



Dr. Dra. Peni Pujiastuti, M.Si.



Polutan Organik

dalam Air Permukaan
& Air Limbah

POLUTAN ORGANIK

dalam Air Permukaan & Air Limbah

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

POLUTAN ORGANIK

dalam Air Permukaan & Air Limbah

Dr. Dra. Peni Pujiastuti, M.Si.



Cerdas, Bahagia, Mulia, Lintas Generasi.

POLUTAN ORGANIK DALAM AIR PERMUKAAN & AIR LIMBAH

Dr. Dra. Peni Pujiastuti, M.Si.

Editor :
Tiara Azhari

Desain Cover :
Ali Hasan Zein

Sumber :
www.shutterstock.com

Tata Letak :
T. Yuliyanti

Proofreader :
Tiara Azhari

Ukuran :
xii, 75 hlm, Uk: 15.5x23 cm

ISBN :
978-623-02-8165-5

Cetakan Pertama :
Maret 2024

Hak Cipta 2024, Pada Penulis

Isi diluar tanggung jawab percetakan

Copyright © 2024 by Deepublish Publisher
All Right Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT DEEPUBLISH
(Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA)
Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

Jl.Rajawali, G. Elang 6, No 3, Drono, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman
Jl.Kaliurang Km.9,3 – Yogyakarta 55581
Telp/Faks: (0274) 4533427
Website: www.deepublish.co.id
www.penerbitdeepublish.com
E-mail: cs@deepublish.co.id

KATA PENGANTAR PENERBIT

Segala puji kami haturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan segala anugerah dan karunia-Nya. Dalam rangka mencerdaskan dan memuliakan umat manusia dengan penyediaan serta pemanfaatan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk menciptakan industri *processing* berbasis sumber daya alam (SDA) Indonesia, Penerbit Deepublish dengan bangga menerbitkan buku monograf dengan judul *Polutan Organik dalam Air Permukaan & Air Limbah*.

Terima kasih dan penghargaan terbesar kami sampaikan kepada penulis, Dr. Dra. Peni Pujiastuti, M.Si., yang telah memberikan kepercayaan, perhatian, dan kontribusi penuh demi kesempurnaan buku ini. Semoga buku monograf ini bermanfaat bagi semua pembaca, mampu berkontribusi dalam mencerdaskan dan memuliakan umat manusia, serta mengoptimalkan pemanfaatan ilmu pengetahuan dan teknologi di tanah air.

Hormat Kami,

Penerbit Deepublish

PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga kami masih diberi nikmat sehat, semangat untuk berkarya menulis buku monograf ini.

Buku monograf ini merupakan luaran penelitian terkait analisis polutan organik dalam air permukaan dan air limbah melalui uji BOD dan COD, yang diperkaya dari hasil penelitian peneliti lain yang terkait.

Penulis berharap buku monograf ini dapat memperkaya pembelajaran beberapa mata kuliah seperti analisis air & limbah, kimia lingkungan, serta menjadi acuan penelitian oleh mahasiswa dan dosen. Penulis mengucapkan terima kasih semua pihak yang telah membantu dalam proses pembuatan buku monograf ini.

KATA PENGANTAR

DEKAN FAKULTAS TEKNIK

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan rahmat-Nya sehingga buku monograf ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku monograf ini memuat bahasan terkait kualitas air tawar dari sisi polutan organik pada air permukaan dan air limbah industri, diukur pada parameter BOD dan COD. Semoga buku monograf ini dapat digunakan untuk memperkaya pengetahuan dan keterampilan mahasiswa pada mata kuliah terkait, seperti analisis air dan air limbah. Tidak menutup kemungkinan buku monograf ini juga dapat digunakan untuk memperkaya pengetahuan pada mata kuliah Kimia Lingkungan & AMDAL. Semoga buku monograf ini bermanfaat untuk mahasiswa, dosen, dan institusi serta peneliti.

