikan sebagai non-toksik. Sedangkan pada <i>effluent</i> , tidak ditemukan nilai <i>LC50</i> . Hal ini dikarenakan saat uji berlangsung, ikan zebra tidak ada yang mengalami kematian.
Uji Toksisitas Akut Limbah Cair Kampung Batik Giriloyo Terhadap Ikan Mas (<i>Cyprinus Carpio</i>) Dengan Menggunakan Reaktor Kombinasi Anaerob-Aerob	Ayu Diah Pangestuti	Air limbah <i>influent</i> pada paparan 96 jam dikategorikan sebagai toksisitas akut sangat tinggi (<i>very high acute toxicity</i>) dengan <i>LC₅₀</i> 0,861 dan <i>Tua</i> 116,114. Sementara itu, <i>effluent</i>

Judul	Penulis	Hasil
		masuk dalam kategori toksik akut (acute toxicity) dengan LC ₅₀ 90 dan Tua 1,1.

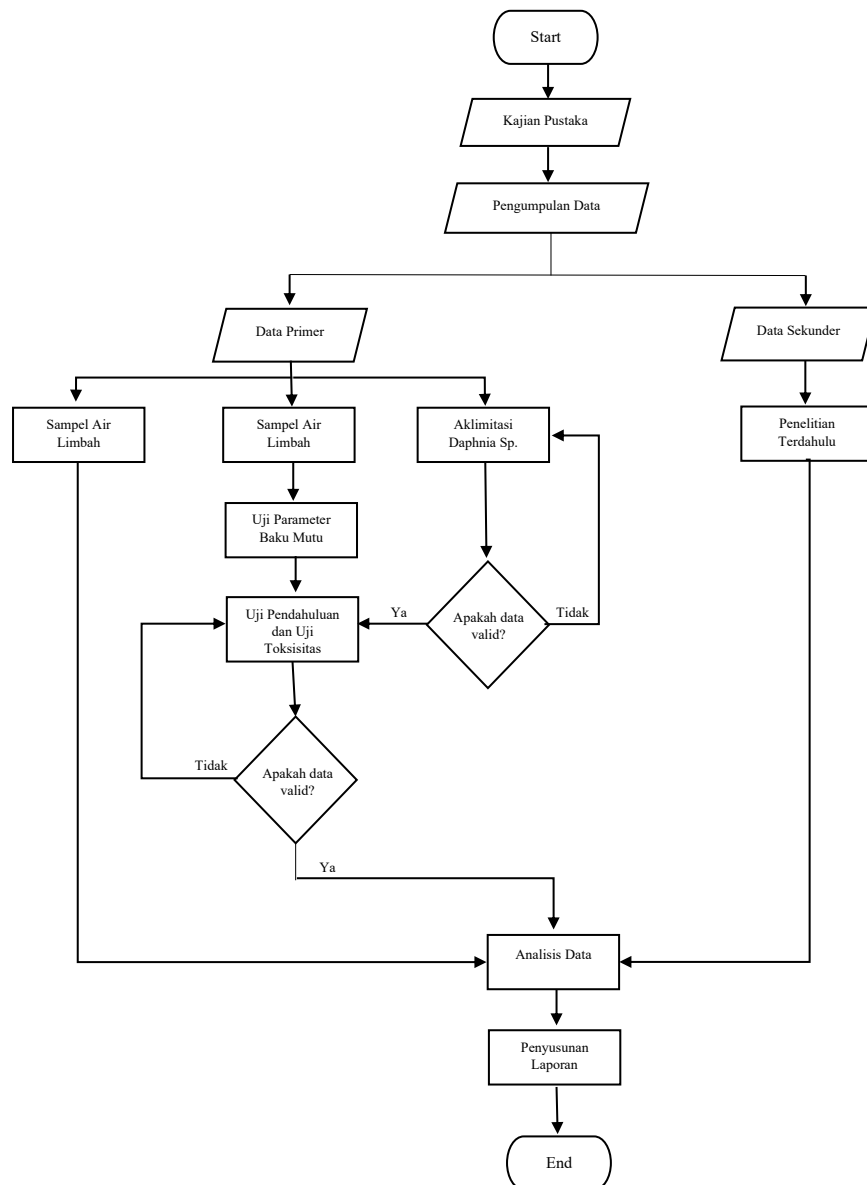
Berdasarkan pada penelitian terdahulu, menunjukkan bahwa limbah industri batik memiliki efek toksik terhadap hewan uji yang digunakan. Baik limbah influent maupun limbah effluent. Namun, Hasil dari nilai effluent lebih kecil dibandingkan dengan nilai influent. Hal ini dikarenakan adanya pengolahan pada limbah tersebut. Perbedaan hasil pada setiap penelitian, tergantung pada jenis zat pencemar di setiap limbah industri batik. Namun, pada penelitian terdahulu belum secara spesifik membedakan sumber toksisitas berdasarkan jenis pewarnaan yang digunakan, seperti pewarna alami maupun pewarna sintetis. Oleh karena itu, penelitian yang akan dilakukan menguji dan membandingkan tingkat toksisitas limbah dari industri batik yang menggunakan pewarna alami dan pewarna sintetis.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Prosedur Alur Penelitian

Pada penelitian ini, pengujian toksisitas dilakukan menggunakan metode *Whole Effluent Toxicity* (WET) dengan organisme uji yaitu *Daphnia* sp. Sebelum pengujian dilakukan, terlebih dahulu dilakukan observasi lapangan untuk pengambilan sampel air limbah. Selain itu dilakukan aklimatisasi terhadap *Daphnia* sp. yang akan digunakan sebagai hewan uji. Setelah itu dilakukan pengujian meliputi uji pendahuluan dan uji toksisitas. Jika hasil pengujian didapatkan, selanjutnya dilakukan analisis data. Berikut merupakan prosedur alur penelitian ini:



Gambar 3. 1 Bagan Alir Prosedur Analisis Data

3.2 Waktu dan Lokasi

Lokasi dari pengambilan sampel air limbah yaitu di industri batik X dan batik Y yang berlokasi di Daerah Istimewa Yogyakarta. Sementara itu, seluruh kegiatan penelitian dilaksanakan di Laboratorium Bioteknologi & Laboratorium Kualitas Air Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP) Universitas Islam Indonesia, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Penelitian ini berlangsung dari bulan Desember 2024 sampai Maret 2025. Selama rentang waktu tersebut dilakukan observasi lapangan, pengambilan sampel air limbah, aklimatisasi *Daphnia* sp., uji parameter, uji toksisitas, analisa dan pengolahan data.

3.3 Alat dan Bahan

A. Alat

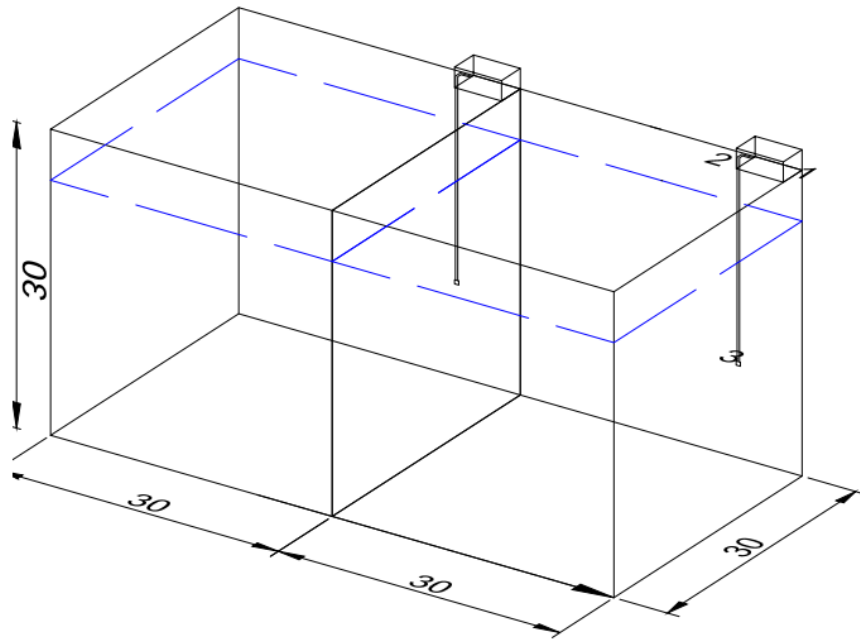
Alat-alat yang digunakan untuk pengujian toksisitas terdiri dari aerator, reaktor aklimatisasi, Oxygen meter (DO meter), pH meter, Alat pengukur suhu (thermometer), Beaker glass 500 mL dan 100 mL, Gelas ukur 25 mL, Corong, Micropipet, Kaca Arloji, Pipet ukur, Jar Kaca, Jerigen 5 L, Gayung bertangkai panjang. Sedangkan alat atau instrumen yang digunakan untuk uji parameter kimia terdiri dari Botol penyimpanan air limbah, Botol winkler, Cawan Porselin, Corong, Desikator, Erlenmeyer, Gelas beaker, Gelas ukur, Kertas lakmus, Oven, Pipet volumetrik, Spektrofotometer, TDS meter, Timbangan analitik, Thermometer

B. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan untuk pengujian toksisitas terdiri dari Air limbah batik pewarna alami dan sintetis, *Daphnia* sp., dan akuades. Sedangkan bahan yang digunakan untuk uji parameter kimia terdiri dari Air limbah batik pewarna alami dan sintetis, Asam sulfat (H_2SO_4), Kalium dikromat 0,25 N, Kertas Saring, Larutan standar BOD, Larutan Buffer, Larutan standar sulfida, Natrium sulfat anhidrat, Pelarut heksana, dan Reagen biru metilen.

3.4 Desain Reaktor Aklimatisasi

Proses akimatisasi untuk penelitian ini dibutuhkan reaktor aklimatisasi dengan ukuran panjang 30 cm, lebar 30 cm, tinggi 30 cm, dan ketebalannya 5 mm. Untuk dengan hewan uji *Daphnia* sp., reaktor aklimatisasi dilengkapi dengan aerator . Aerasi dilakukan selama 72 jam, kemudian reaktor dibiarkan tanpa aerasi selama 24 jam. Berikut merupakan desain reaktor aklimatisasi pada penelitian ini.



Gambar 3. 2 Reaktor Aklimatisasi (dalam cm)

Keterangan:

1. Aerator
2. Selang
3. Batu gelembung udara

3.5 Sampling Air Limbah

Sampel air limbah dalam penelitian ini diperoleh dari industri batik X dan Y. Jenis limbah yang diambil berasal dari proses pelepasan malam (pelorodan). Untuk pengambilan sampling mengacu pada SNI 6989.59-2008, dimana persyaratan alat pengambil sampel terdiri dari material yang tidak mempengaruhi karakteristik sampel serta mudah dibersihkan dari sisa-sisa sampel sebelumnya. Wadah penyimpanan sampel juga harus memenuhi kriteria tertentu, seperti terbuat dari kaca, Poli Tetra Fluora Etilen (PTFFE), poli propilen (PP), plastik poli etilen

(PE). Wadah yang digunakan juga harus tertutup rapat, bersih, tidak mudah pecah serta tidak bereaksi dengan sampel uji. Untuk pengambilan sampel dari limbah batik dilakukan dengan metode *Grab Sample*, yaitu teknik pengambilan air limbah secara langsung pada waktu tertentu di satu titik lokasi pengambilan. Berikut merupakan beberapa parameter untuk dilakukan pengawetan sampling air limbah

Tabel 3. 1 Pengawetan Parameter Air Limbah Industri Batik

Parameter	Satuan	Pengawetan	Lama Penyimpanan	Acuan
BOD ₅	mg/L	Disimpan pada suhu $\leq 4^{\circ}\text{C}$	24 jam	SNI-6989-72-2009
COD	mg/L	pH diturunkan hingga ≤ 2 dengan menambahkan H ₂ SO ₄ pekat, lalu sampel disimpan pada suhu $\leq 6^{\circ}\text{C}$	28 hari	SNI 6989.2-2019
TDS	mg/L	Diawetkan contoh uji pada suhu 4°C	24 jam	SNI 6989.27-2019
TSS	mg/L	Diawetkan contoh uji pada suhu 4°C	24 jam	SNI 6989.3-2019
Fenol	mg/L	Asamkan sampel dengan H ₃ PO ₄ , HCL, H ₂ SO ₄ atau NaHSO ₄ hingga pH antara 0,5 sampai 2,0	28 hari	ASTM D1783-01
Krom Total (Cr)	mg/L	Asamkan dengan HNO ₃ hingga pH <2	6 bulan	SNI 6989.17-2009
Amonia Total (NH ₃ sebagai N)	mg/L	Menambahkan H ₂ SO ₄ untuk menurunkan pH sampai <2	28 hari	SNI 06-6989.30-2005
Sulfida (sebagai S)	mg/L	Menambahkan 4 tetes 2N seng asetat/100 mL contoh uji dan NaOH sampai pH	2 minggu	SNI 6989.70-2009

Parameter	Satuan	Pengawetan	Lama Penyimpanan	Acuan
		lebih besar dari 9 dengan kondisi penyimpanan 4 °C ± 2 °C		
Minyak dan Lemak Total	mg/L	Menambahkan H ₂ SO ₄ 1:1 atau HCL 1:1 sampai pH lebih kecil dari 2 dengan kondisi penyimpanan 4 °C ± 2 °C	28 hari	SNI 6989.10-2011
Suhu	°C	-	-	SNI 06-6989.23-2005
pH	-	-	-	-

3.6 Uji Parameter

Untuk menunjang data pada uji toksisitas, maka pada sampel limbah industri batik juga diperlukan uji parameter. Dalam pengujian parameter, dilakukan pengujian satu kali. Beberapa parameter kualitas air limbah yang diuji mengacu pada Peraturan Daerah DIY No.7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah. Pada peraturan tersebut, parameter yang digunakan untuk uji limbah batik diantaranya BOD₅, COD, TDS, TSS, Fenol, Krom Total (Cr), Amonia Total (NH₃ sebagai N), Sulfida (sebagai S), Minyak dan Lemak Total, Suhu dan pH.

Tabel 3. 2 Parameter Uji Air Limbah Batik

Parameter	Satuan	Metode	Acuan
BOD ₅	mg/L	Titration secara iodometri	SNI-6989-72-2009
COD	mg/L	Refluks tertutup secara spektrofotometri	SNI 6989.2-2019
TDS	mg/L	Gravimetri	SNI 6989.27-2019
TSS	mg/L	Gravimetri	SNI 6989.3-2019
Fenol	mg/L	Spektrofotometri	ASTM D1783-01

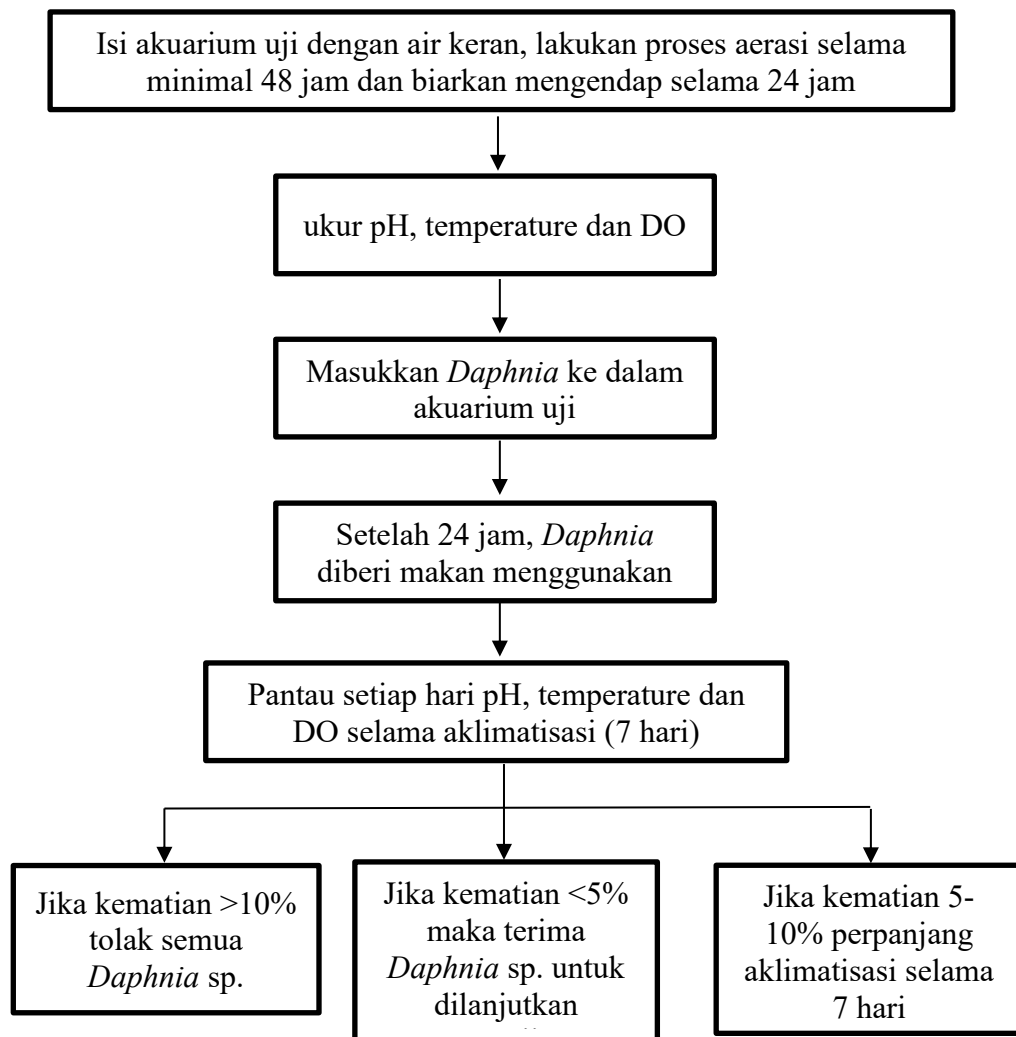
Parameter	Satuan	Metode	Acuan
Krom Total (Cr)	mg/L	AAS/Spektrofotometri Serapan Atom	SNI 6989.17-2009
Amonia Total (NH ₃ sebagai N)	mg/L	Spektrofotometri	SNI 06-6989.30-2005
Sulfida (sebagai S)	mg/L	Spektrofotometri	SNI 6989.70-2009
Minyak dan Lemak Total	mg/L	Gravimetri	SNI 6989.10-2011
Suhu	°C	Termometer	SNI 06-6989.23-2005
pH	-	pH Universal	-

3.7 Aklimatisasi Hewan Uji

Aklimatisasi yaitu proses penting dalam penelitian ini, hal ini bertujuan untuk memastikan hewan uji dapat beradaptasi dengan kondisi lingkungan baru sebelum dilakukan uji pendahuluan. Sebelum dilakukan aklimatisasi, *Daphnia* yang diperoleh dari peternak lokal akan ditenak terlebih dahulu di laboratorium. Sumber air yang dirokemendasikan untuk aklimatisasi *Daphnia* yaitu menggunakan *synthetic water*, karena cocok untuk reproduksi dan pertumbuhan *Daphnia*, serta kualitas airnya terkontrol atau memadai. Namun dapat juga menggunakan beberapa sumber air seperti air sumur, air ledeng dan air permukaan (EPA, 2002). Sumber air yang digunakan dari peternak lokal dalam penelitian ini yaitu menggunakan air sumur. Untuk memastikan kadar oksigen tetap optimal, maka sebelum hewan uji dimasukkan ke dalam akuarium, akuarium tersebut diaerasi terlebih dahulu. Setelah itu, akuarium dibiarkan selama 24 jam tanpa proses aerasi agar gelembung-gelembung udara di dalam air menghilang.

Selama proses pemeliharaan, *Daphnia* dewasa dari peternak dibiarkan berkembang biak dalam kurun waktu sekitar 2-3 minggu untuk menghasilkan larva yang lahir di laboratorium. Selama proses ini, *Daphnia* diberi pakan berupa yeast yang telah diencerkan dengan takaran seujung sendok. *Daphnia* dewasa yang menghasilkan larva kemudian dipisahkan ke dalam akuarium lain sebagai indukan hewan uji. Larva yang telah dewasa (*Daphnia*) akan menghasilkan larva sebagai hasil *inhouse cultur* yang kemudian akan digunakan sebagai hewan uji, sehingga

dapat dilakukan aklimatisasi. Berikut merupakan alur proses aklimatisasi hewan uji yang diterapkan dalam penelitian ini:

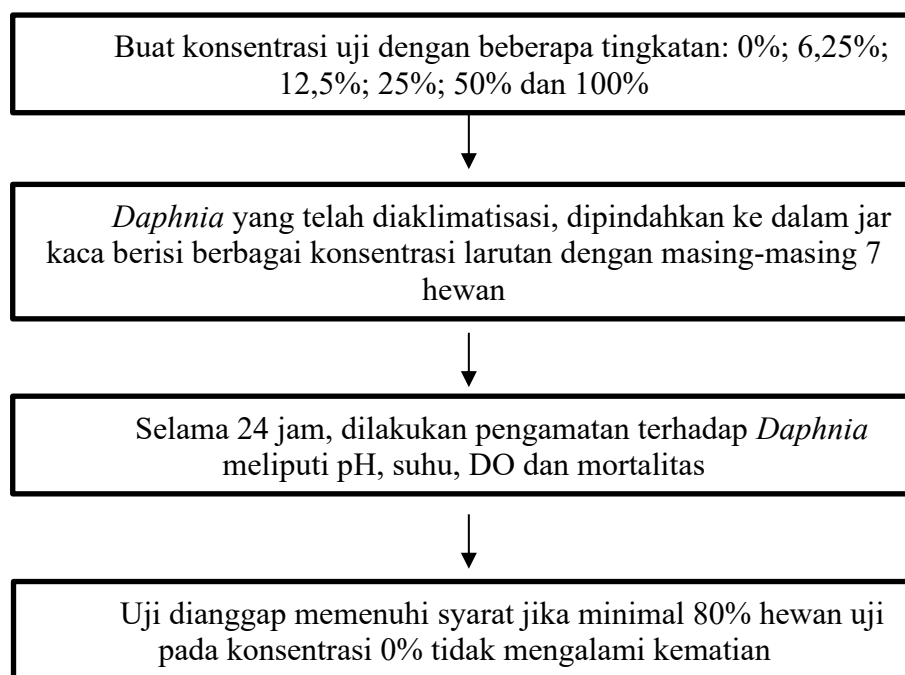


Gambar 3. 3 Proses Aklimatisasi Hewan Uji

Aklimatisasi adalah tahapan penyesuaian *Daphnia* terhadap kondisi lingkungan yang baru. Aklimatisasi umumnya berlangsung antara 1 hingga 3 hari. Apabila lebih dari 10% populasi hewan uji mengalami kematian dalam 24 jam pertama, maka populasi tersebut dianggap tidak memenuhi syarat untuk digunakan dalam pengujian. Selama masa aklimatisasi, aerasi harus tetap diberikan, dan hewan uji perlu diberikan pakan 3 mg dan dilarutkan dengan air sebanyak 2 ml, pemberian ini dilakukan setiap dua hari sekali. Pakan berupa yeast (Fermipan). Volume air untuk aklimatisasi yaitu 1-3 liter dengan suhu sekitar 20°C atau suhu ruang, pH antara 7,0 hingga 8,0, tetapi bisa meningkat 0,5 setelah pengujian sedang berlangsung, dan kadar oksigen terlarut minimal 3 mg/L (EPA, 2002).

3.8 Uji Pendahuluan

Pengujian pendahuluan bertujuan menentukan konsentrasi yang sesuai dalam pengujian toksisitas. Tujuannya adalah untuk menentukan batas bawah konsentrasi (LC_0) atau konsentrasi tertinggi tidak menyebabkan kematian hewan uji dalam 24 jam, serta batas atas konsentrasi (LC_{100}) atau konsentrasi terendah menyebabkan seluruh hewan uji mati dalam waktu 24 jam.



Gambar 3. 4 Tahapan Uji Pendahuluan

Setelah melalui proses aklimatisasi, *Daphnia* sp. dipindahkan ke masing-masing jar kaca yang berisikan limbah batik dengan variasi konsentrasinya meliputi: 0% (sebagai kontrol), 6,25%; 12,5%, 25%, 50%; dan 100% (O'brien *et al*, 2004). Menurut (EPA, 2002), jumlah minimum hewan uji pada pengujian untuk setiap konsentrasinya yaitu minimal 5 ekor. Sehingga jumlah hewan uji yang digunakan untuk setiap konsentrasi pada penelitian ini sebanyak 7 ekor. Hasil pengujian dianggap valid apabila minimal 80% hewan uji pada konsentrasi kontrol (0%) tetap hidup hingga akhir pengujian. Jika hewan uji kurang dari 80% bertahan hidup, maka harus dilakukan pengujian ulang (EPA, 2002).

3.9 Uji Toksisitas

Dalam pengujian toksisitas, umur *Daphnia* yang digunakan yaitu kurang dari 24 jam dan jumlah sebanyak 7 ekor untuk setiap pengujian. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan, hal ini untuk memastikan konsistensi dan validitas hasil. Konsentrasi tertinggi yang digunakan dalam pengujian toksisitas ditentukan berdasarkan uji pendahuluan, yaitu konsentrasi yang menyebabkan 100% kematian. Nilai faktor pengenceran yang diterapkan pada konsentrasi dalam uji toksisitas adalah 0,5. Tipe pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu static non-renewal test, yaitu hewan uji pada uji toksisitas ditempatkan dalam larutan yang sama selama pengujian berlangsung, tanpa dilakukan penambahan hewan uji dan tanpa penggantian konsentrasi uji (EPA, 2002).

Perilaku dan mortalitas hewan uji diamati secara berkala pada interval waktu 0, 24, 48, 72, dan 96 jam setelah paparan. Selain itu juga mengukur terkait kualitas air yaitu DO, pH dan suhu. Hewan uji yang mati diamati terlebih dahulu untuk melihat perubahan kondisi fisiknya dan kemudian dibuang tanpa menggantinya. Hasil uji dianggap valid atau berhasil jika keberlangsungan hidup hewan uji pada kontrol (0%) mencapai 80% atau lebih hingga akhir pengujian toksisitas. Apabila tingkat kelangsungan hidup di kontrol (0%) $\leq 80\%$, maka pengujian dilakukan pengulangan (EPA, 2002).

4.0 Analisis Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Whole Effluent Toxicity* (WET) yang bertujuan untuk mengevaluasi tingkat toksisitas yang terkandung dalam air limbah. Proses analisis berdasarkan hasil pengujian toksisitas yang sudah dilakukan sebelumnya. Menurut (EPA, 2002), terdapat tiga jenis pengolahan data dalam metode ini, yaitu:

1. Pembuatan grafik konsentrasi-respon

Grafik hubungan konsentrasi dan respon digunakan untuk menunjukkan keterkaitan tingkat konsentrasi limbah dengan persentase kematian hewan uji pada berbagai waktu pengamatan seperti pada jam ke-0, 24, 48, dan 96.

2. Perhitungan nilai LC₅₀

Perhitungan untuk nilai LC₅₀ menggunakan berbagai metode, seperti *Trimmed Spearman-Kärber*, *Probit*, *Grafis* dan *Spearman-Kärber*. Pemilihan metode perhitungan disesuaikan dengan hasil yang diperoleh dari pengujian toksisitas.

3. Toxic Unit (TU)

Toxic Unit adalah ukuran yang digunakan untuk menggambarkan tingkat toksisitas dari suatu limbah atau zat kimia, serta dapat digunakan untuk menentukan satuan toksisitas akut (TUa) maupun toksisitas kronis (TUC). Jika nilai TU tinggi, maka menunjukkan tingkat toksisitas yang lebih besar. Perhitungan TU dapat dilakukan dengan rumus berikut:

$$TU_a = \frac{100}{LC_{50}}$$

Keterangan:

TUa = *Toxic Unit Acute*

LC₅₀ = Konsentrasi yang menyebabkan kematian 50% hewan uji

Tabel 3. 3 Klasifikasi Tingkat Toksisitas Berdasarkan Nilai Toxicity Unit Acute

NO	Kelas	Tingkat Toksisitas	<i>Toxic Unit</i>	<i>Test Score</i>
1	Class I	<i>No Acute Toxicity</i>	<1	1
2	Class II	<i>Significant Acute Toxicity</i>	1-10	2
3	Class III	<i>High Acute Toxicity</i>	10-100	3
4	Class IV	<i>Very Acute Toxicity</i>	>100	4

Sumber: (Vaajasaari, 2005)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Identitas Sumber Limbah

Dalam penelitian ini, pewarnaan yang digunakan oleh industri batik ini yaitu pewarna alami dan sintetis. Pewarna alami yang digunakan diperoleh dari bahan-bahan seperti biji jolawe, daun indogo, kulit kayu tingi, dan biji buah kesumba. Limbah pada pewarna alami yang digunakan untuk pengujian dari proses nglorod, yaitu proses penghilangan lilin dari kain mori. Bahan pada proses nglorod menggunakan soda abu dan air. Namun, ketika lilin sulit dilepaskan dikarenakan waktu penjemuran yang lama, maka pada pelodoran ditambahkan dengan bantuan deterjen. Kondisi limbah nglorod yang dihasilkan dari pewarna alami menunjukkan karakteristik berwarna hijau kebiruan dengan tingkat kekeruhan yang sangat tinggi. Selain itu, limbahnya mengandung busa sehingga menandakan adanya sisa deterjen.

Sementara itu pada pewarnaan sintetis, bahan kimia yang digunakan yaitu garam naphtol dan remasol. Limbah yang digunakan untuk pengujian juga menggunakan limbah proses nglorod. Pada proses nglorod bahan yang digunakan yaitu tepung pati dan soda abu. Hal ini bertujuan untuk bilasan lilin dapat bersih dan membuat kain batik menjadi lebih rapi saat dilipat. Karakteristik dari pewarna sintetis diantaranya, warna limbah cenderung lebih bening dan tidak terlalu pekat. Selain itu, limbah ini memiliki aroma lebih menyengat serta limbah ini tidak mengandung busa.

Kondisi limbah dari kedua jenis pewarna ini menunjukkan adanya perbedaan. Limbah dari pewarna alami cenderung lebih pekat dan berbusa dibandingkan pewarna sintetis. Hal ini dapat disebabkan, karena sisa bahan organik yang digunakan untuk pewarnaan dan tambahan dari penggunaan deterjen. Sedangkan limbah dari pewarna sintetis memiliki bau yang lebih kuat, dikarenakan adanya residu dari penggunaan bahan-bahan kimia.

Bahan yang digunakan pewarna sintetis seperti remasol memiliki indikasi terhadap pengaruh toksisitas. Hal ini dapat mempengaruhi nilai parameter fisik dan kimia serta biologi terdiri dari senyawa organik yang tidak dapat terurai, BOD, COD, TSS, Fosfor Total (Total-P) dan Nitrogen Total (Total-N). Selain itu juga

dapat mempengaruhi nilai pH dan konsentrasi logam berat seperti Zn, Kromium (Cr), dan Arsenik (As) (Alzain *et al.*, 2023). Untuk bahan dari garam naphthol dapat mempengaruhi kromium (Cr) (Seli *et al.*, 2024). Selain itu limbah dari pewarnaan naphthol juga mempengaruhi tingginya pH (Tjahjani *et al.*, 2025). Bahan soda abu dapat meningkatkan nilai pH, hal ini disebabkan soda abu sifatnya mudah larut dalam air, sehingga menghasilkan larutan dengan sifat basa yang kuat (Khair & Noraida, 2023). Menurut studi (Fatchah *et al.*, 2013), menunjukkan bahwa tepung pati (tapioka) dapat mengurangi nilai COD dan TSS.

Sementara itu bahan pada pewarna alami juga memiliki indikasi mempengaruhi tingkat toksisitas. Bahan pada deterjen terdiri dari surfaktan, senyawa fosfat dan bahan aditif (Handayani, 2020). Kandungan tersebut dapat menyebabkan tingginya nilai pH (Setyobudiarso & Yuwono, 2014). Selain itu juga dapat meningkatkan nilai COD dan BOD (Rahayu & Ismawati, 2025). Deterjen juga dapat meningkatkan konsentrasi TSS (Wulandari & Winarsih, 2024). Penggunaan deterjen yang berlebihan juga dapat menyebabkan kadar TDS tinggi (Kustiyaningsih & Irawanto, 2020). Berdasarkan hasil penelitian (Athikoh *et al.*, 2021), karakteristik dalam pewarna indigo dapat mempengaruhi parameter COD, BOD, Amonia, TSS dan pH.

Pada industri batik pewarna sintetis, upaya pengolahan yang dilakukan untuk limbah dari proses batik khususnya pada proses nglorod, di alirkan ke dalam tiga bak pengolahan. Bak pengolahan pertama dan kedua yaitu berfungsi sebagai Bar Screen, dimana kotoran dari limbah di lakukan penyaringan. Sedangkan pada Bak pengolahan ketiga berfungsi sebagai Bak penampung. Setelah itu limbah kemudian dialirkan ke saluran gorong-gorong. Untuk industri batik pewarna alami, tidak memiliki pengolahan limbah. Limbah yang dihasilkan langsung dialirkan ke lingkungan.

4.2 Karakteristik Air Limbah Industri Batik

Pengujian parameter kimia pada industri batik yang perlu diuji sesuai dengan Peraturan Daerah DIY No. 7 Tahun 2016 diantaranya yaitu BOD₅, COD, TDS, TSS, Fenol, Krom Total (Cr), Amonia Total (NH₃ Sebagai N), Sulfida (Sebagai S), Minyak dan Lemak Total, Suhu, dan pH. Hasil yang didapatkan pada setiap parameter diatas tercatat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Uji Parameter Sampel Limbah Pewarna Sintetis dan Alami

Parameter	Baku Mutu (mg/L)	Hasil Uji Pewarna Sintetis (mg/L)	Hasil Uji Pewarna Alami (mg/L)
	Peraturan Daerah DIY No.7 Tahun 2016		
BOD ₅	85	250	331
COD	250	985	23886
TDS	2000	1372	6940
TSS	60	984	3760
Fenol	0,5	0,74	0,41
Krom Total (Cr)	1	0,06	0,07
Amonial Total (NH ₃ Sebagai N)	3	1,43	1,23
Sulfida (Sebagai S)	0,3	2,11	10,2
Minyak dan Lemak Total	5	33,6	218
Suhu	± 3°C terhadap suhu udara	28	28
pH	6,0-9,0	9	7

Berdasarkan tabel 4.1 didapatkan hasil untuk parameter fisik dan kimia, diantaranya BOD dengan nilai baku mutu BOD₅ adalah 85 mg/L. Untuk hasil uji pada pewarna sintetis memiliki nilai BOD₅ yaitu 250 mg/L, sedangkan pewarna alami memiliki nilai BOD₅ yaitu 331 mg/L. Kedua dari hasil uji tersebut melebihi batas baku mutu yang ditentukan. Hal ini mengindikasikan tingginya kandungan bahan organik dalam limbah tersebut, dapat mengakibatkan penurunan kadar oksigen terlarut. Penurunan ini berkaitan dengan limbah yang berasal dari proses nglorod dan proses pencucian kain.