Surakarta, 2024

Dr. Suseno, M.Si.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR PENERBIT	v
PRAKATA	vi
KATA PENGANTAR DEKAN FAKULTAS TEKNIK.....	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I PROLOG: MENELISIK PREDIKSI POLUTAN ORGANIK DALAM AIR PERMUKAAN & AIR LIMBAH.....	1
BAB II SENYAWA POLUTAN ORGANIK DALAM AIR LIMBAH.....	6
2.1. Senyawa Organik	6
2.1.1. Senyawa Karbohidrat.....	6
2.1.2. Senyawa Protein	11
2.1.3. Senyawa Lemak-Minyak	13
2.2. Senyawa Organik <i>Biodegradable</i> dan <i>Non-</i> <i>biodegradable</i>	14
2.3. Polutan Organik Air Permukaan	16
2.3.1. Sumber Timbulan Limbah Air Permukaan.....	17
2.3.2. Baku Mutu Air Permukaan	17
BAB III POLUTAN ORGANIK DALAM AIR LIMBAH DAN PARAMETER BOD & COD	20
3.1. Polutan Organik Air Limbah Industri Tahu	20
3.1.1. Timbulan Limbah Proses Pembuatan Tahu	21
3.1.2. Karakteristik Air Limbah Tahu.....	26
3.1.3. Baku Mutu Air Limbah Tahu	28
3.2. <i>Biodegradability Index</i>	30

3.3. Parameter BOD & COD	31
3.3.1. Parameter BOD	31
3.3.2. Parameter COD	33
BAB IV BAGAIMANA MEMPREDIKSI POLUTAN ORGANIK DALAM AIR PERMUKAAN & AIR LIMBAH DENGAN BOD & COD?	34
4.1. Cara Kerja Analisis BOD Metode Titrasi Winkler	36
4.2. Analisis COD Metode Spektrofotometri	39
4.3. Prediksi Polutan Organik <i>Non-biodegradable</i> dalam Air	41
4.4. Prediksi <i>Biodegradability Index</i>	42
BAB V PREDIKSI POLUTAN ORGANIK <i>BIODEGRADABLE</i> DAN <i>NON-BIODEGRADABLE</i> MELALUI BOD & COD	43
5.1. BOD COD Air Permukaan & Air Limbah Industri	43
5.1.1. BOD & COD Air Permukaan.....	43
5.1.2. BOD dan COD Air Limbah Industri	47
5.2. Prediksi Polutan Organik <i>Biodegradable</i> dan <i>Non-</i> <i>Biodegradable</i>	50
5.2.1. Polutan Organik <i>Biodegradable</i> dan <i>Non-</i> <i>biodegradable</i> Air Limbah Industri.....	51
5.2.2. Polutan Organik <i>Biodegradable</i> dan <i>Non-</i> <i>biodegradable</i> Air Permukaan.....	55
5.3. Prediksi <i>Biodegradability Index</i>	59
5.3.1. <i>Biodegradability Index</i> Air Limbah Industri	59
5.3.2. <i>Biodegradability Index</i> Air Permukaan	61
BAB VI EPILOG: PENALI AKHIR PREDIKSI POLUTAN ORGANIK DALAM AIR PERMUKAAN & AIR LIMBAH MELALUI BOD & COD.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....	70
PROFIL PENULIS	75

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Baku Mutu Air Sungai	17
Tabel 2.	Baku Mutu Air Waduk	18
Tabel 3.	Baku Mutu Air Limbah Tahu	29
Tabel 4.	Zona <i>Biodegradability Index</i>	31
Tabel 5.	Angka BOD & COD Air Sungai	43
Tabel 6.	Angka BOD & COD Air Waduk.....	45
Tabel 7.	Angka BOD & COD Air Limbah Tahu.....	47
Tabel 8.	Angka BOD & COD Air Limbah Industri.....	50
Tabel 9.	Jumlah Polutan <i>Biodegradable</i> dan <i>Non-biodegradable</i> Air Limbah Tahu	51
Tabel 10.	BOD & COD Air Limbah Industri	55
Tabel 11.	Jumlah Polutan Organik <i>Biodegradable</i> dan <i>Non-biodegradable</i> pada Air Sungai	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Struktur Glukosa.....	8
Gambar 2.	Struktur Disakarida Maltosa, Trihalosa, dan Sukrosa	9
Gambar 3.	Struktur Amilosa (a) dan Amilopektin (b) dalam Amilum.....	10
Gambar 4.	Reaksi Hidrolisa Amilum.....	11
Gambar 5.	Reaksi Hidrolisa Amilum oleh Bakteri.....	11
Gambar 6.	Struktur Asam Amino	13
Gambar 7.	Struktur Umum Minyak/Lemak	13
Gambar 8.	Reaksi Degradasi Polutan Organik Oleh Bakteri Aerobik.....	15
Gambar 9.	Proses Industri Tahu dan Timbulan Limbah	23
Gambar 10.	Sebaran BOD & COD waduk Gajah Mungkur	46
Gambar 11.	BOD & COD Air Limbah Tahu	49
Gambar 12.	Organik <i>Biodegradable</i> dan <i>Non-biodegradable</i> Air Limbah Tahu	53
Gambar 13.	Perbandingan Polutan Organik <i>Biodegradable</i> Terhadap <i>Non-biodegradable</i> Air Limbah Tahu.....	54
Gambar 14.	Polutan <i>Biodegradable</i> dan <i>Non-Biodegradable</i> Air Limbah Industri	55
Gambar 15.	Polutan Organik <i>Biodegradable</i> dan <i>Non-biodegradable</i> Air Sungai	57
Gambar 16.	Polutan Organik <i>Biodegradable</i> dan <i>Non-biodegradable</i> Air Waduk	58
Gambar 17.	<i>Biodegradable Index</i> Air Limbah Tahu	59
Gambar 18.	<i>Biodegradability Index</i> Air Limbah Industri.....	61
Gambar 19.	<i>Biodegradable Index</i> Air Sungai.....	63
Gambar 20.	<i>Biodegradability Index</i> Air Waduk	63

BAB I

PROLOG:

MENELISIK PREDIKSI POLUTAN ORGANIK DALAM AIR PERMUKAAN & AIR LIMBAH

Air adalah kebutuhan pokok manusia. Manusia membutuhkannya untuk mandi, memasak, minum, menyiram tanaman, industri, hortikultura, perikanan, pertanian, dan pariwisata. Air tidak hanya diperlukan untuk kebutuhan rumah tangga, tetapi juga untuk industri perikanan, hortikultura, industri, dan pariwisata. Masyarakat saat ini membutuhkan air yang berkualitas dan sesuai peruntukannya.

Air yang baik adalah air yang memenuhi baku mutu sesuai peruntukannya. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, baku mutu air adalah ukuran batas atau kadar organisme, zat, energi, atau komponen yang ada atau harus ada dan/atau unsur pencemar yang ditengang keberadaannya di dalam air. Baku mutu air permukaan digolongkan menjadi 4 (empat) kelas, yang termasuk air kelas 1 apabila air diperuntukkan air baku air minum. Air kelas dua adalah air yang digunakan untuk rekreasi air, perikanan, peternakan, dan tujuan lainnya. Air yang digunakan untuk tujuan perikanan, peternakan, pertanian, dan sebagainya dianggap sebagai air kelas tiga. Air yang diklasifikasikan sebagai kelas empat adalah air yang digunakan untuk mengairi tanaman dan tujuan lainnya.

Air tanah dan air permukaan adalah sumber air yang paling sering digunakan oleh masyarakat untuk memenuhi kebutuhannya. Air permukaan termasuk air sungai, air danau, waduk, rawa, dan lahan basah lainnya. Air tanah dapat berasal dari sumur, baik air tanah dalam maupun air tanah dangkal. Air harus memenuhi baku mutu air. Pemerintah nasional dan daerah menetapkan baku mutu air. Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, Lampiran VI, mengatur batas kualitas sir sungai dan air waduk berdasarkan parameter fisika, kimia, dan biologi. Sementara itu, Peraturan Daerah (PERDA) Provinsi Jawa Tengah Nomor 4 Tahun 2023 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup mengatur kualitas air di Provinsi Jawa Tengah.

Air limbah adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan sisa air yang dibuang ke badan air yang tidak dimanfaatkan oleh masyarakat. Sisa air yang tidak digunakan lagi dalam proses produksi industri dan dibuang ke badan air lingkungan disebut air limbah industri. Air limbah industri harus dikelola dan diolah sesuai dengan ketentuan yang berlaku sebelum dibuang ke badan air penerima untuk memenuhi baku mutu air limbah industri yang ditetapkan dalam Peraturan Gubernur Jawa Tengah Nomor 4 Tahun 2023.

Berbagai parameter kualitas air termasuk parameter fisika, kimia, dan biologi dalam baku mutu air. Parameter fisik mengatur suhu, warna, *total suspended solid* (TSS), dan *total dissolved solid* (TDS), dan lain-lain. Batasan mikroorganisme patogen dalam air, seperti *total coliform* dan *fecal coliform*, diatur oleh parameter biologi. Selain itu, parameter kimia mengatur batas kandungan air senyawa kimia, seperti pH, logam berat, nitrat, nitrit, amonia, fenol, phosphat, kesadahan, BOD, COD, dan lain-lain.