Parameter COD memiliki nilai baku mutu yaitu 250 mg/L. Berdasarkan hasil dari nilai COD pada pewarna sintetis tercatat sebesar 985 mg/L, sedangkan pada pewarna alami jauh lebih tinggi yaitu 23.886 mg/L. Kedua hasil tersebut melebihi baku mutu, dimana dapat menurunkan kadar oksigen. Tingginya nilai COD berasal dari proses nglorod atau pendidihan, dimana terjadi penguapan air yang menyebabkan meningkatnya konsentrasi zat kimia. Selain itu dikarenakan adanya lilin pada proses tersebut (Febriyanti & Winanti, 2019). Proses pewarnaan juga dapat meningkatkan konsentrasi COD.

TDS menunjukkan total zat padat terlarut dalam air. Nilai baku mutu yang diperbolehkan yaitu 200 mg/L. Hasil uji menunjukkan nilai TDS pada pewarna

sintetis sebesar 1372 mg/L sedangkan pada pewarna alami sebesar 6940 mg/L. Dari hasil tersebut, pewarna alami melebihi baku mutu yang dimana menunjukkan adanya zat terlarut tinggi. Tingginya nilai TDS disebabkan oleh proses nglorod (pelepasan lilin) (Safamaura & Afany, 2025). Sedangkan untuk pewarna sintetis masih berada dibawah baku mutu.

TSS untuk mengukur jumlah partikel pada tersuspensi dalam air. Baku mutu yang ditentukan untuk parameter ini yaitu 60 mg/L. Hasil pengujian menunjukkan bahwa untuk pewarna sintetis sebesar 984 mg/L dan pewarna alami 3760 mg/L. Kedua jenis limbah tersebut melebihi nilai ambang batas baku mutu. Nilai TSS tinggi disebabkan pada proses produksi terdapat sisa lilin dari air sisa nglorod dan tambahan bahan atau zat lain (Pangestuti *et al.*, 2018). Selain itu, tingginya nilai TSS dapat mengurangi cahaya masuk, sehingga kekeruhan air meningkat (Diyah *et al.*, 2023).

Fenol merupakan senyawa organik yang bersifat toksik bahkan dalam konsentrasi rendah. Baku mutu pada fenol yaitu 0,5 mg/L. Tercatat untuk nilai fenol pada pewarna sintetis yaitu 0,74 mg/L sedangkan pewarna alami yaitu 0,41 mg/L. Dari nilai yang didapatkan, menunjukkan bahwa pada pewarna sintetis melebihi baku mutu yang ditentukan. Fenol yang terdapat dalam limbah berasal dari sisa lilin dari proses nglorod (Pangestuti *et al.*, 2021). Keberadaan fenol dalam limbah batik yang dibuang ke lingkungan dapat menyebabkan turunnya kadar oksigen terlarut, bersifat korosif dan beracun. Meskipun dengan konsentrasi rendah, fenol mempengaruhi kehidupan mikroorganisme (Ayuningtyas, 2020)

Krom termasuk jenis logam berat yang memiliki sifat toksik. Nilai dari baku mutu ini sebesar 1 mg/L. Kedua jenis limbah menunjukkan hasil 0,06 mg/L (pewarna sintetis) dan 0,07 mg/L (pewarna alami). Dari kedua nilai tersebut masih di bawah ambang batas aman. Krom pada limbah batik dapat berasal dari zat pewarna. Krom bersifat toksik, apabila dibuang ke badan air tanpa melalui proses pengolahan dapat menimbulkan dampak serius bagi kesehatan, seperti kerusakan pada ginjal dan hati, serta beresiko menyebabkan kanker paru-paru (Murniati *et al.*, 2015)

Amonia Total (NH_3 Sebagai N) untuk baku mutunya sebesar 3 mg/L. Nilai yang didapatkan untuk amonia total pada pewarna sintetis yaitu 1,43 mg/L.

Sedangkan pada pewarna alami sebesar 1,23 mg/L. Nilai tersebut menunjukkan untuk kedua jenis limbah tersebut masih dibawah baku mutu yang ditetapkan.

Baku mutu dari parameter Sulfida yaitu 0,3 mg/L. Pada pewarna sintetis nilai yang tercatat yaitu 2,11 mg/L dan pewarna alami yaitu 10,2 mg/L. Kedua limbah tersebut melebihi ambang batas baku mutu. Konsentrasi sulfida tinggi dari zat pewarnaan pada proses pencucian kain. Kegunaan dari sulfida yaitu meningkatkan pewarnaan pada batik (Diyah *et al.*, 2023).

Baku mutu pada minyak dan lemak total adalah 5 mg/L. Hasil uji pada pewarna sintetis adalah 33,6 mg/L sedangkan pewarna alami sangat tinggi yakni 218 mg/L. Keduanya juga melebihi baku mutu yang ditetapkan. Tingginya nilai minyak dan lemak total berasal dari malam atau lilin yang larut saat proses nglorod. Hal ini dikarenakan tidak adanya proses penyaringan untuk menangkap minyak dan lemak total (Diyah *et al.*, 2023).

Untuk batas perubahan suhu yang diperbolehkan yaitu $\pm 3^{\circ}\text{C}$ terhadap suhu udara. Kedua sampel limbah memiliki suhu yaitu 28°C . Selain itu untuk rentang pH yang diperbolehkan adalah antara 6,0-9,0. Pewarna sintetis memiliki nilai pH yaitu 9 dan pewarna alami memiliki nilai pH yaitu 7. Kedua limbah tersebut masih berada pada rentang yang diperbolehkan.

4.3 Pengujian Toksisitas

4.3.1 Aklimatisasi Hewan Uji

Aklimatisasi *Daphnia* sp. membutuhkan waktu selama 7 hari sebelum dilakukan uji toksisitas. Media aklimatisasi menggunakan air keran yang telah diaerasi selama 3 hari dan didiamkan selama 24 jam untuk memastikan kestabilan kualitas air. Aklimatisasi dilakukan dalam empat buah akuarium berukuran 30x30x30 cm. Selama aklimatisasi, parameter kualitas air seperti pH, DO, dan suhu dipantau secara berkala untuk menjaga kondisi lingkungan yang optimal bagi *Daphnia* sp. Berikut hasil pemantauan parameter kualitas air di hari pertama dan di hari terakhir.

Tabel 4. 2 Pengukuran Parameter Kualitas Air

Pengukuran Parameter				
Akuarium	Hari ke	Ph	Suhu	DO
1	1	8,36	25,5	9,62
	7	8,3	25,4	7,57
2	1	8,33	25,6	9,24
	7	8,29	25,5	7,52
3	1	8,38	25,4	9,13
	7	8,28	25,4	7,58
4	1	8,38	25,5	9,11
	7	8,33	25,4	7,67

Pada parameter pH, nilai optimal awal media berkisar antara 7,0 hingga 8,0, tetapi bisa meningkat 0,5 setelah pengujian sedang berlangsung (EPA, 2002). Namun, selama proses pengujian, nilai pH mengalami fluktuasi. pH tertinggi tercatat sebesar 8,38 di akuarium 3 dan 4 pada hari pertama. Sementara itu, nilai pH terendah tercatat pada akuarium 3 pada hari ketujuh, yakni sebesar 8,28. Penurunan pH yang terjadi secara konsisten di setiap akuarium dapat disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme dan sisa pakan dalam media. Aktivitas tersebut berkontribusi terhadap peningkatan produksi karbon dioksida (CO_2), yang kemudian larut dalam air dan membentuk asam karbonat (H_2CO_3), sehingga menyebabkan terjadinya penurunan pH.

Pada parameter suhu, suhu optimal untuk aklimatisasi mendekati 20°C atau suhu ruang (EPA, 2002). Selama masa aklimatisasi suhu pada setiap akuarium berada pada rentang $25,4^\circ\text{C}$ - $25,6^\circ\text{C}$ yang masih berada dalam rentang toleransi yang dapat diterima oleh *Daphnia* sp. Namun, pada akuarium 1, 2, dan 3 tercatat adanya penurunan suhu. Penurunan ini dapat disebabkan oleh faktor lingkungan, seperti variasi suhu ruangan atau dapat disebabkan kurangnya pencahayaan atau aerasi.

Pada parameter oksigen terlarut (DO), konsentrasi optimal agar *Daphnia* sp. dapat bertahan hidup minimal 3 mg/L (EPA, 2002). Selama masa aklimatisasi, konsentrasi DO tertinggi tercatat pada akuarium 1 di hari pertama yaitu 9,62 mg/L. Sementara itu, nilai DO terendah tercatat di akuarium 2 pada hari ke 7 yaitu 7,52 mg/L. Meskipun terjadi penurunan konsentrasi DO selama masa aklimatisasi, nilai tersebut masih berada dalam batas aman bagi kelangsungan hidup *Daphnia*. Penurunan konsentrasi DO ini dapat disebabkan oleh meningkatnya aktivitas

organisme, sisa pakan, serta kotoran yang tertimbun di dasar media. Bahan organik tersebut mengalami dekomposisi oleh mikroorganisme, yang dalam prosesnya menggunakan oksigen, sehingga menyebabkan terjadinya penurunan kadar DO. Selain itu dapat disebabkan kurangnya aerasi pada media.

4.3.2 Uji Pendahuluan

Pengujian ini dilakukan guna menetapkan rentang konsentrasi pengenceran yang sesuai sebelum dilakukannya pengujian toksisitas. Konsentrasi yang digunakan merujuk pada standar yang ditetapkan oleh USEPA (2002) yaitu 100%, 50%, 25%, 12,5%, 6,25% dan 0% (sebagai kontrol) (Edwin et al., 2017). Pemilihan rentang konsentrasi ini didasarkan pada nilai faktor pengenceran $\geq 0,5$ yang digunakan untuk memperkirakan ambang toksisitas dari limbah terhadap organisme uji. Apabila dalam waktu 1-2 jam setelah paparan terjadi kematian total (100%) pada konsentrasi tinggi yaitu 100% dan 50%, maka perlu penambahan konsentrasi. Hal ini dilakukan bertujuan agar uji selanjutnya dapat mencakup rentang dosis yang lebih akurat untuk menghitung LC_{50} . Pada uji pendahuluan, jumlah hewan uji yang digunakan sebanyak 7 *Daphnia* sp.

Berikut merupakan data pengamatan kematian menggunakan sampel limbah pewarna sintetis pada uji pendahuluan:

Tabel 4. 3 Jumlah Kematian Uji Pendahuluan Pewarna Sintetis

UJI PENDAHULUAN					
PEWARNA SINTETIS					
Konsentrasi %	Jumlah Kematian				
	0	30 menit	1 jam	2 jam	24 jam
100%	0	0	3	3	5
50%	0	0	0	0	5
25%	0	0	0	0	5
12,50%	0	0	0	0	4
6,25%	0	0	0	0	3
0%	0	0	0	0	0

Berdasarkan grafik pada tabel 4.3, untuk uji pendahuluan yang dilakukan terhadap *Daphnia* sp. dengan menggunakan sampel limbah pewarna sintetis dalam berbagai konsentrasi, terlihat bahwa peningkatan konsentrasi berbanding lurus

dengan meningkatnya jumlah kematian *Daphnia* sp. Pengamatan dilakukan secara berkala selama 24 jam pada menit ke-30, jam ke-1, ke-2, dan ke-24.

Pada konsentrasi 100%, kematian mulai terjadi pada jam ke-1 dengan 3 ekor *Daphnia* mati, diikuti dengan tambahan 2 ekor pada jam ke -24 sehingga total kematian mencapai 5 ekor selama 24 jam. Kondisi serupa juga terjadi pada konsentrasi 50% dan 25%, namun kematian baru terlihat setelah 24 jam pengamatan dengan total kematian masing-masing 5 ekor. Hal ini membuktikan bahwa pada konsentrasi 50% dan 25% memiliki efek toksik terhadap *Daphnia* meskipun dampaknya tidak secepat konsentrasi 100% dan waktu respon yang bervariasi.

Pada konsentrasi 12,5% sebanyak 4 ekor *Daphnia* mengalami kematian dan pada konsentrasi 6,25% tercatat 3 ekor *Daphnia* mati. Kedua konsentrasi tersebut juga baru menunjukkan kematian pada akhir waktu pengamatan (24 jam). Sementara itu pada konsentrasi 0% (kontrol) tidak ditemukan kematian sama sekali hingga ke jam-24. Hal ini menandakan bahwa kondisi media uji tanpa adanya zat limbah pewarna sintetis tidak menyebabkan efek toksik terhadap *Daphnia*.

Selama pengujian berlangsung, dilakukan pengamatan secara visual. Pada setiap konsentrasi dengan seiring bertambahnya interval waktu pengamatan, dimana *Daphnia* terjadi perubahan perilaku yang dimana *Daphnia* kehilangan koordinasi gerak dengan menunjukkan pola geraknya melambat dan hanya antena saja yang bergerak hingga akhirnya terdapat *Daphnia* yang mengalami kematian.

Berdasarkan data tersebut, dapat dilihat bahwa kematian *Daphnia* terlihat dari konsentrasi terendah hingga tertinggi. Selain itu terdapat hubungan antara tingginya konsentrasi pada sampel limbah pewarna sintetis dengan tingkat dan kecepatan kematian *Daphnia*. Meningkatnya konsentrasi tidak hanya menyebabkan jumlah kematian hewan uji lebih banyak, tetapi juga menyebabkan kematian lebih cepat.

Rentang konsentrasi yang didapatkan untuk uji toksisitas sebagai batas bawah dan batas atas yaitu pada konsentrasi 0% hingga 12,5%, dengan faktor pengencerannya yaitu sebesar 0,5. Berdasarkan rentang tersebut, konsentrasi yang akan digunakan untuk uji toksisitas yaitu 6,25%, 3,1%, 1,6%, 0,8%, 0,4%, 0,2%,

0,1% dan 0% (sebagai kontrol). Berikut merupakan data pengukuran parameter sampel pewarna sintetis.

Tabel 4. 4 Data Parameter Uji Pendahuluan Pewarna Sintetis

UJI PENDAHULUAN						
PEWARNA SINTETIS						
Konsentrasi %	DO (mg/L)		pH		Suhu	
	0	24	0	24	0	24
100	1,98	0,71	9,64	8,6	26,2	25,9
50	3,9	2,35	9,38	8,74	26	26
25	3,95	2,43	8,91	8,73	26,3	26
12,5	3,98	2,5	8,56	8,5	26,2	25,9
6,25	4,01	3,34	8,69	8,65	26,5	26
0	4,14	4,11	8,26	8,08	26,4	26

Berdasarkan tabel 4.4 hasil pengukuran kualitas air untuk uji pendahuluan pewarna sintetis menunjukkan adanya perubahan nilai DO, pH, dan suhu selama 24 jam pengamatan pada berbagai konsentrasi. Pada konsentrasi tinggi 100% terjadi penurunan nilai DO dari 1,98 mg/L menjadi 0,71 mg/L. Hal ini menunjukkan keberadaan zat limbah pewarna sintetis pada konsentrasi tinggi dapat menurunkan kandungan oksigen. Hal serupa juga terjadi pada konsentrasi 50%, 25%, 12,5%, dan 6,25%, dimana terjadi penurunan nilai DO selama 24 jam. Sedangkan untuk konsentrasi 0% terjadi penurunan nilai DO namun relatif lebih kecil dibandingkan konsentrasi lainnya, hal ini dikarenakan pada konsentrasi 0% tidak adanya kandungan zat limbah pewarna sintetis. Selain itu untuk hasil pengukuran DO pada jam ke 24, konsentrasi 100% hingga 12,5% memiliki nilai DO kurang dari 3 mg/L sedangkan untuk nilai DO optimalnya minimal 3 mg/L.

Untuk parameter pH, hasil pengukuran menunjukkan adanya penurunan nilai pH setelah 24 jam pada semua konsentrasi. Namun untuk nilai pH hampir di semua konsentrasi memiliki nilai pH yang tinggi dan melebihi standar nilai optimalnya. Dimana nilai optimal untuk parameter pH yaitu 7,0-8,0 dan bisa meningkat 0,5 saat uji berlangsung (EPA, 2002). Untuk parameter suhu cenderung stabil di semua konsentrasi dengan rentang 25,9°C hingga 26,5°C. Secara keseluruhan, hasil pengamatan menunjukkan bahwa limbah pewarna sintetis pada konsentrasi tinggi cenderung menyebabkan penurunan nilai DO dan pH. Selain itu, nilai DO dan pH yang tercatat pada konsentrasi tinggi juga melebihi standar baku mutu. Kondisi ini

memperkuat hasil jumlah kematian sebelumnya, dimana konsentrasi tinggi sampel limbah pewarna sintetis menyebabkan kematian *Daphnia* lebih cepat dan jumlah kematiannya lebih banyak.

Berikut merupakan data kematian pada sampel limbah pewarna alami untuk uji pendahuluan:

Tabel 4. 5 Jumlah Kematian Uji Pendahuluan Pewarna Alami

UJI PENDAHULUAN					
PEWARNA ALAMI					
Konsentrasi %	Jumlah Kematian				
	0	30 menit	1 jam	2 jam	24 jam
100%	0	5	7	7	7
50%	0	0	7	7	7
25%	0	0	6	7	7
12,50%	0	0	4	7	7
6,25%	0	0	5	7	7
3,10%	0	0	4	7	7
1,60%	0	0	4	7	7
0,80%	0	0	4	5	7
0,40%	0	0	0	4	7
0,20%	0	0	0	3	7
0,10%	0	0	0	3	7
0,05%	0	0	0	3	7
0,03%	0	0	0	2	7
0,01%	0	0	0	2	7
0%	0	0	0	0	0

Uji dilakukan dengan menggunakan berbagai konsentrasi limbah pewarna alami dengan konsentrasi awal yaitu konsentrasi 100%, 50%, 25%, 12,5%, 6,25%, dan 0% (kontrol). Pengamatan dilakukan selama 24 jam dengan interval waktu 30 menit, 1 jam, 2 jam, dan 24 jam. Jumlah *Daphnia* yang digunakan untuk uji pendahuluan ini yaitu sebanyak 7 ekor.