Jumlah yang disebut sebagai kebutuhan oksigen biologis atau *Biological Oxigen Demand* (BOD) dalam air adalah jumlah oksigen biologis yang ada di dalam air, yaitu oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan polutan atau bahan pencemar dalam air. Polutan organik yang mudah diuraikan oleh mikroorganisme dalam air disebut sebagai polutan *biodegradable*. Polutan organik ini biasanya berasal dari limbah domestik, industri, dan pertanian, dan terdiri dari karbohidrat, protein, dan lemak yang mudah terurai. Sisa makanan, bangkai hewan, pupuk kandang, kayu, dedaunan, kertas, dan lainnya adalah contoh limbah organik yang mudah terurai dalam air. Mikroorganisme aerobik dapat dengan mudah menguraikan polutan organik ini menjadi senyawa sederhana seperti karbon oksida (CO_x), nitrogen oksida (NO_x), fosfor oksida (PO_x), dan sulfur oksida (SO_x). Di sisi lain, mikroorganisme anaerobik dapat menguraikan polutan organik ini menjadi gas amoniak (NH_3), hidrogen sulfida (H_2S), dan fosfin (PH_3).

Metode untuk menghitung kebutuhan oksigen kimia air adalah *Chemical Oxygen Demand* (COD). Senyawa kaliumdikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) yang ditambahkan ke sampel air selama analisis laboratorium adalah sumber oksigen kimia ini. Polutan organik yang tidak dapat terurai secara hayati terdiri atas polutan yang dibuat oleh bahan yang tidak dapat terurai secara perlahan oleh mikroorganisme. Ini termasuk polutan organik yang dapat terurai secara hayati (*biodegradable*) dan polutan organik yang tidak dapat terurai secara hayati (*non-biodegradable*). Polutan organik yang tidak dapat terurai secara hayati terdiri dari zat radioaktif, logam, kaca, pestisida *Dikloro Difenil Trikloroetana* (DDT). Karena oksigen kimia kaliumdikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) memiliki kemampuan untuk mengoksidasi polutan organik baik yang *biodegradable* maupun *non-biodegradable*,

pengujian COD akan menghasilkan angka yang lebih tinggi daripada analisis BOD. *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) adalah dua parameter uji sederhana yang dapat digunakan untuk mengukur polutan organik. Nilai COD mengukur semua kandungan bahan organik *biodegradable* dan *non-biodegradable*, sedangkan nilai BOD hanya mengukur polutan organik *biodegradable* (Koda et al., 2017).

Melalui pengujian BOD dan COD, hal ini memungkinkan untuk memprediksi sifat polutan organik dalam air permukaan dan air limbah industri. Rasio BOD/COD dapat digunakan untuk menentukan kemampuan mikroorganisme menguraikan polutan organik, atau *biodegradability* (Tamyis, 2015). Zona *biodegradable*, atau polutan organik yang mudah diuraikan oleh mikroorganisme, termasuk dalam *biodegradable index* dengan skor antara 0,1 dan 1,0. Prediksi jumlah polutan organik dalam air atau air limbah industri serta kemampuan untuk menguraikan polutan organik akan membantu dalam perencanaan pengolahan air atau air limbah yang tepat.

Beberapa topik yang dibahas dalam buku ini adalah bagaimana menentukan kandungan BOD dan COD pada sampel air permukaan dan air limbah industri; menghitung jumlah polutan organik *non-biodegradable* dalam sampel air permukaan dan air limbah industri melalui pendekatan uji BOD dan COD; dan menghitung *biodegradable index* pada sampel air permukaan dan air limbah industri. Buku ini juga membahas prediksi jumlah polutan organik yang ada dalam air dan air limbah. Prediksi polutan organik *biodegradable* dan *non-biodegradable* akan memberikan gambaran tentang jumlah polutan organik yang ada dalam air dan air limbah, sehingga lebih mudah untuk memilih metode pengolahannya. Prediksi *biodegradable index* akan memberikan gambaran

tentang kemampuan mikroorganisme untuk mengurai polutan organik yang disebut sebagai *biodegradable*. Dengan menggunakan *biodegradable index* ini, akan lebih mudah untuk memilih metode pengolahan air limbah yang tepat untuk mengurangi jumlah polutan organik sampai memenuhi standar mutu. Dengan demikian, prediksi ini sangat penting untuk dipertimbangkan saat merencanakan pengelolaan air limbah. Dengan demikian, air limbah yang dibuang ke badan air tidak akan mencemari lingkungan. Prediksi keberadaan polutan organik *biodegradable* dan non-*biodegradable* serta *biodegradable index* pada air sungai, tahu, dan laundry adalah hasil terbaru dari penelitian dalam buku ini.

BAB II

SENYAWA POLUTAN ORGANIK DALAM AIR LIMBAH

2.1. Senyawa Organik

Atom karbon (C) sebagai pembentuk rantai utama senyawa organik adalah makromolekul kimia. Ada kemungkinan bahwa senyawa karbon adalah senyawa organik (Qurita Ayun et al., 2023). Senyawa kimia yang disebut senyawa organik memiliki peran penting dalam kehidupan. Senyawa organik ada di semua benda hidup di Bumi ini. Semua senyawa yang terdiri dari karbon termasuk karbohidrat, protein, lemak, gula, dan asam nukleat (Qurita Ayun et al., 2023). Senyawa organik tidak hanya mengandung karbon, tetapi juga mengandung unsur lain seperti H-hidrogen, N-nitrogen, O-oksigen, P-phosphor, S-sulfir, F-fluor, Cl-klorida, Br-brom, dan I-iod. Golongan gizi seperti karbohidrat, protein, dan lemak terdiri dari beberapa golongan senyawa organik. Ketiga kelompok senyawa organik ini memiliki hubungan yang kuat dengan polutan organik yang dibahas dalam penelitian ini.

2.1.1. Senyawa Karbohidrat

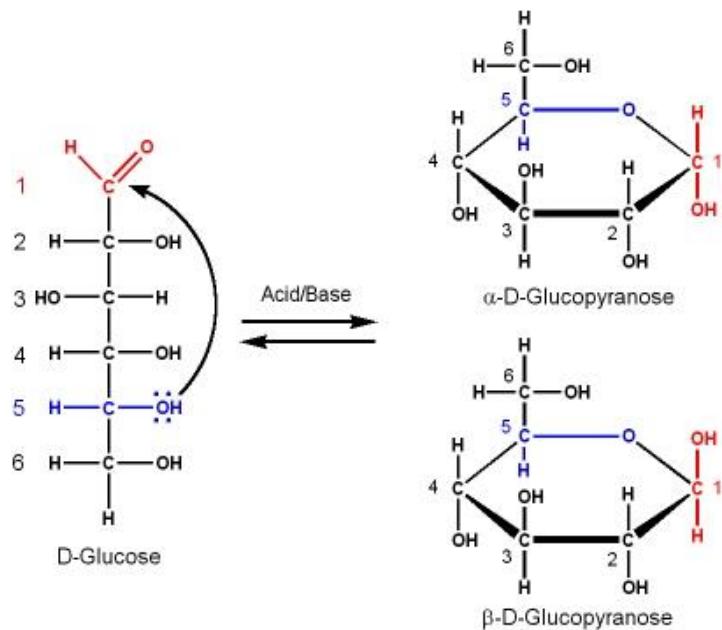
Dengan rumus umum $(CH_2O)_n$, karbohidrat terdiri dari aldehida dan keton. Satuan sederhana atau kompleks dari polihidroksi aldehida, polihidroksi keton, atau turunannya dikenal sebagai karbohidrat berdasarkan struktur organiknya. Gugus utama yang membentuk

karbohidrat adalah hidroksi (-OH) dan karbonil (C=O). Sintesis karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O) terjadi dengan bantuan sinar matahari dan zat hijau daun klorofil. Karbohidrat banyak ditemukan di alam dalam bahan pangan pertanian seperti singkong, kentang, beras, buah-buahan, kedelai, dan biji-bijian lainnya. Produk olahannya, seperti roti, nasi, minuman manis, dan lainnya, juga mengandung karbohidrat.

Tiga jenis karbohidrat adalah polisakarida, disakarida, dan monosakarida. Monosakarida adalah monomer terkecil yang membentuk disakarida atau polisakarida.