Berdasarkan tabel 4.5 menunjukkan pada konsentrasi 100%, kematian mulai terlihat sejak 30 menit pertama yaitu sebanyak 5 ekor, kemudian meningkat menjadi 7 ekor pada 1 jam. Ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi tertinggi, limbah pewarna alami menyebabkan kematian *Daphnia* sangat cepat karena efek toksiknya yang tinggi. Konsentrasi 50% dan 25% juga menunjukkan kematian tinggi, dimana konsentrasi 50% kematian mencapai 7 ekor sejak jam pertama

pengamatan dan konsentrasi 25% kematian mencapai 6 ekor pada interval waktu 1 jam, bertambah 1 ekor kematian di interval waktu 2 jam. Hal ini menandakan bahwa limbah pewarna alami masih sangat toksik meskipun sudah dilakukan pengenceran setengah hingga seperempat dari larutan aslinya. Pada konsentrasi 12,5% mengalami kematian 4 ekor di jam pertama dan mengalami kematian total di jam ke dua. Hal ini juga terjadi pada konsentrasi 6,25% mengalami kematian total di jam ke dua.

Dikarenakan pada konsentrasi 100% dan 50% terjadi kematian total *Daphnia* pada 1 jam pertama, maka dilakukan penambahan variasi konsentrasi yang lebih rendah yaitu 3,1%, 1,6%, 0,8%, 0,4%, 0,2%, 0,1%, 0,05%, 0,025% dan 0,01%. Namun penambahan konsentrasi lebih rendah ini tetap menunjukkan efek toksik, dimana seluruh konsentrasi mulai dari 3,1% hingga konsentrasi 0,01% menyebabkan kematian total hingga interval waktu ke-24 jam. Sementara itu hanya pada konsentrasi 0% (kontrol) tidak ditemukan kematian selama pengamatan berlangsung. Hasil ini menunjukkan bahwa sampel limbah pewarna alami memiliki toksisitas yang tinggi terhadap *Daphnia* sp. bahkan pada konsentrasi yang sangat rendah.

Selama proses pengamatan secara visual, pada konsentrasi 100%, 50% dan 25% sulit untuk melihat pergerakan maupun keberadaan *Daphnia*, hal ini disebabkan oleh kondisi limbah memiliki kekeruhan yang tinggi. Selanjutnya untuk konsentrasi 12,5% hingga 0,01% mengalami pola aktivitas berenang yang semakin menurun atau lambat, hingga hanya antena yang masih bergerak. Pada akhir pengamatan pada interval waktu 24 jam dimana *Daphnia* mengalami kematian.

Berdasarkan (Scroggins & Taylor, 2007), untuk dilakukan perhitungan LC_{50} dan TU_a dianggap valid jika terdapat mortalitas sebagian pada salah satu atau lebih konsentrasi uji. Hal ini juga dijelaskan (Maier, 2010), bahwa perhitungan LC_{50} hanya dapat dianggap valid jika di lebih dua konsentrasi terdapat tingkat mortalitas parsial ($\geq 0\%$ atau $\leq 100\%$).

Dengan demikian, uji toksisitas tidak dapat dilakukan terhadap sampel limbah pewarna alami karena tidak memungkinkan untuk menentukan rentang konsentrasi yang tepat. Hal ini disebabkan oleh hingga pada konsentrasi 0,01%, seluruh *Daphnia* sudah mengalami kematian total dalam waktu 24 jam. Sehingga

ini juga membuktikan bahwa sampel limbah pewarna alami memiliki toksisitas yang sangat tinggi dibandingkan dengan sampel limbah pewarna sintetis.

Berikut merupakan data pengukuran parameter sampel pewarna alami.

Tabel 4. 6 Data Parameter Uji Pendahuluan Pewarna Alami

UJI PENDAHULUAN						
PEWARNA ALAMI						
Konsentrasi %	DO (mg/L)		pH		Suhu	
	0	24	0	24	0	24
100	2,84	0,78	8,41	8,34	26,5	25,8
50	4,1	1,54	8,5	8,41	26,5	25,9
25	3,74	1,76	8,64	8,54	26,4	25,9
12,5	4,25	2,65	8,94	8,86	26,2	25,9
6,25	3,76	2,98	8,41	8,35	26,3	25,7
3,1	4,43	3,01	8,24	8,13	26,4	25,8
1,6	4,59	3,17	8,26	8,22	25,1	25,7
0,8	4,5	3,21	8,38	8,33	25	25,9
0,4	4,3	3,28	8,28	8,21	26,4	26,3
0,2	4,66	3,38	8,41	8,36	26,1	26,3
0,1	4,11	3,94	8,5	8,41	26,2	26,3
0,05	4,22	4,15	8,51	8,43	26	26,3
0,025	4,35	4,22	8,64	8,39	26,5	26,4
0,01	4,38	4,28	8,56	8,39	26,5	26,3
0	5,11	5,07	8,4	8,33	26,3	26,5

Berdasarkan tabel 4.6 hasil pengukuran parameter DO, pH, dan suhu selama uji pendahuluan menggunakan limbah dengan pewarna alami menunjukkan adanya perubahan selama 24 jam pengamatan pada berbagai konsentrasi. Pada parameter DO, secara umum terlihat adanya penurunan nilai DO dari waktu 0 hingga 24 jam pada hampir semua konsentrasi. Dimana nilai DO terendah pada konsentrasi 100% sebesar 0,78 mg/ L pada interval waktu 24 jam. Jika dilihat standar optimalnya, pada interval waktu 24 jam konsentrasi 100%-6,25% tidak memenuhi standar untuk *Daphnia* bertahan hidup, dimana nilai optimalnya minimal 3 mg/L (EPA, 2002). DO tertinggi tercatat pada kontrol (0%) yaitu 5,07 mg/L pada jam ke 24.

Nilai pH menunjukkan penurunan dari interval waktu 0 hingga jam ke 24 di seluruh konsentrasi. Walaupun penurunan pH terjadi, di beberapa konsentrasi nilai pH tersebut masih tidak memenuhi standar optimal nilai pH. Nilai optimalnya berada pada antara 7,0-8,0 dan dapat meningkat 0,5 jika uji berlangsung (EPA,

2002). Untuk parameter suhu pada semua konsentrasi menunjukkan nilai yang relatif stabil, dengan nilai yang berada pada rentang 25°C-26,5°C.

Secara keseluruhan, data ini menunjukkan bahwa limbah pewarna alami juga dapat menurunkan kualitas air dengan menurunnya DO dan pH. Kematian *Daphnia* salah satu faktornya dapat dikarenakan menurunnya DO dan pH. Terbukti dengan hasil pengamatan sebelumnya, dimana seluruh konsentrasi limbah pewarna alami bahkan pada konsentrasi paling rendah (0,01%) dapat menyebabkan kematian total dalam waktu 24 jam. Hasil ini mengindikasikan bahwa limbah dengan pewarna alami menimbulkan efek toksik terhadap organisme akuatik khususnya *Daphnia* sp. Sebagai hewan uji.

4.3.3 Uji Toksisitas

Berdasarkan uji pendahuluan, rentang konsentrasi yang akan digunakan dalam uji toksisitas telah ditentukan, sehingga pengujian dapat dilanjutkan. Tujuan dari uji ini adalah mengukur dan mengetahui tingkat toksisitas suatu zat terhadap hewan uji. Pada penelitian ini, organisme uji yang digunakan yaitu *Daphnia* sp. sebanyak 7 ekor untuk setiap konsentrasi. Media uji yang digunakan berupa jar kaca. Setiap gelas diisi dengan larutan pada konsentrasi yang telah ditentukan, kemudian dimasukkan *Daphnia* sp. ke dalam masing-masing media untuk dilakukan pengamatan.

Tabel 4. 7 Jumlah Kematian Uji Toksisitas Pada Sampel Limbah Pewarna Sintetis

Jumlah Yang Mati					
Sampel Pewarna Sintetis					
Konsentrasi%	Jumlah Hewan Uji	24 Jam	48 Jam	72 Jam	96 Jam
6,25%	7	5	7	7	7
	7	3	6	6	6
	7	3	6	6	6
3,1%	7	2	4	4	4
	7	2	5	6	6
	7	4	5	6	6
1,6%	7	0	2	4	4
	7	1	3	5	5
	7	0	5	6	6
0,8%	7	0	2	3	4

Jumlah Yang Mati					
Sampel Pewarna Sintetis					
Konsentrasi%	Jumlah Hewan Uji	24 Jam	48 Jam	72 Jam	96 Jam
	7	0	3	4	4
	7	2	4	4	4
0,4%	7	0	2	3	3
	7	0	2	4	4
	7	1	2	3	3
0,2%	7	0	2	3	3
	7	1	1	3	3
	7	0	3	3	3
0,1%	7	0	1	2	2
	7	1	1	1	2
	7	0	1	1	2
0%	7	0	0	0	0
	7	0	0	0	1
	7	0	0	0	1

Uji toksisitas dilakukan secara triplo atau tiga kali pengulangan untuk setiap konsentrasi, dengan tujuan meningkatkan validitas terhadap data yang diperoleh. Pengamatan dilakukan secara berkala pada jam ke-24, 48, 72, dan 96. Berdasarkan hasil uji pendahuluan, rentang konsentrasi untuk uji toksisitas terhadap sampel limbah pewarna sintetis ditetapkan berdasarkan faktor pengenceran 0,5 yaitu 6,25%, 3,1%, 1,6%, 0,8%, 0,4%, 0,2%, 0,1%, serta 0% sebagai kontrol. Pemilihan konsentrasi ini bertujuan untuk mencakup rentang dosis dari yang tidak menimbulkan efek toksik hingga yang menyebabkan kematian, sehingga memungkinkan untuk dilakukan analisis nilai LC_{50} secara lebih akurat.

Berdasarkan tabel 4.7, hasil uji toksisitas sampel limbah pewarna sintetis menunjukkan adanya peningkatan jumlah kematian seiring dengan meningkatnya konsentrasi dan lamanya waktu paparan. Pada konsentrasi tertinggi yaitu 6,25%, tingkat kematian *Daphnia* tergolong tinggi sejak 24 jam pertama. Pada pengulangan pertama, tercatat sebanyak 5 ekor, sedangkan pada pengulangan kedua dan ketiga masing-masing sebanyak 3 ekor. Jumlah kematian terus meningkat hingga mencapai kematian total pada pengulangan pertama (7 ekor) di jam ke 48, sedangkan pada pengulangan kedua dan ketiga, jumlah kematian mencapai 6 ekor

dan tetap bertahan hingga 96 jam. Hasil ini menunjukkan dengan konsentrasi 6,25%, zat pewarna sintetis memberikan efek toksik yang tinggi dan relatif cepat terhadap *Daphnia* sp.

Pada konsentrasi 3,1% kematian mulai terjadi pada 24 jam pertama dengan jumlah kematian masing-masing sebanyak 2 ekor pada pengulangan pertama dan kedua, serta 4 ekor pada pengulangan ketiga. Pada pengamatan selanjutnya hingga 96 jam, total kematian pada pengulangan pertama tercatat sebanyak 4 ekor, sementara pada pengulangan kedua dan ketiga meningkat menjadi 6 ekor. Meskipun efek toksik pada konsentrasi ini tidak secepat konsentrasi 6,25%, namun hasil ini menunjukkan bahwa konsentrasi 3,1% tetap memberikan dampak terhadap kematian *Daphnia* sp.

Pada konsentrasi 1,6%, terlihat adanya variasi tingkat kematian antar pengulangan. Pada pengamatan 24 jam pertama, tidak terjadi kematian pada pengulangan kesatu dan ketiga, namun tercatat satu ekor *Daphnia* mati pada pengulangan kedua. Jumlah kematian terus meningkat seiring waktu, pada interval waktu 96 jam, jumlah kematian mencapai 4 ekor pada pengulangan pertama, 5 ekor pada pengulangan kedua, dan 5 ekor pada pengulangan ketiga. Pada konsentrasi 0,8%, kematian mulai terlihat pada pengulangan ketiga di jam ke 24 dengan jumlah dua ekor, sedangkan pada pengulangan pertama dan kedua tidak terjadi kematian. Namun pada interval ke 96 jam, ketiga pengulangan menunjukkan tingkat kematian yang sama, yaitu masing-masing sebanyak 4 ekor.

Pada konsentrasi 0,4%, jumlah kematian yang tercatat hingga interval waktu ke 96 adalah 3 ekor pada pengulangan pertama dan ketiga, serta 4 ekor pada pengulangan kedua. Sementara itu pada konsentrasi 0,2% seluruh pengulangan menunjukkan angka kematian yang sama pada interval waktu 96 jam yaitu sebanyak 3 ekor. Untuk konsentrasi 0,1%, angka kematian *Daphnia* relatif lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi sebelumnya (6,25%-0,2%). Dimana pada interval waktu 96 jam, ketiga pengulangan menunjukkan kematian yang sama, yaitu sebanyak 2 ekor. Ini mengindikasikan bahwa pada konsentrasi ini, limbah pewarna sintetis masih memiliki efek toksik, namun dengan intensitas yang lebih ringan.

Sementara itu, pada konsentrasi 0% (kontrol), kematian yang terjadi sangat rendah. Pada pengamatan 96 jam, pengulangan pertama tidak menunjukkan

kematian sama sekali, sementara pada pengulangan kedua dan ketiga tercatat masing-masing satu ekor yang mati. Hal ini menunjukkan bahwa media uji tanpa penambahan sampel limbah pewarna sintetis tidak menyebabkan efek toksik terhadap *Daphnia* sp. Adapun kematian yang terjadi pada kontrol kemungkinan disebabkan oleh faktor non-kimia, seperti stres saat pemindahan *Daphnia* dari akuarium aklimatisasi ke dalam media uji, atau kemungkinan adanya kontaminasi pada media uji.

Selama pengujian toksisitas, dilakukan pengamatan secara visual terkait perbedaan perilaku pada *Daphnia*. Pengamatan menunjukkan bahwa aktivitas renang seiring bertambahnya interval waktu, aktivitas tersebut semakin menurun. *Daphnia* mulai kehilangan koordinasi gerak, dimana *Daphnia* bergerak lambat dan berputar. Hal ini mengindikasikan *Daphnia* terpapar oleh zat kimia yang terkandung pada limbah pewarna sintetis sehingga memicu terjadinya stress. Selain itu seiring waktu, *Daphnia* mulai tidak bergerak (hanya antena saja yang bergerak) dan akhirnya ada yang mengalami kematian. Hal ini sejalan dengan penelitian (Bownik, 2017), dimana pengamatan yang dilakukan dengan hewan uji *Daphnia* yang dipaparkan dengan zat-zat kimia, menjelaskan bahwa terjadinya pola gerakan berputar yang menunjukkan hilangnya kontrol keseimbangan tubuh dan menunjukkan respon yang melarikan diri terus menerus. Mengindikasikan bahwa perilaku tersebut terjadinya stres pada *Daphnia*.

Pada uji parameter kimia, pengamatan kualitas air dari pengulangan 1 memiliki rentang yaitu DO = 3,61 mg/L-5,39 mg/L, pH = 8,31- 8,58, dan suhu = 25,4°C-25,6,7°C. Untuk pengulangan 2 memiliki rentang DO = 3,51 mg/L-4,72 mg/L, pH = 8,31-8,66, dan suhu = 25,4°C-26,2°C. Untuk pengulangan 3 memiliki rentang yaitu DO = 3,97 mg/L-4,47 mg/L, pH = 8,16-9,52, dan suhu = 25,4°C-26,3°C.

Tabel 4. 8 Rata Rata Mortalitas Uji Toksisitas Pada Sampel Limbah Pewarna Sintetis

Rata Rata Mortalitas							
Sampel Pewarna Sintetis							
Konsentrasi %	Jumlah Hewan Uji	24 Jam	48 Jam	72 Jam	96 Jam	Total Mortalitas	Persentase Mortalitas ke 48 Jam
6,25%	7	4	6	6	6	22	90%
3,1%	7	3	5	5	5	18	67%
1,6%	7	0	3	5	5	13	48%
0,8%	7	1	3	4	4	12	43%
0,4%	7	0	2	3	3	8	29%
0,2%	7	0	2	3	3	8	29%
0,1%	7	0	1	1	2	4	14%
0%	7	0	0	0	1	1	0%

Untuk menentukan metode yang digunakan dalam perhitungan nilai LC_{50} , langkah awal yang perlu dilakukan adalah menghitung rata-rata mortalitas pada setiap konsentrasi. Hal ini dikarenakan uji toksisitas dilakukan secara triplo (tiga kali pengulangan). Berdasarkan data persentase kematian yang diperoleh dari berbagai konsentrasi, dapat disimpulkan bahwa kematian terjadi secara konsisten meningkat pada >2 konsentrasi. Dimana semakin tinggi konsentrasi, semakin besar tingkat mortalitasnya. Dengan demikian, metode Probit dipilih sebagai pendekatan yang sesuai untuk menghitung nilai dalam LC_{50} penelitian ini.

4.3.4 *Lethal Concentration (LC_{50})*

LC_{50} (*Lethal Concentration 50%*) adalah parameter penting dalam toksikologi yang menggambarkan konsentrasi suatu zat atau limbah dalam air yang dapat membunuh setengah dari populasi hewan uji dalam waktu yang ditentukan. Nilai LC_{50} digunakan sebagai indikator untuk mengevaluasi seberapa toksik suatu zat terhadap organisme, serta menjadi acuan penting dalam evaluasi resiko lingkungan. Khususnya terhadap pencemaran yang berasal dari limbah cair. Dalam penelitian ini, perhitungan LC_{50} untuk sampel limbah pewarna sintetis dilakukan menggunakan metode probit. Perhitungan probit dapat dilakukan dengan bantuan Microsoft Excel, yaitu dengan menghitung persentase mortalitas pada setiap

konsentrasi, kemudian mengonversinya menjadi nilai probit menggunakan tabel probit. Setelah itu mencari nilai regresi linear dengan persamaan $Y=aX + b$. Berikut merupakan hasil nilai perhitungan LC_{50} pada sampel limbah pewarna sintetis.

Tabel 4. 9 Nilai Perhitungan LC_{50}

Sampel Limbah Pewarna Sintetis	
Contoh Uji	LC_{50}
Jam ke 48	4,45

Berdasarkan tabel 4.9, nilai LC_{50} sampel limbah pewarna sintetis sebesar 4,45. Hasil ini jika dibandingkan dengan beberapa penelitian terdahulu menunjukkan adanya perbedaan. Penelitian yang dilakukan oleh (Dindasari, 2018) mengenai uji toksisitas akut limbah industri batik terhadap ikan nila menunjukkan bahwa LC_{50} pada *influent* sebesar 18,4, sedangkan pada *effluent* hasil pengolahan reaktor anaerob-aerob, LC_{50} meningkat menjadi 85,507, yang menandakan adanya penurunan tingkat toksisitas limbah setelah melalui proses pengolahan.

Penelitian lain oleh (Riskiyani, 2024) menunjukkan bahwa pada *influent* limbah cair industri batik, nilai LC_{50} sebesar 85,35, sementara pada *effluent* tidak ditemukan nilai LC_{50} karena tidak terjadi kematian pada ikan zebra selama pengujian berlangsung. Ini menunjukkan bahwa limbah yang diuji tergolong aman bagi hewan uji. Sementara itu, (Pangestuti *et al.*, 2018) dalam penelitiannya menyatakan bahwa nilai LC_{50} 96 jam pada *influent* sebesar 0,861. Sedangkan pada *effluent*, hasil analisis didapatkan perkiraan nilai LC_{50} 96 jam sebesar 90.

Jika dibandingkan dengan nilai LC_{50} yang didapat yaitu 4,45 dari penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa sampel limbah pewarna sintetis yang diuji tergolong memiliki toksisitas yang lebih tinggi dibandingkan hasil-hasil penelitian terdahulu, khususnya penelitian dari (Dindasari, 2018) dan (Riskiyani, 2024). Terutama pada uji *influent* dan *effluent* dari industri batik yang telah melewati proses pengolahan. Rendahnya nilai LC_{50} dalam penelitian ini mengindikasikan bahwa limbah pewarna sintetis memiliki efek toksik tinggi terhadap hewan uji meskipun pada konsentrasi rendah.

4.3.5 Toxicity Unit Acute (TUa)

Berdasarkan hasil LC_{50} pada sampel limbah pewarna sintetis yang telah didapatkan sebesar 4,45, selanjutnya yaitu menghitung nilai Toxicity Unit Acute (TUa). Perhitungan TUa bertujuan untuk mengukur tingkat toksisitas pada suatu sampel atau membandingkan toksisitas antar sampel. Apabila nilai LC_{50} yang diperoleh rendah, maka nilai TUa yang akan didapatkan tinggi. Sebaliknya, semakin tinggi nilai LC_{50} , maka nilai TUa yang didapatkan lebih rendah.

Tabel 4. 10 Nilai Tua Sampel Limbah Pewarna Sintetis

Sampel Limbah Pewarna Sintetis Jam ke 48			
TUa	Class	Tingkat Toksisitas	Test Score
22,5	Class III	<i>High Acute Toxicity</i>	3

Berdasarkan tabel 4.10 nilai Tua yang didapatkan untuk sampel limbah pewarna alami pada jam ke 48 sebesar 22,5. Nilai tersebut masuk pada kategori *High Acute Toxicity* dan masuk pada kelas ke 3. Terdapat perbedaan hasil Tua dari beberapa penelitian. Berdasarkan penelitian (Dindasari, 2018) nilai Tua yang didapat dari sampel influent sebesar 54,22 dengan kategorinya *High Acute Toxicity Level*. Sedangkan pada sampel *effluent* setelah pengolahan menggunakan kombinasi anaerob-aerob memiliki nilai Tua 1,17 dan berada pada kategori *Significant Acute Toxicity Level*. Dimana hasil tersebut menunjukkan adanya penurunan dari sampel *influent* ke sampel *effluent*, dimana tingkat toksisitas setelah dilakukan pengolahan menjadi rendah. Selain itu, penelitian lain dari (Riskiyani, 2024), nilai Tua pada *influent* didapatkan sebesar 1,17 dan masuk pada kategori non-toksik. Berdasarkan penelitian (Pangestuti *et al.*, 2018), *influent* pada paparan 96 jam dikategorikan sebagai *Very High Acute Toxicity* dengan nilai Tua 116,114. Sementara pada *effluent* masuk dalam kategori *Acute Toxicity* dengan TUa 1,1. Dari hasil tersebut, menjelaskan bahwa tingkat toksisitas dari limbah *influent* ke *effluent* terjadi penurunan.

Perbedaan nilai TUa baik penelitian yang dilakukan atau penelitian terdahulu dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti perbedaan jenis limbah, hewan uji yang digunakan, waktu paparan yang digunakan untuk menghitung nilai TUa, dan variasi konsentrasi pengujian. Selain itu, pada sampel pewarna alami tidak dapat dilakukan perhitungan LC_{50} dan TUa. Hal ini disebabkan, pada sampel

pewarna alami untuk uji pendahuluan mengalami kematian total (100%) *Daphnia* pada seluruh konsentrasi hingga konsentrasi terendah yaitu 0,01% dalam waktu 24 jam. Sehingga, sampel tersebut tidak memungkinkan untuk dilanjutkan pada uji toksisitas.

4.4 Pengaruh Kualitas Air Limbah Industri Batik Terhadap Tingkat Toksisitas Uji

Hasil pengujian untuk parameter fisik dan kimia, tercatat beberapa parameter memiliki konsentrasi yang melebihi ketentuan baku mutu diantaranya ada parameter BOD memiliki baku mutu yaitu 85 mg/L dan COD 250 mg/L. Kedua limbah yang diuji yang berasal dari pewarna sintetis maupun alami sama-sama tidak memenuhi baku mutu. Tingginya nilai BOD dan COD menyebabkan sulit terurainya bahan organik maupun anorganik baik itu secara kimiawi atau biologis. Hal ini dapat menjadi salah faktor terjadinya penurunan kadar oksigen terlarut (DO). Dikarenakan proses dekomposisi pada bahan organik atau anorganik membutuhkan DO dalam jumlah banyak (Womsiwor & Rossmi, 2009). Pada uji toksisitas, nilai DO untuk keberlangsungan hidup *Daphnia* minimal 3 mg/L (EPA, 2002). Ketika nilai DO dibawah dari 3 mg/L, maka dapat berdampak negatif terhadap kelangsungan hidup *Daphnia*. Hal ini dikarenakan akan mempengaruhi *Daphnia* dalam menyaring makanan.(Womsiwor & Rossmi, 2009). Sehingga menunjukkan bahwa kematian *Daphnia* berbanding lurus dengan tingginya nilai BOD dan COD. Semakin tinggi konsentrasi BOD dan COD pada limbah pewarna alami maupun sintetis, maka memungkinkan semakin tinggi tingkat toksisitasnya yang dapat menyebabkan kematian *Daphnia*.

Baku mutu pada parameter TSS sebesar 60 mg/L. Dalam konsentrasi yang tinggi, parameter TSS dapat mempengaruhi kelangsungan hidup *Daphnia*, dimana peningkatan nilai TSS berbanding lurus dengan meningkatnya tingkat kematian organisme uji (Karil *et al.*, 2020). TSS yang tinggi dapat mengurangi penetrasi cahaya yang masuk, serta partikel yang tersuspensi dalam air dan menempel pada tubuh *Daphnia*, mengakibatkan terganggunya proses makan dan menghambat pergerakan *Daphnia*. Pada parameter TDS dengan baku mutu sebesar 2000 mg/L, jika dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan terganggunya fungsi fisiologis

seperti pernafasan, reproduksi dan pergerakan. serta menyebabkan gangguan stress pada *Daphnia*.

Krom memiliki nilai baku mutu sebesar 1 mg/L. Dari hasil penelitian ini, baik dari pewarna alami maupun sintetis sudah memenuhi baku mutu. Namun dalam $\mu\text{g/L}$, *Daphnia* dapat mengalami efek stress pada fungsi fisiologisnya (Lu *et al.*, 2017) Amonia Total (NH_3 sebagai N) memiliki nilai baku mutu sebesar 3 mg/L. Dari hasil uji parameter, kedua limbah dari pewarna alami dan sintetis memenuhi baku mutu. Jika nilai amonia total melebihi baku mutu dan dibuang ke perairan tanpa proses pengolahan, maka hal tersebut dapat meningkatkan toksisitas perairan dan membahayakan kelangsungan hidup organisme akuatik. Hal ini karena amonia dapat mengikat oksigen di dalam darah menjadi terganggu (Sabdono & Sari, 2016). Pada penelitian (Ruso *et al.*, 1985) nilai LC_{50} pada jam ke-48 jam untuk amonia terhadap *Daphnia* berada pada rentang 0,53-4,94 mg/L. Hal ini mengindikasikan bahwa *Daphnia* sangat sensitif terhadap amonia, selain itu dalam konsentrasi rendah juga dapat menyebabkan kematian pada *Daphnia*.

Pada parameter Sulfida, hasil penelitian yang dilakukan tidak memenuhi baku mutu, hal ini dapat menyebabkan organisme uji kekurangan oksigen. Hal ini dikarenakan senyawa Sulfida mengikat hemoglobin lebih kuat dibandingkan oksigen. Sehingga menjadi salah satu faktor terjadinya kematian pada hewan uji dan tingginya tingkat toksisitas. Pada parameter Fenol memiliki nilai baku mutu sebesar 0,5 mg/L. Berdasarkan hasil penelitian ini, limbah dengan pewarna sintetis melebihi batas baku mutu yang telah ditentukan. Berdasarkan penelitian (Lehun *et al.*, 2020), senyawa Fenol mudah larut dalam air dan memiliki volatilitas yang rendah, sehingga senyawa ini dapat terkumulasi pada organisme hidup melalui jaringan makanan.

Hasil dari Minyak dan Lemak Total yang didapatkan, kedua limbah pewarna tersebut melebihi baku mutu. Tingginya konsentrasi terhadap hewan uji, dapat menyebabkan terhambatnya pertukaran oksigen. Ini mengakibatkan konsentrasi DO menurun. Juga senyawa ini menghambat pergerakan hewan uji yang dapat menyebabkan stress dan berpotensi terjadinya kematian pada hewan uji. Terhambatnya pergerakan ini terjadi karena minyak dan lemak total bersifat tidak larut dalam air serta cenderung mengapung pada permukaan air limbah.

Pengaruh pH pada *Daphnia* sp. yaitu jika nilai pH terlalu tinggi maupun terlalu rendah dapat menyebabkan hewan uji tidak aktif hingga dapat menyebabkan kematian (Pamungkas, 2016). Sementara itu, pengaruh Suhu pada *Daphnia* sp. dapat mempengaruhi pertumbuhan, reproduksi hingga kematian pada organisme. ketika Suhu meningkat, kadar DO dalam air cenderung menurun. Sedangkan pada Suhu yang lebih rendah, kadar DO akan lebih tinggi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai Suhu berbanding terbalik dengan konsentrasi DO (Mubarak *et al.*, 2009).

Keterkaitan antara parameter fisik dan kimia yaitu, dimana persentase Amonia berbanding lurus dengan persentase suhu dan pH. Semakin tinggi persentase amonia, maka semakin tinggi juga persentase suhu dan pH. Amonia akan terionisasi jika nilai suhu $<$ atau $=7$, sedangkan amonia tidak terionisasi jika nilai suhu >7 . Amonia yang tidak terionisasi dapat menyebabkan tingginya sifat toksik (Bayu & Sugito, 2018). Nilai COD pada limbah batik dapat mempengaruhi nilai pH, Suhu dan TDS (Syuhadah & Rohasliney, 2021).

Parameter yang sangat mempengaruhi kematian *Daphnia* sp. dan tingkat toksisitas yaitu BOD, COD, Amonia, Krom, dan Fenol. Kondisi ini terjadi karena pertumbuhan dari mikroorganisme sangat bergantung pada keberadaan oksigen (Adrianto, 2018). Jika konsentrasi BOD dan COD tinggi dan melebihi baku mutu, oksigen menjadi semakin rendah dan menyebabkan kematian. Selain itu pada Amonia juga sangat mempengaruhi konsentrasi pada BOD (Bayu & Sugito, 2018). Menurut (Edwin *et al.*, 2017), pada parameter Krom didapatkan nilai LC_{50} dengan waktu paparan 24 jam terhadap *Daphnia* sebesar 0,008 mg/L. Konsentrasi ini jauh dibawah batas baku mutu yang ditentukan, namun parameter ini tergolong ke dalam kategori sangat toksik. Hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi rendah, kromium dapat menyebabkan kematian pada *Daphnia*. Untuk kelangsungan hidup mikroorganisme, Fenol dalam konsentrasi rendah juga dapat mengakibatkan kurangnya kadar DO. Hal ini dikarenakan Fenol bersifat korosif dan beracun (Ayuningtyas, 2020).

Semakin tinggi konsentrasi parameter pencemar pada limbah pewarna alami maupun sintetis, maka semakin tinggi pula tingkat toksisitasnya. Secara

keseluruhan, limbah pewarna berpotensi besar menyebabkan kematian *Daphnia* sp. dan mencemari lingkungan perairan jika tidak diolah dengan baik.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian pada penelitian ini terhadap limbah pewarna alami dan sintetis industri batik diperoleh kesimpulan:

1. Pada parameter uji kimia, terdapat beberapa parameter yang tidak memenuhi baku mutu. Pada limbah pewarna sintetis diantaranya BOD₅, COD, TSS, Fenol, Sulfida (Sebagai S), Minyak dan Lemak Total. Sedangkan pada limbah pewarna alami diantaranya BOD₅, COD, TDS, TSS, Sulfida (Sebagai S), Minyak dan Lemak Total.
2. Nilai LC₅₀ dengan waktu paparan 48 jam pada limbah pewarna sintetis yaitu 4,45 dengan nilai TUa sebesar 22,5. Sedangkan pada limbah pewarna alami tidak terdapat nilai LC₅₀, dikarenakan pada uji pendahuluan konsentrasi serendah 0,01%, seluruh *Daphnia* sp. sudah mengalami kematian total dalam waktu 24 jam.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengujian pada penelitian ini terhadap limbah pewarna alami dan sintetis industri batik, terdapat beberapa saran untuk penelitian kedepannya:

1. Diperlukan analisis lebih lanjut terkait uji toksisitas dengan hewan uji yang berbeda dan jumlah hewan uji yang lebih banyak pada limbah industri batik khususnya pada pewarna alami dan sintetis.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan pengenceran dua kali untuk sampel limbah pewarna alami agar nilai LC₅₀ dapat dihitung.
3. Untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan pengamatan terhadap perilaku hewan uji khususnya *Daphnia* sp. menggunakan mikroskop selama pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abaharis, H., Badri, J., Alfian, A., & Das, N. A. (2023). Inovasi Pewarnaan Alami Batik Tanah Liek Salingka Tabek Koto Baru Solok. *SWARNA: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2(6), 671–676. <https://doi.org/10.55681/swarna.v2i6.633>
- Adrianto, R. (2018). Pemantauan Jumlah Bakteri Coliform di Perairan Sungai Provinsi Lampung. *Majalah Teknologi Agro Industri (Tegi)*, 10(1).
- Alzain, H., Kalimugogo, V., & Hussein, K. (2023). A Review of Environmental Impact of Azo Dyes. *International Journal of Research and Review*, 10(6), 64–689. <https://doi.org/10.52403/ijrr.20230682>
- Amira, S. M., & Nursidah, S. Z. K. A. (2024). Uji Toksisitas Akut *Daphnia Sp.* Pada Pengolahan Limbah Laundry Dengan Metode Fermentasi EM4 Secara Aerob di Pesantren QSBS Al Kautsar 561.
- Ardila-Leal, L. D., Poutou-Piñales, R. A., Pedroza-Rodríguez, A. M., & Quevedo-Hidalgo, B. E. (2021). A Brief History of Colour, the Environmental Impact of Synthetic Dyes and Removal by Using Laccases. In *Molecules* (Vol. 26, Issue 13). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules26133813>
- Athariq, D., Permatasari, D., Ardiannsyah, D., Suciwati, P., & Zainarti. (2024). Analisis Proses Pembuatan Batik Guna Membentuk Karakter Dan Moral Budaya Para Karyawan Atau Pengrajin Di Sanggar Batik Liza Mangrove Desa Pematang Johar Deli Serdang. 1(2), 460–466. <https://doi.org/10.61722/jemba.v1i2.220>
- Athikoh, N., Gunawan, & Nur, M. (2021). Pengolahan Limbah Cair Tekstil Dengan Proses Oksidasi Menggunakan Ozon Gelembung Mikro.
- Ayuningtyas, E. (2020). Penurunan Kadar Warna dan Fenol Air Limbah Batik Menggunakan Metode Advanced Oxidation Processes (AOPs) Berbasis Ozon-GAC. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 20(2), 31.
- Bayu, & Sugito, S. (2018). Analisis Kadar Derajat Keasaman (pH) dan Amonia Terhadap Pengaruh pH Awal Pada Populasi Kladoseira (*Moina sp.*). *Buletin Teknik Litkayasa Akuakultur*, 16(1), 33–37. <http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/btla>