1. Monosakarida

Monosakarida adalah monomer yang membentuk senyawa organik karbohidrat disakarida dan polisakarida, seperti glukosa sebagai golongan aldosa dan fruktosa sebagai golongan ketosa. Monosakarida dapat dihasilkan secara alami melalui hidrolisis disakarida atau polisakarida. Glukosa adalah monomer yang membentuk pati, amilum, dan selulosa. Misalnya, pati, yang dihidrolisis, menghasilkan disakarida maltosa, yang pada hidrolisis berikutnya membentuk monosakarida glukosa. Gambar 1 menunjukkan struktur glukosa karbohidrat monosakarida.

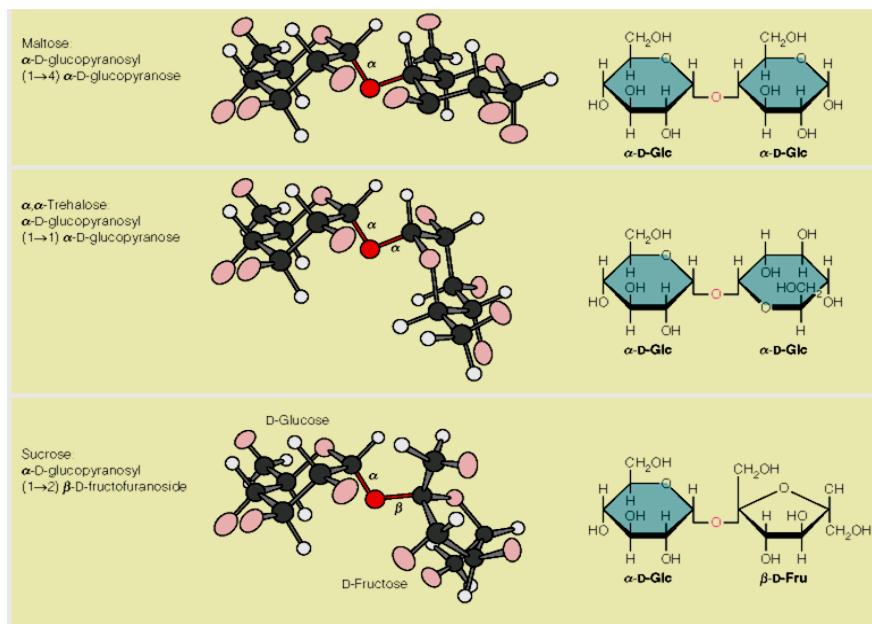


Gambar 1. Struktur Glukosa

Sumber: Google.com

2. Disakarisa

Gabungan dua monomer glukosa dengan ikatan 1,4 glikosidik disebut maltosa. Molekul disakarida terdiri dari dua monomer monosakarida yang terhubung melalui ikatan glikosidik. Namun, sukrosa dibuat dari glukosa dan fruktosa melalui ikatan 1,2 glikosidik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



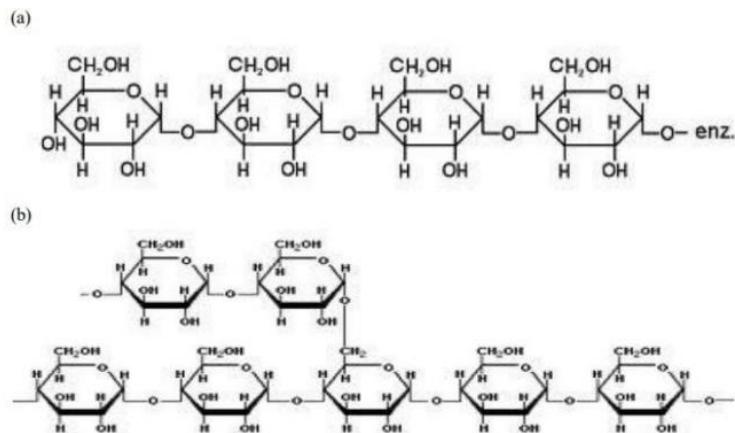
Gambar 2. Struktur Disakarida Maltosa, Trihalosa, dan Sukrosa