- Bownik, A. (2017). *Daphnia* swimming behaviour as a biomarker in toxicity assessment: A review. In *Science of the Total Environment* (Vols. 601–602, pp. 194–205). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.199>
- Caroline, J., Handriyono, R. E., Ximenes, S. S., Nilam, M., Institut, K., Adhi, T., & Surabaya, T. (2019). Analisis Tingkat Toksisitas Limbah Pewarnaan Jeans Menggunakan Ikan Nila (*Oreochromis Niloticus*). In *Journal of Research and Technology* (Vol. 5, Issue 2).
- Chapman, P. M. (2000). Whole effluent toxicity testing - Usefulness, level of protection, and risk assessment. In *Environmental Toxicology and Chemistry* (Vol. 19, Issue 1, pp. 3–13). SETAC Press. <https://doi.org/10.1002/etc.5620190102>
- Daud, N. M., Abdullah, S. R. S., Hasan, H. A., Ismail, N. I., & Dhokhikah, Y. (2022). Integrated Physical-Biological Treatment System For Batik Industry Wastewater: A Review On Process Selection. In *Science of the Total Environment* (Vol. 819). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.152931>
- Dewi, A., Pramiastuti, O., & Nurhidayati, L. G. (2024). Uji Toksisitas Ekstrak Etanol Temu Blenyeh (*Curcuma purpurascens* Blume) terhadap Ikan Zebra (*Danio rerio*). *Jurnal Ilmiah Medicamento*, 10(2), 149–157. <https://doi.org/10.36733/medicamento.v10i2.9483>
- Dindasari, N. (2018). *Uji Toksisitas Akut Limbah Industri Batik Kampung Batik Giriloyo Terhadap Ikan Nila (Oreochromis niloticus) Dengan Menggunakan Reaktor Anaerob-Aerob*.
- Diyah, N., Ratuannisa, T., Ekawati, E., Yulia, E., Purwasasmita, B. S., & Nugraha, A. B. (2023). Studi Pengolahan Air Limbah Batik pada Skala Industri Rumah Tangga dan Usaha Kecil Menengah di Cirebon, Indonesia. *Jurnal Dampak*, 20(1), 8. <https://doi.org/10.25077/dampak.20.1.8-15.2023>
- Edwin, T., Ihsan, T., & Pratiwi, W. (2017). *Uji Toksisitas Akut Logam Timbal (Pb), Krom (Cr) dan Kobalt (Co) Terhadap Daphnia*.
- EPA. (2002). *Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organisms Fifth Edition*.

- Fatehah, M. O., Hossain, S., & Teng, T. T. (2013). Semiconductor Wastewater Treatment Using Tapioca Starch as a Natural Coagulant. *Journal of Water Resource and Protection*, 05(11), 1018–1026.
<https://doi.org/10.4236/jwarp.2013.511107>
- Fatih, Y. N., Sudarmawan, A., & Ardana, G. N. S. (2022). Kajian Proses dan Nilai Estetik Batik Tulis di Rumah “Batik Rato WMS (Wirausaha Muda Sumenep)” Kabupaten Sumenep. *Jurnal Pendidikan Seni Rupa Undiksha*, 12(3), 199–219.
<https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/JJPSP/index>
- Febriyanti, C. P., & Winanti, Prof. Dr. E. T. (2019). *Efektifitas Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Sidoarjo Menjadi Air Bening Non-Konsumsi Menggunakan Integrasi Flocculation Coagulation dan Constructed Wetland*.
- Handayani, L. (2020). *Pengaruh Kandungan Deterjen Pada Limbah Rumah Tangga Terhadap Kelangsungan Hidup Udang Galah (Macrobracium Rosenbergii)*.
- Hariyanto, I. (2015). *Canting: Seni dan Teknologi dalam Proses Batik*.
- Hasan, O. D. S., & Kasmawijaya, A. (2021). Kajian Teknis Budidaya Pakan Alami *Daphnia* sp di Unit Hatchery dan Mina B Agribisnis Kota Bogor Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Penyuluhan Perikanan Dan Kelautan*, 15(1), 19–33.
<https://doi.org/10.33378/jppik.v15i1.235>
- Hatammimi, J., & Gunawan, A. A. (2023). *Sustainable Development of Batik Industry: A Literature Review*.
<https://doi.org/10.20944/preprints202307.0416.v1>
- Indrayani, L. (2019). Teknologi Pengolahan Limbah Cair Batik dengan IPAL BBKB Sebagai Salah Satu Alternatif Percontohan bagi Industri Batik. *Pengembangan Teknologi Kimia Untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*.
- Jumain, Syahrini, & Farif F.T. (2018). *Uji Toksisitas Akut dan LD50 Ekstrak Etanol Daun Kirinyuh (Euphatorium odoratum Linn) Pada Mencit (Mus musculus)* (Vol. 1).
- Karil, V. S., Elystia, S., & Priyambada, G. (2020). Uji Toksisitas Akut Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal X Kota Pekanbaru Menggunakan

- Daphnia Magna (Daphnia sp) Dengan Metode Whole Effluent Toxicity (WET). In *JOM*.
- Khair, A., & Noraida, N. (2023). Pengaruh Soda Ash dan Media Filter Sintetis Terhadap Kekeruhan dan pH Air. *An-Nadaa Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 10(2), 126. <https://doi.org/10.31602/ann.v10i2.13081>
- Khasanah, N. U., Fitriani, T. D., Andriani, R., Program, S., Biologi, F., Mipa, U., & Pgri, R. (2023). Uji Toksisitas Limbah Industri Batik Terhadap Perubahan Morfologi Insang Ikan Lele (*Clarias sp.*) (Vol. 1, Issue 2). <http://journal.unirow.ac.id/index.php/binar/index>
- Krewski, D., Acosta, D., Andersen, M., Anderson, H., Bailar, J. C., Boekelheide, K., Brent, R., Charnley, G., Cheung, V. G., Green, S., Kelsey, K. T., Kerkvliet, N. I., Li, A. A., McCray, L., Meyer, O., Patterson, R. D., Pennie, W., Scala, R. A., Solomon, G. M., ... Zeise, L. (2010). Toxicity testing in the 21st century: A vision and a strategy. In *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part B: Critical Reviews* (Vol. 13, Issues 2–4, pp. 51–138). <https://doi.org/10.1080/10937404.2010.483176>
- Kustiyaningsih, E., & Irawanto, R. (2020). Pengukuran Total Dissolved Solid (TDS) Dalam Fitoremediasi Deterjen Dengan Tumbuhan *Sagittaria lancifolia*. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 7(1), 143–148. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2020.007.1.18>
- Larasati, F. U., Aini, N., & Irianti, A. H. S. (2021). *Proses Pembuatan Batik Tulis Remekan di Kecamatan Ngantang*.
- Lehun, A. L., Noleto, R. B., Moda, D. B., & Krawczyk, A. C. de D. B. (2020). Effects of Phenol on *Astyanax Bifasciatus* and *Daphnia Magna*. *Oecologia Australis*, 24(3), 590–600. <https://doi.org/10.4257/oeco.2020.2403.05>
- Lestari, D., Kartika, R., & Marliana, E. (2019). Uji Brine Shrimp Lethality Test (BSLT) Umbi Bawang Tiwai (*Eleutherine bulbosa* (Mill.) Urb) dan Uji Toksisitas Akut Fraksi Aktif (Vol. 1, Issue 1).
- Lestari, N. T., & Syafii. (2019). Batik Wonogiren: Kajian Proses Pembuatan dan Motif di Sentra Batik TSP Wonigiri. *Eduarts: Journal of Arts Education*, 8(1). <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/eduart>

- Lu, G., Yang, H., Xia, J., Zong, Y., & Liu, J. (2017). Toxicity of Cu and Cr Nanoparticles to *Daphnia Magna*. *Water, Air, and Soil Pollution*, 228(1). <https://doi.org/10.1007/s11270-016-3206-3>
- Maghfiroh, Q., Zaharani, Y., & Putri, M. T. G. (2023). Seni Kerajinan Batik Tulis Lasem. *Prosiding Konferensi Berbahasa Indonesia Universitas Indraprasta PGRI*, 162–171. <https://doi.org/10.30998/kibar.27-10-2022.6310>
- Maier, P. (2010). *Fish Acute Toxicity Test: The number of animals can be reduced*. 43. www.forschung3r.ch
- Marsella, V. R., & Saleh, C. (2024). *Identifikasi Fitokimia, Potensi Aktivitas Antioksidan dan Toksisitas Daun Balakacida (Chromolaena odorata L.)*.
- Ma'tia, Lestari, H. D., & Wahyuni, S. (2024). Analisis Kualitas Produk Batik Dan Kualitas Layanan Terhadap Kepuasan Wisatawan di Kampung Batik Giriloyo Yogyakarta Dengan Importance Performance Analysis (IPA). *Jurnal Pengabdian Masyarakat: Pemberdayaan, Inovasi Dan Perubahan*, 4(3). <https://doi.org/10.59818/jpm.v4i3.707>
- Mubarak, A. S., Tias, D. T. R., & Sulmartiwi, L. (2009). Pemberian Dolomit Pada Kultur *Daphnia* Spp. Sistem Daily Feeding Pada Populasi *Daphnia* Spp. dan Kestabilan Kualitas Air. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 1(1).
- Murniati, T., Inayati, & Budastuti, MTh. S. (2015). *Pengelolaan Limbah Cair Industri Batik Dengan Menggunakan Metode Elektrolisis Sebagai Upaya Penurunan Tingkat Konsentrasi Logam Berat di Sungai Jenes, Laweyan, Surakarta*.
- Nugraha, F. M., Yulianto, A., & Rahmawati, S. (2018). *Studi Toksisitas Air Limbah Industri Penyamakan Kulit Terhadap Daphnia sp. dengan Metode Whole Effluent Toxicity (WET)*.
- Nurdin, M. A. F., & Amelia, M. (2024). *Proses Produksi Batik Pada Pondok Batik Kreasi Sukabumi*.
- O'brien, G. M., Poulson, H. D., Ela, J. P., Behnke, H. F., Thomas, C. L., Welter, J. W., Hassett, P. S., Fleming, K., Management, W., Coordinator, B., Hubbard, P., Area, W., Krause, N., Thon, S., & Area, C. (2004). *Aquatic Life Toxicity Testing Methods Manual*.

- Pamungkas, M. T. O. A. (2016). Studi Pencemaran Limbah Cair Dengan Parameter BOD5 dan pH di Pasar Ikan Tradisional dan Pasar Modern di Kota Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 4(2).
- Pangestuti, A. D., Juliani, A., & Wulandari, D. (2018). *Uji Toksisitas Akut Limbah Cair Kampung Batik Giriloyo Terhadap Ikan Mas (Cyprinus carpio) Dengan Menggunakan Reaktor Kombinasi Anaerob-Aerob*.
- Pangestuti, M. B., Utami, R. N., Suhartini, S., & Hidayat, N. (2021). Potensi Limbah Cair Batik sebagai Sumber Bioenergi (Studi Kasus di UKM Batik Blimbing Malang). *AgriTECH*, 41(4), 305. <https://doi.org/10.22146/agritech.54099>
- Pangkey, H. (2009). Daphnia dan Penggunaannya. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, 5(3), 33.
- Peraturan Daerah DIY No 7. (2016). *Baku Mutu Air Limbah*.
- Pratistita, M. W., Ratri, A. K., Selian, F. H., & Triadi, I. (2024). Penegakan Hukum Terhadap Pencemaran Limbah Pewarna Cair Industri Tekstil. *Terang : Jurnal Kajian Ilmu Sosial, Politik Dan Hukum*, 1(1), 265–275. <https://doi.org/10.62383/terang.v1i1.104>
- Prawoto, E. C., Wahyuni, D. R., Jannah, M., Agustin, C. I., & Diwangkara, S. (2019). *Pembuatan Batik Jumput Teknik Ikat Desa Grogol*. 3(1).
- Purwaningrum, S. I. (2024). Analisis Pengelolaan Air Limbah Industri Kecil Menengah (IKM) Batik Kabupaten Bojonegoro. *Jurnal Pembangunan Berkelanjutan*, 7(1), 24–34. <https://doi.org/10.22437/jpb.v7i1.33627>
- Ra, J. S., Kim, H. K., Chang, N. I., & Kim, S. D. (2007). Whole effluent toxicity (WET) tests on wastewater treatment plants with *Daphnia magna* and *Selenastrum capricornutum*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 129(1–3), 107–113. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9431-2>
- Rahayu, R., & Ismawati, R. (2025). Pengaruh Pencemaran Air Terhadap Gerakan Operkulum Ikan Nila. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 8(1), 61–74.
- Riskiyan, D. (2024). *Uji Toksisitas Limbah Cair Industri Batik Menggunakan Metode Whole Effluent Toxicity (WET) Menggunakan Zebra Fish (Danio Rerio)*.

- Ruso, R. C., Thurston, & Erickson, R. J. (1985). *Ambient Water Quality Criteria for Ammonia-1984*.
- Sabdono, A., & Sari, T. E. (2016). *Aplikasi Iptek Perikanan dan Kelautan Dalam Pengelolaan, Mitigasi Bencana dan Degradasi Wilayah Pesisir, Laut dan Pulau-Pulau Kecil*.
- Safamaura, R. S., & Afany, M. R. (2025). Pengaruh Limbah Cair Industri Batik Terhadap Kualitas Air Sungai Loji di Pekalongan. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 12(1), 153–158. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2025.012.1.15>
- Sari, A. N., Hidayati, S., & Mujtahidah, T. (2022). Pemanfaatan Pupuk Kandang Untuk Budidaya Daphnia sp. Sebagai Pakan Alami Ikan Lele (Clarias sp.). In *Jurnal KASTARA_Jurnal Pengabdian Masyarakat Jurnal KASTARA* (Vol. 2, Issue 2). <https://jurnal.untidar.ac.id/index.php/kastaraJl.KaptenSuparmanNo.39MagelangTelp>
- Scroggins, R., & Taylor, L. (2007). *Biological Test Method: Test of Reproduction and Survival Using the Cladoceran Ceriodaphnia dubia*.
- Seli, C. V., Leto, K. T., & Nisa, K. R. (2024). Pengaruh Penambahan Ampas Kopi Sebagai Adsorben Pada Limbah Cair Tenun Ikat. *Journal Innovation In Education*, 2(2), 01–07. <https://doi.org/10.59841/inoved.v2i2.1057>
- Setiyono, A., Gustaman, R. A., Kesehatan, J., Kesehatan, I., & Siliwangi, U. (2017). Pengendalian Kromium (Cr) yang Terdapat di Limbah Batik Dengan Metode Fitoremediasi. In *Unnes Journal of Public Health* (Vol. 6, Issue 3). <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ujph>
- Setyobudiarso, H., & Yuwono, E. (2014). *Rancang Bangun Alat Penjernih Air Limbah Cair Laundry Dengan Menggunakan Media Penyaring Kombinasi Pasir-Arang Aktif*.
- Shaharuddin, S. I., Shamsuddin, M. S., Drahman, M. H., Hasan, Z., Asri, N. A. M., Nordin, A. A., & Shaffiar, N. M. (2021). A Review on the Malaysian and Indonesian Batik Production, Challenges, and Innovations in the 21st Century. *SAGE Open*, 11(3), 1–19. <https://doi.org/10.1177/21582440211040128>

- Siswati, E., Maharani, W. M., Wiludjeng, F. A., & Ovelia, N. F. (2024). Proses Produksi “Batik Moedjair” di Rumah Batik Kandang Jaya. *Translitera : Jurnal Kajian Komunikasi Dan Studi Media*, 13(1), 15–27. <https://doi.org/10.35457/translitera.v13i1.3551>
- SNI-6989-72-2009. *Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokomia (Biochemical Oxygen Demand/BOD)*.
- SNI 6989.2-2019. *Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD) dengan Refluk Tertutup Secara Spektrofotometri*.
- SNI 6989.27-2019. *Cara Uji Padatan Terlarut Total (Total Dissolved Solids, TDS Secara Gravimetri)*.
- SNI 6989.3-2019. *Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solids/TSS) Secara Gravimetri*.
- SNI 6989.17-2009. *Cara Uji Krom Total (Cr-T) Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-Nyala*.
- SNI 6989.30-2005. *Cara Uji Kadar Amonia dengan Spektrofotometer Secara Fenat*.
- SNI 6989.70-2009. *Cara Uji Sulfida dengan Biru Metilen Secara Spektrofotometri*.
- SNI 6989.10-2011. *Cara Uji Minyak Nabati dan Minyak Mineral Secara Gravimetri*.
- SNI 06-6989.23-2005. *Cara Uji Suhu dengan Termometer*.
- SNI 6989.11-2019. *Cara Uji Derajat Keasaman (pH) dengan Menggunakan pH Meter*.
- Suprayogi, D., Hidayati, S. L., Ratodi, M., Fitri Ardilla, F., & Sunan Ampel, U. (2021). Analisis Uji Toksisitas Akut Logam Cu Terhadap *Artemia salina* dan *Daphnia magna*. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 7(1), 9–17. <http://jurnalsaintek.uinsby.ac.id/index.php/alard/index>
- Surtikanti, H. K., Juansah, R., & Frisda, D. (2017). Optimalisasi Kultur *Daphnia* yang Berperan Sebagai Hewan Uji Dalam Ekotoksikologi. *Jurnal Biodjati*, 2(2), 2017. <http://journal.uinsgd.ac.id/index.php/biodjati>
- Susanti, K., & Azhar, F. (2020). *Pengenalan Proses Membatik sebagai Upaya Pelestarian Batik Tulis*. 1(1), 97–106.
- Syuhadah, N., & Rohasliney. (2021). *A Preliminary Study on Batik Effluent in Kelantan State: A Water Quality Perspective*.

- Tjahjani, I. K., Febrianti, A. N., Pramana, Y. B., & Titisari, M. A. (2025). Analysis of Wastewater Quality of Jetis Batik, Sidoarjo. *Jurnal Serambi Engineering*, 10(2), 13149–13154.
- Vaajasaari, K. (2005). *Leaching and Ecotoxicity Tests as Methods for Classification and Assessment of Environmental Hazard of Solid Wastes*.
- Wibowo, P. A. W. (2019). Tradisi Turun-Temurun Pembuatan Batik Masyarakat Kampoeng Batik Laweyan Surakarta (Sebuah Tinjauan Budaya). *Journal of Language Education, Literature, and Local Culture*, 1(1).
- Womsiwor, I. I., & Rossmi, D. (2009). Analisis Toksisitas Akut Efluen Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri di Kota Cimahi. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 15(1), 29–37.
- Wulandari, W. S., & Winarsih. (2024). *Pengaruh Ekoenzim Berbagai Limbah Kulit Buah terhadap Penurunan Konsentrasi Surfaktan pada Air Limbah Laundry*. 13(1), 93–104. <https://journal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio/index>

LAMPIRAN

A. Uji Pendahuluan

Pengukuran kualitas air pada uji pendahuluan dilakukan selama 1 hari atau 24 jam.

1. Sampel Limbah Pewarna Alami

UJI PENDAHULUAN					
INDUSTRI BATIK PEWARNA ALAMI					
Tanggal-Bulan-Tahun	Waktu (jam)	Konsentrasi	Parameter		
			DO	pH	Suhu
14-Mar-25	0	100%	2,84	8,41	26,5
		50%	4,1	8,5	26,5
		25%	3,74	8,64	26,4
		12,5%	4,25	8,94	26,2
		6,25%	3,76	8,41	26,3
		3,1%	4,43	8,24	26,4
		1,6%	4,59	8,26	25,1
		0,8%	4,5	8,38	25
		0,4%	4,3	8,28	26,4
		0,2%	4,66	8,41	26,1
		0,1%	4,11	8,5	26,2
		0,05%	4,22	8,51	26
		0,03%	4,35	8,64	26,5
		0,01%	4,38	8,56	26,5
		0%	5,11	8,4	26,3

UJI PENDAHULUAN					
INDUSTRI BATIK PEWARNA ALAMI					
Tanggal-Bulan-Tahun	Waktu (jam)	Konsentrasi	Parameter		
			DO	pH	Suhu
15-Mar-25	24	100%	0,78	8,34	25,8
		50%	1,54	8,41	25,9
		25%	1,76	8,54	25,9
		12,5%	2,65	8,86	25,9
		6,25%	2,98	8,35	25,7
		3,1%	3,01	8,13	25,8
		1,6%	3,17	8,22	25,7
		0,8%	3,21	8,33	25,9
		0,4%	3,28	8,21	26,3
		0,2%	3,38	8,36	26,3

UJI PENDAHULUAN					
INDUSTRI BATIK PEWARNA ALAMI					
Tanggal-Bulan-Tahun	Waktu (jam)	Konsentrasi	Parameter		
			DO	pH	Suhu
		0,1%	3,94	8,41	26,3
		0,05%	4,15	8,43	26,3
		0,03%	4,22	8,39	26,4
		0,01%	4,28	8,39	26,3
		0%	5,07	8,33	26,5

2. Sampel Limbah Pewarna Sintetis

UJI PENDAHULUAN					
INDUSTRI BATIK PEWARNA SINTETIS					
Tanggal-Bulan-Tahun	Waktu (jam)	Konsentrasi	Parameter		
			DO	pH	Suhu
14-Mar-25	0	100%	1,98	9,64	26,2
		50%	3,9	9,38	26
		25%	3,95	8,91	26,3
		12,5%	3,98	8,56	26,2
		6,25%	4,01	8,69	26,5
		0%	4,14	8,26	26,4

UJI PENDAHULUAN					
INDUSTRI BATIK PEWARNA SINTETIS					
Tanggal-Bulan-Tahun	Waktu (jam)	Konsentrasi	Parameter		
			DO	pH	Suhu
15-Mar-25	24	100%	0,71	8,6	25,9
		50%	2,35	8,74	26
		25%	2,43	8,73	26
		12,5%	2,5	8,5	25,9
		6,25%	3,34	8,65	26
		0%	4,11	8,08	26

B. Uji Toksisitas

Pengukuran kualitas air pada uji toksisitas dilakukan selama 4 hari atau 96 jam.

1. Pengulangan 1 Sampel Limbah Pewarna Sintetis

UJI TOKSISITAS					
PENGULANGAN 1					
INDUSTRI BATIK PEWARNA SINTETIS					
Tanggal-Bulan-Tahun	Waktu (jam)	Konsentrasi	Parameter		
			DO	pH	Suhu
15-Mar-25	0	6,25%	3,82	8,62	26,3
		3,1%	4,1	8,53	26,3
		1,6%	4,22	8,49	26,2
		0,8%	4,22	8,49	26,2
		0,4%	4,46	8,44	26,2
		0,2%	3,83	8,27	26,7
		0,1%	4,59	8,31	26,8
		0%	5,02	8,44	26,3

UJI TOKSISITAS					
PENGULANGAN 1					
INDUSTRI BATIK PEWARNA SINTETIS					
Tanggal-Bulan-Tahun	Waktu (jam)	Konsentrasi	Parameter		
			DO	pH	Suhu
16-Mar-25	24	6,25%	3,63	8,36	26,3
		3,1%	3,61	8,37	26,2
		1,6%	4,44	8,4	26,1
		0,8%	4,02	8,38	26,1
		0,4%	4,42	8,37	26
		0,2%	4,15	8,34	25,9
		0,1%	4,4	8,35	25,9
		0%	5,39	8,34	26,3

UJI TOKSISITAS					
PENGULANGAN 1					
INDUSTRI BATIK PEWARNA SINTETIS					
Tanggal-Bulan-Tahun	Waktu (jam)	Konsentrasi	Parameter		
			DO	pH	Suhu
17-Mar-25	48	6,25%	3,92	8,49	25,9
		3,1%	3,96	8,5	25,7
		1,6%	3,98	8,57	25,7
		0,8%	3,8	8,44	25,7

UJI TOKSISITAS					
PENGULANGAN 1					
INDUSTRI BATIK PEWARNA SINTETIS					
Tanggal-Bulan-Tahun	Waktu (jam)	Konsentrasi	Parameter		
			DO	pH	Suhu
		0,4%	3,94	8,43	25,6
		0,2%	4,31	8,43	25,3
		0,1%	4,32	8,35	25,4
		0%	5,08	8,37	25,4

UJI TOKSISITAS					
PENGULANGAN 1					
INDUSTRI BATIK PEWARNA SINTETIS					
Tanggal-Bulan-Tahun	Waktu (jam)	Konsentrasi	Parameter		
			DO	pH	Suhu
		6,25%	3,89	8,53	26,1
		3,1%	3,9	8,5	26
		1,6%	3,95	8,48	26
		0,8%	3,93	8,44	26
		0,4%	4,04	8,39	25,9
		0,2%	4,33	8,43	25,8
		0,1%	4,16	8,37	25,8
		0%	4,32	8,31	25,4

UJI TOKSISITAS					
PENGULANGAN 1					
INDUSTRI BATIK PEWARNA SINTETIS					
Tanggal-Bulan-Tahun	Waktu (jam)	Konsentrasi	Parameter		
			DO	pH	Suhu
		6,25%	3,94	8,58	26
		3,1%	3,98	8,56	26
		1,6%	4,12	8,54	26
		0,8%	4,06	8,53	25,9
		0,4%	4,08	8,52	25,9
		0,2%	4,08	8,48	25,9
		0,1%	4,2	8,5	25,7
		0%	4,45	8,51	25,6

2. Pengulangan 2 Sampel Limbah Pewarna Sintetis

UJI TOKSISITAS					
PENGULANGAN 2					
INDUSTRI BATIK PEWARNA SINTETIS					
Tanggal-Bulan-Tahun	Waktu (jam)	Konsentrasi	Parameter		
			DO	pH	Suhu
15-Mar-25	0	6,25%	4,08	8,66	26,2
		3,1%	4,1	8,57	26,3
		1,6%	4,15	8,49	26,2
		0,8%	4,29	8,47	26,2
		0,4%	4,18	8,45	26,2
		0,2%	3,19	8,31	26,8
		0,1%	4,64	8,38	26,8
		0%	4,66	8,56	26,1

UJI TOKSISITAS					
PENGULANGAN 2					
INDUSTRI BATIK PEWARNA SINTETIS					
Tanggal-Bulan-Tahun	Waktu (jam)	Konsentrasi	Parameter		
			DO	pH	Suhu
16-Mar-25	24	6,25%	3,99	8,34	26,2
		3,1%	3,51	8,36	26,2
		1,6%	4,27	8,42	26,2
		0,8%	3,89	8,39	26,1
		0,4%	4,01	8,36	26,1
		0,2%	4,18	8,34	25,9
		0,1%	4,66	8,38	25,8
		0%	4,72	8,39	25,9

UJI TOKSISITAS					
PENGULANGAN 2					
INDUSTRI BATIK PEWARNA SINTETIS					
Tanggal-Bulan-Tahun	Waktu (jam)	Konsentrasi	Parameter		
			DO	pH	Suhu
17-Mar-25	48	6,25%	4,08	8,4	25,8
		3,1%	3,95	8,48	25,7
		1,6%	3,85	8,55	25,7
		0,8%	3,85	8,47	25,7
		0,4%	3,96	8,41	25,6
		0,2%	4,13	8,4	25,4
		0,1%	4,2	8,44	25,4
		0%	4,32	8,43	25,5

UJI TOKSISITAS					
PENGULANGAN 2					
INDUSTRI BATIK PEWARNA SINTETIS					
Tanggal-Bulan-Tahun	Waktu (jam)	Konsentrasi	Parameter		
			DO	pH	Suhu
18-Mar-25	72	6,25%	4,03	8,55	26,1
		3,1%	4,06	8,51	26
		1,6%	4,04	8,5	26
		0,8%	4,1	8,45	26
		0,4%	4,08	8,41	25,9
		0,2%	4,14	8,34	25,8
		0,1%	4,04	8,39	25,8
		0%	4,35	8,44	25,7

UJI TOKSISITAS					
PENGULANGAN 2					
INDUSTRI BATIK PEWARNA SINTETIS					
Tanggal-Bulan-Tahun	Waktu (jam)	Konsentrasi	Parameter		
			DO	pH	Suhu
19-Mar-25	96	6,25%	3,97	8,6	26
		3,1%	4,01	8,56	26
		1,6%	3,99	8,55	26
		0,8%	4,13	8,55	25,9
		0,4%	4,01	8,53	25,9
		0,2%	4,1	8,51	25,8
		0,1%	4	8,54	25,8
		0%	4,3	8,51	25,6

3. Pengulangan 3 Sampel Limbah Pewarna Sintetis

UJI TOKSISITAS					
PENGULANGAN 3					
INDUSTRI BATIK PEWARNA SINTETIS					
Tanggal-Bulan-Tahun	Waktu (jam)	Konsentrasi	Parameter		
			DO	pH	Suhu
15-Mar-25	0	6,25%	4,46	8,68	26,3
		3,1%	4,47	8,56	26,2
		1,6%	4,6	8,49	26,2
		0,8%	4,7	8,44	26,1
		0,4%	4,43	8,49	26,2
		0,2%	4,58	8,29	26,8
		0,1%	4,3	8,28	26,8
		0%	4,09	8,16	26,2

UJI TOKSISITAS					
PENGULANGAN 3					
INDUSTRI BATIK PEWARNA SINTETIS					
Tanggal-Bulan-Tahun	Waktu (jam)	Konsentrasi	Parameter		
			DO	pH	Suhu
16-Mar-25	24	6,25%	4,03	8,4	26,3
		3,1%	3,97	9,46	26,1
		1,6%	3,93	8,46	26,1
		0,8%	3,95	8,39	26,1
		0,4%	4,23	8,33	26,1
		0,2%	4,63	8,36	26
		0,1%	4,33	8,35	25,9
		0%	4,32	8,39	25,9

UJI TOKSISITAS					
PENGULANGAN 3					
INDUSTRI BATIK PEWARNA SINTETIS					
Tanggal-Bulan-Tahun	Waktu (jam)	Konsentrasi	Parameter		
			DO	pH	Suhu
17-Mar-25	48	6,25%	4,06	8,59	25,7
		3,1%	4,16	8,56	25,7
		1,6%	4,14	8,57	25,7
		0,8%	4,23	8,51	25,7
		0,4%	4,15	8,38	25,6
		0,2%	4,09	8,44	25,4
		0,1%	4,28	8,41	25,4
		0%	4,43	8,46	25,4

UJI TOKSISITAS					
PENGULANGAN 3					
INDUSTRI BATIK PEWARNA SINTETIS					
Tanggal-Bulan-Tahun	Waktu (jam)	Konsentrasi	Parameter		
			DO	pH	Suhu
18-Mar-25	72	6,25%	4,18	8,56	26
		3,1%	4,2	8,54	26
		1,6%	4,02	8,5	26
		0,8%	4,05	8,47	26
		0,4%	4,11	8,44	25,9
		0,2%	4,13	8,39	25,8
		0,1%	4,11	8,41	25,8
		0%	4,3	9,52	25,8

UJI TOKSISITAS					
PENGULANGAN 3					
INDUSTRI BATIK PEWARNA SINTETIS					
Tanggal-Bulan-Tahun	Waktu (jam)	Konsentrasi	Parameter		
			DO	pH	Suhu
19-Mar-25	96	6,25%	4,12	8,62	26
		3,1%	4,19	8,57	25,9
		1,6%	4,17	8,58	25,9
		0,8%	4,1	8,54	25,9
		0,4%	4,21	8,51	25,9
		0,2%	4,24	8,49	25,9
		0,1%	4,28	8,51	25,8
		0%	4,43	8,52	25,6

C. Perhitungan LC50 dan TUA
1. Waktu Paparan 24 Jam

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,309641951
R Square	0,095878138
Adjusted R Square	-0,054808839
Standard Error	1,554877636
Observations	8

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	1,538283226	1,538283226	0,636273551	0,455463801
Residual	6	14,50586677	2,417644462		
Total	7	16,04415			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	3,431224599	0,556442788	6,166356491	0,000835197	2,069658146	4,792791	2,069658	4,792791052
X Variable 1	0,782675312	0,981204881	0,797667569	0,455463801	-1,61824654	3,183597	-1,61825	3,183597165

$$Y = aX + b$$

Dimana:

Y = Nilai probit kematian hewan uji

X = Log konsentrasi

a = X variable 1

b = Intercept

Berikut merupakan hasil perhitungan dari nilai LC_{50} pada waktu paparan 24 jam.

Y	5
a	0,782675312
b	3,431224599
x	2,00437573
LC_{50}	101,01

$$TUa = 100/LC_{50}$$

Keterangan:

TUa = *Toxic Unit Acute*

LC_{50} = Nilai LC_{50}

Berikut merupakan hasil perhitungan dari nilai Tua pada waktu paparan 24 jam.

Tua	Class	Tingkat Toksisitas	Test Score
1,0	Class II	<i>Significant Acute Toxicity</i>	2

Sampel 24 jam					
K1	K2	K3	K4	K5	K6
Konsentras i (%)	Jumlah Hewan Uji	Kematian/Mor talitas	% Mortalitas (%)	Log Konsentras i	Pro bit
6,25	7	4	52	0,80	5,05
3,1	7	3	38	0,49	4,69
1,6	7	0	5	0,20	3,36
0,8	7	1	10	-0,10	3,72
0,4	7	0	5	-0,40	3,36
0,2	7	0	5	-0,70	3,36
0,1	7	0	5	-1,00	3,36
0	7	0	0	0,00	0

2. Waktu Paparan 48 jam

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,308698893
R Square	0,095295007
Adjusted R Square	-0,055489159
Standard Error	1,925610751
Observations	8

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	2,343426902	2,343426902	0,631996113	0,456910153
Residual	6	22,2478606	3,707976766		
Total	7	24,5912875			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	4,3735742	0,689116745	6,346637532	0,000716911	2,687366269	6,059782	2,687366	6,05978213
X Variable 1	0,96602683	1,215155859	0,794981832	0,456910153	-2,007352442	3,939406	-2,00735	3,939406103

$$Y = aX + b$$

Dimana:

Y = Nilai probit kematian hewan uji

X = Log konsentrasi

a = X variable 1

b = Intercept

Berikut merupakan hasil perhitungan dari nilai LC₅₀ pada waktu paparan 48 jam.