Sumber: Google.com

3. Polisasarida

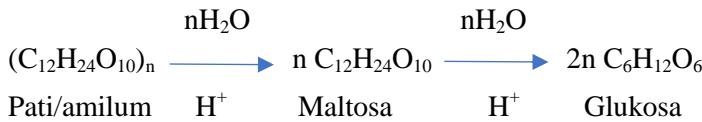
Monosakarida unik membentuk polimer polisakarida. Amilum, atau pati pada sari kedelai, dan selulosa pada kulit kedelai adalah dua contoh senyawa polisakarida yang ditemukan pada kedelai. Kandungan pati pada tahu adalah 4-6% (Budianto, 2015), dan pada beras putih adalah 85–95% (Sari, et al., 2020). Terdiri dari dua molekul, amilosa dan amilopektin, amilum terdiri dari ratusan hingga ribuan monomer glukosa melalui 1,4 ikatan glikosidik dan 1,6 ikatan glikosidik. Sekitar 20% molekul amilum terdiri dari amiloza, yang terdiri atas antara 50-300 monomer glukosa dalam rantai linier yang dihubungkan oleh ikatan 1,4 glikosidik (Hard Harold, 2003). Di sisi lain, rantai bercabang amilopektin terdiri dari antara 300-5.000

monomer glukosa, dan rantai dengan ikatan 1,4 glikosidik berturut-turut hanya memiliki panjang sekitar 25-30 unit glukosa. Rantai-rantai ini terhubung ke titik cabang dengan ikatan glikosidik 1,6. Menurut Hard Harold (2003), granula amilum mengembung untuk membentuk sistem koloidal dalam air karena strukturnya yang sangat bercabang. Gambar 3 menunjukkan struktur amilosa dan amilopektin amilum.



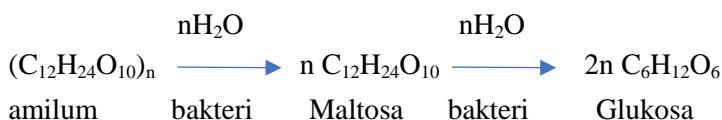
Gambar 3. Struktur Amilosa (a) dan Amilopektin (b) dalam Amilum
Sumber: Google.com

Amilum mudah terhidrolisis. Ini dapat dilakukan oleh enzim atau asam, yang memecah ikatan glikosidik pada molekul amilosa dan amilopektin, sehingga membentuk produk akhir glukosa. Gambar 4 di bawah ini menunjukkan reaksi yang terjadi selama proses hidrolisis asam.



Gambar 4. Reaksi Hidrolisa Amilum

Pada saat yang sama, enzim amilase menghidrolisis amilosa dan amilopektin menjadi α -amilase dan β -amilase. Bakteri amilolitik dapat menghasilkan amilase. Gambar 5 menunjukkan reaksi enzimatik.



Gambar 5. Reaksi Hidrolisa Amilum oleh Bakteri

Karena bakteri amilolitik membutuhkan karbon untuk berkembang biak untuk menghasilkan amilase ekstraselular, mereka menghancurkan amilum. Enzim ini memecah polimer amilum menjadi molekul yang lebih pendek yang disebut disakarida atau monosakarida (Adnan et al., 2017). Bakteri ini tumbuh di alam, seperti sungai, sehingga dapat digunakan dalam pengolahan air limbah untuk mengurangi polutan karbohidrat organik.

2.1.2. Senyawa Protein

Protein sangat penting untuk kehidupan. Adanya enzim (protein yang berfungsi sebagai biokatalis) memungkinkan proses kimia dalam tubuh berjalan dengan normal. Selain itu, hemoglobin, juga dikenal sebagai hemoglobin sel darah merah, adalah protein yang bertugas mengangkut oksigen dari paru-paru ke seluruh tubuh. Secara umum,

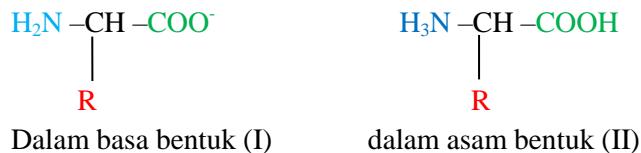
protein terdiri atas 50% karbon, 7% hidrogen, 23% oksigen, 16% nitrogen, 3% belerang, dan 3% fosfor. Berat molekul protein berkisar antara 5.000 hingga jutaan. Protein menghasilkan asam amino melalui hidrolisis asam atau enzimatik. Ada 20 jenis asam amino dalam setiap molekul protein, dan asam amino ini terhubung satu sama lain melalui ikatan peptida. Suhu tinggi, pH, dan pelarut organik sangat memengaruhi protein.