Y	5
a	0,96602683
b	4,3735742
x	0,648455903
LC₅₀	4,45

$$TUa = 100/LC_{50}$$

Keterangan:

TUa = *Toxic Unit Acute*

LC₅₀ = Nilai LC₅₀

Berikut merupakan hasil perhitungan dari nilai Tua pada waktu paparan 48 jam.

Tua	Class	Tingkat Toksisitas	Test Score
22,5	Class III	<i>High Acute Toxicity</i>	3

Sampel ke 48 Jam					
K1	K2	K3	K4	K5	K6
Konsentras i (%)	Jumlah Hewan Uji	Kematian/Mor talitas	% Mortalitas (%)	Log Konsentras i	Pro bit
6,25	7	6	90	0,80	6,28
3,1	7	5	67	0,49	5,44
1,6	7	3	48	0,20	4,95
0,8	7	3	43	-0,10	4,82
0,4	7	2	29	-0,40	4,45
0,2	7	2	29	-0,70	4,45
0,1	7	1	14	-1,00	3,92
0	7	0	0	0,00	0

3. Waktu Paparan 72 jam

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,26761641
R Square	0,071618543
Adjusted R Square	-0,0831117
Standard Error	2,032863824
Observations	8

<i>ANOVA</i>					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	1,912788046	1,912788046	0,462860664	0,521662354
Residual	6	24,79521195	4,132535326		
Total	7	26,708			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	4,636635058	0,727499315	6,373387528	0,000701049	2,856508363	6,416762	2,856508	6,416761752
X Variable 1	0,872764168	1,282837865	0,680338639	0,521662354	-2,266227008	4,011755	-2,26623	4,011755343

$$Y = aX + b$$

Dimana:

Y = Nilai probit kematian hewan uji

X = Log konsentrasi

a = X variable 1

b = Intercept

Berikut merupakan hasil perhitungan dari nilai LC_{50} pada waktu paparan 72 jam.

Y	5
a	0,872764168
b	4,636635058
x	0,416338062
LC50	2,61

$$TUa = 100/LC_{50}$$

Keterangan:

TUa = *Toxic Unit Acute*

LC_{50} = Nilai LC_{50}

Berikut merupakan hasil perhitungan dari nilai Tua pada waktu paparan 72 jam.

Tua	Class	Tingkat Toksisitas	Test Score
38,3	Class III	<i>High Acute Toxicity</i>	3

Sampel ke 72 Jam					
K1	K2	K3	K4	K5	K6
Konsentras i (%)	Jumlah Hewan Uji	Kematian/Mor talitas	% Mortalitas (%)	Log Konsentras i	Pro bit
6,25	7	6	90	0,80	6,28
3,1	7	5	76	0,49	5,71
1,6	7	5	71	0,20	5,55
0,8	7	4	52	-0,10	5,05
0,4	7	3	48	-0,40	4,95
0,2	7	3	43	-0,70	4,82
0,1	7	1	19	-1,00	4,12
0	7	0	0	0,00	0

4. Waktu Paparan 96 jam

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0,666782577
R Square	0,444599005
Adjusted R Square	0,352032173
Standard Error	0,638105285
Observations	8

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	1,955679875	1,955679875	4,803005502	0,0709206
Residual	6	2,443070125	0,407178354		
Total	7	4,39875			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	5,159989516	0,228358216	22,59603178	4,91802E-07	4,60121709	5,718762	4,60121709	5,718761942
X Variable 1	0,88249523	0,402676073	2,191576032	0,070920595	-0,10281763	1,867808	-0,102817625	1,867808084

$$Y = aX + b$$

Dimana:

Y = Nilai probit kematian hewan uji

X = Log konsentrasi

a = X variable 1

b = Intercept

Berikut merupakan hasil perhitungan dari nilai LC₅₀ pada waktu paparan 72 jam.

Y	5
a	0,88249523
b	5,159989516
x	-0,181292216
LC50	0,66

$$TUa = 100/LC_{50}$$

Keterangan:

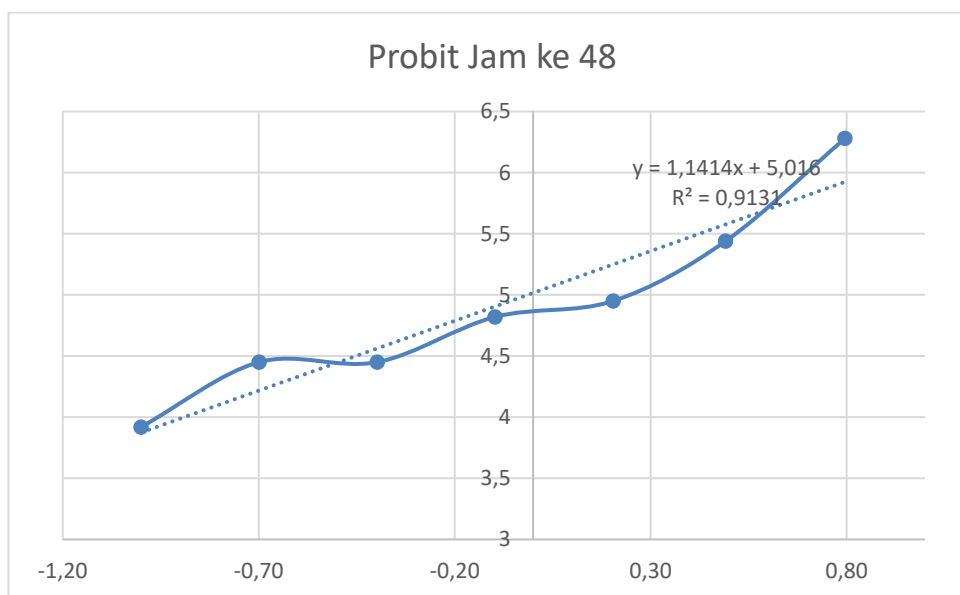
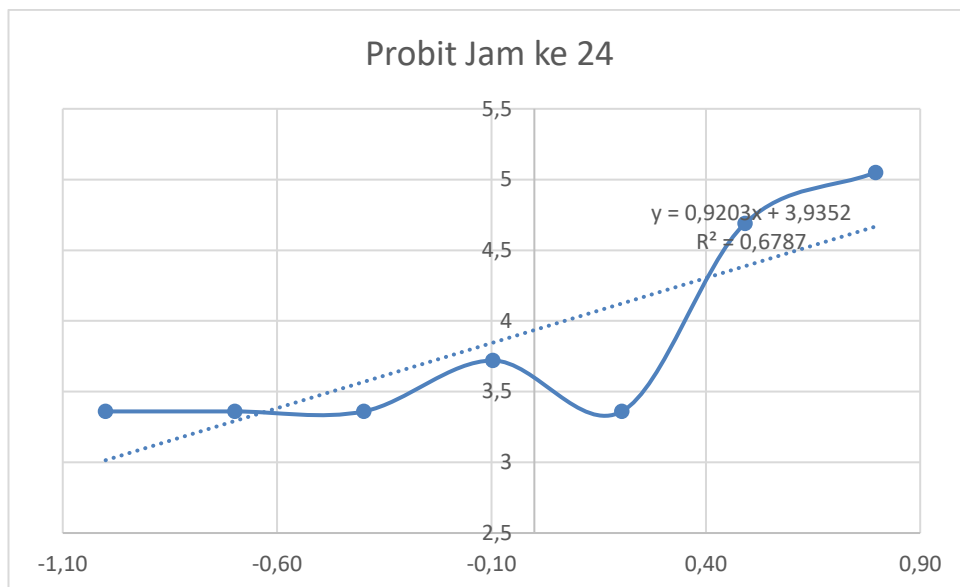
TUa = *Toxic Unit Acute*

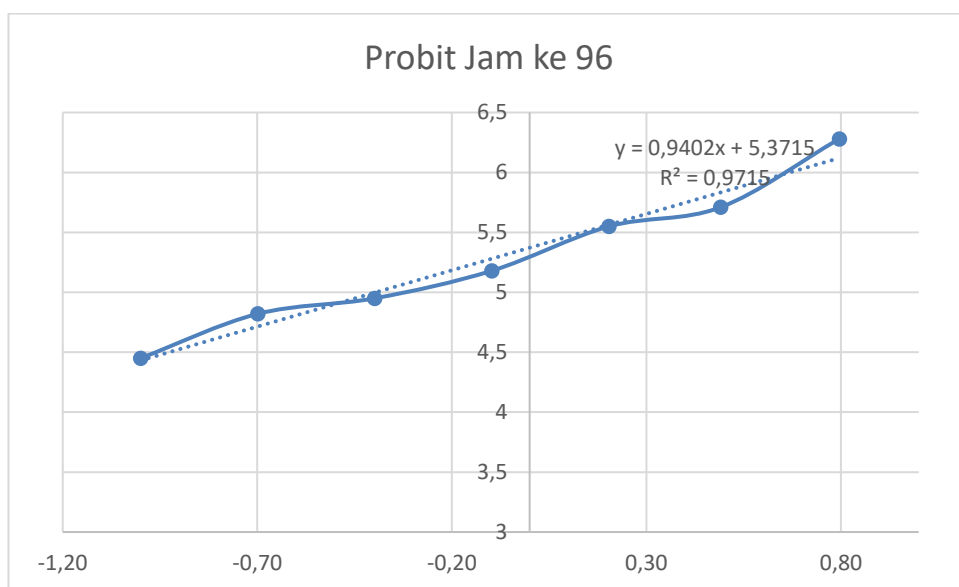
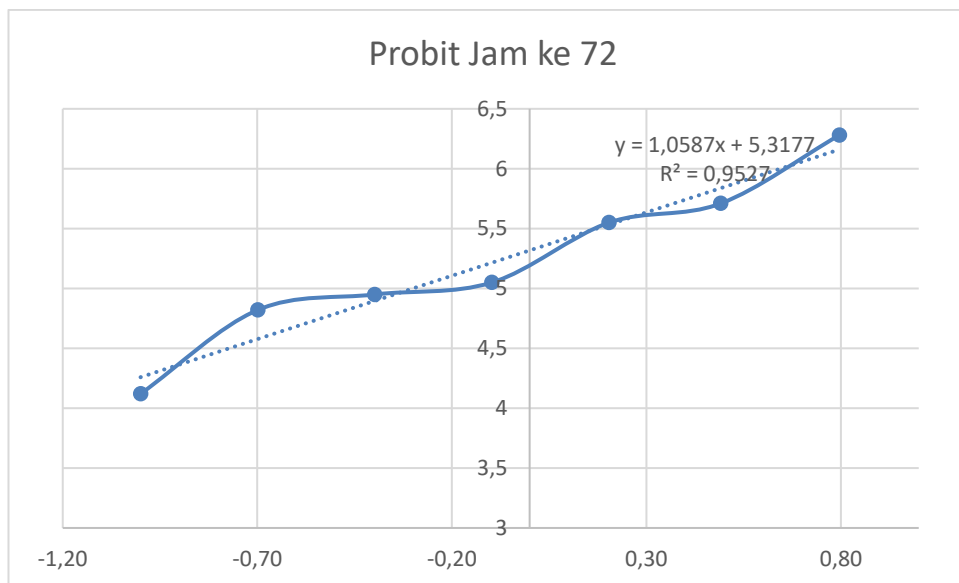
LC₅₀ = Nilai LC₅₀

Berikut merupakan hasil perhitungan dari nilai Tua pada waktu paparan 72 jam.

Tua	Class	Tingkat Toksisitas	Test Score
151,8	Class IV	<i>Very Acute Toxicity</i>	4

Sampel ke 96 Jam					
K1	K2	K3	K4	K5	K6
Konsentrasi (%)	Jumlah Hewan Uji	Kematian/Mortalitas	% Mortalitas (%)	Log Konsentrasi	Probit
6,25	7	6	90	0,80	6,28
3,1	7	5	76	0,49	5,71
1,6	7	5	71	0,20	5,55
0,8	7	4	57	-0,10	5,18
0,4	7	3	48	-0,40	4,95
0,2	7	3	43	-0,70	4,82
0,1	7	2	29	-1,00	4,45
0	7	1	10	0,00	3,72





Lampiran Foto

Limbah Pewarna Sintetis



Limbah Pewarna Alami



Pengambilan Sampel Pewarna Sintetis



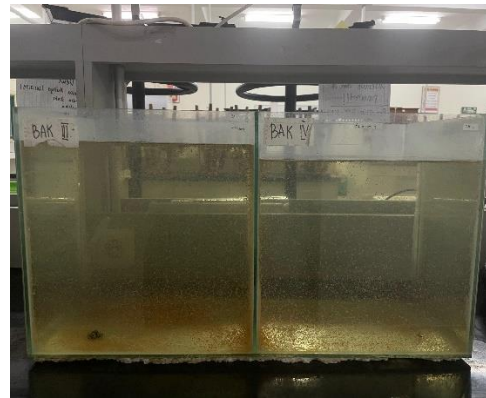
Pengambilan Sampel Pewarna Alami



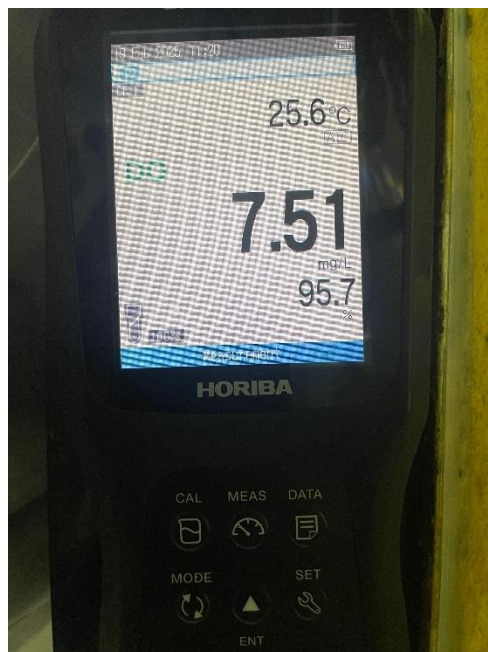
**Proses Aerasi Untuk Aklimatisasi
Daphnia sp.**



Proses Aklimatisasi *Daphnia* sp.



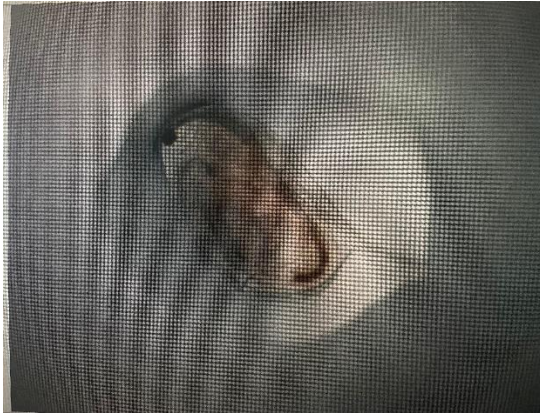
Pengukuran DO dan Suhu



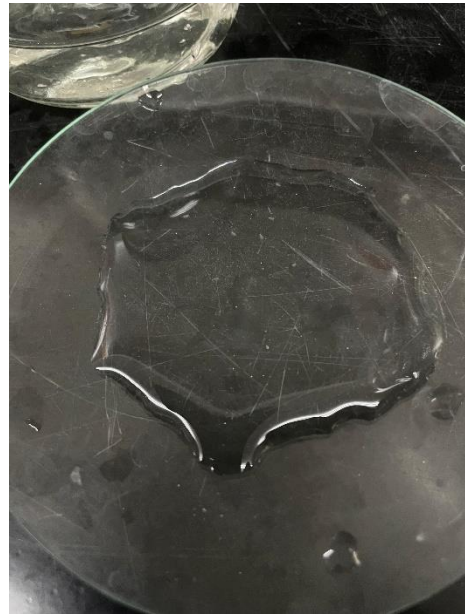
Pengukuran pH



***Daphnia* sp.**



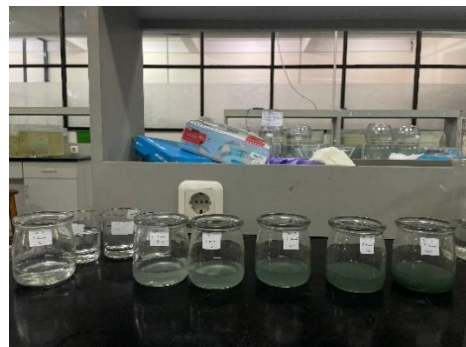
Pengambilan *Daphnia* sp. untuk Pengujian



Uji Pendahuluan Pewarna Sintetis



Uji Pendahuluan Pewarna Alami



Uji Toksisitas Pewarna Sintetis



Pemantauan saat Pengujian



RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Annisa Nurrahma, lahir pada tanggal 10 Februari 2003 di Kabupaten Sambas. Penulis merupakan putri ke-2 dari dua bersaudara dari Bapak Tabi'i S.H., M.H. dan Ibu Eliyanti Safitri. Penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar di SD 05 Durian Sambas, lalu Sekolah Menengah Pertama di SMP 02 Durian Sambas, dan Sekolah Menengah Atas di SMA 01 Sambas. Kemudian melanjutkan studi pada jenjang S1 di Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia.

Selama masa perkuliahan menjadi mahasiswa, penulis terlibat beberapa kegiatan di luar akademik sebagai Organizing Comitte di divisi acara kegiatan Enviro Champion dan di divisi konsumsi kegiatan Lintas Lingkungan. Serta ikut berpartisipasi dalam kegiatan aksi bersih sungai yang ada di Yogyakarta. Selain itu, penulis melakukan kerja praktik di PT. Petro Jordan Abadi. Dalam kegiatan akademik, penulis pernah melaksanakan kerja praktik di PT Petro Jordan Abadi.