Asam amino, yang merupakan komponen protein, memiliki gugus amina $-\text{NH}_2$ pada atom karbon α dari posisi gugus amina $-\text{COOH}$.

Rumus umum untuk asam amino ialah $\begin{array}{c} \text{R} - \text{CH} - \text{COOH} \\ | \\ \text{NH}_2 \end{array}$

Semua atom karbon α adalah karbon asimetris, kecuali R adalah atom H, seperti yang ditunjukkan oleh rumus ini. Oleh karena itu, asam amino juga memiliki sifat atau rotasi optik, yaitu memutar bidang cahaya yang terpolarisasi. Secara umum, asam amino tidak larut dalam pelarut organik nonpolar seperti kloroform, eter, dan aseton. Dibandingkan dengan amina atau asam karboksilat, asam amino memiliki titik didih yang lebih tinggi. Mereka juga cenderung memiliki struktur bermuatan dan memiliki polaritas yang tinggi, dan mereka bukan sekadar senyawa dengan gugus $-\text{COOH}$ dan $-\text{NH}_2$. Sifat asam amino sebagai elektrolit juga menunjukkan hal ini yaitu ketika suatu asam amino dilarutkan dalam air, gugus karboksil melepaskan ion H^+ dan gugus amina menerima ion H^+ . Kedua gugus tersebut memungkinkan asam amino dalam larutan untuk membentuk ion bermuatan positif dan negatif (zwitterion), atau ion amfoter, yang sangat bergantung pada pH larutan. Jika suatu basa ditambahkan pada asam amino dalam air, asam amino akan berbentuk (I) karena konsentrasi ion

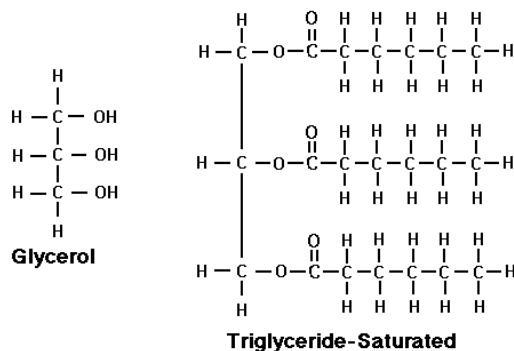
-OH yang tinggi memungkinkan mereka untuk berikatan dengan ion H⁺ pada gugus -NH₃⁺.



Gambar 6. Struktur Asam Amino

2.1.3. Senyawa Lemak-Minyak

Trigliserida atau triasilglicerol, juga dikenal sebagai triesterglicerol, adalah nama lemak atau minyak. Struktur senyawa dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 7. Struktur Umum Minyak/Lemak

Sumber: Google.com

Proses oksidasi dari oksigen di udara dapat menyebabkan kerusakan lemak atau minyak. Pembentukan peroksid dan hidroperoksid merupakan awal proses oksidasi. Selanjutnya, hidroperoksid dipecahkan menjadi alkohol, aldehida, keton, dan asam rantai pendek. Aldehida yang

ditemukan dalam minyak menghasilkan rasa dan bau tengik. Kita dapat menggunakan parameter angka peroksida dalam proses ini untuk menunjukkan bahwa minyak akan segera menjadi tengik. Angka peroksida, yang dimaksud, adalah miligram peroksida yang terbentuk per 1.000 gram lemak atau minyak. Jumlah peroksida dalam sampel lemak atau minyak menunjukkan bahwa kualitasnya lebih rendah. Pemanasan merupakan proses lain yang menyebabkan kerusakan minyak, karena lemak atau minyak akan mengalami:

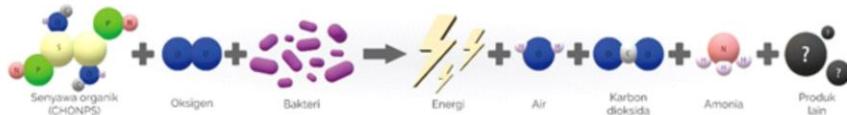
1. Pembentukan peroksida pada asam lemak tak jenuh
2. Peroksida terurai menjadi gugus karbonil
3. Polimerisasi oksidasi parsial asam lemak

Parameter penyabunan adalah jumlah KOH yang diperlukan untuk menyabunkan 1 gram lemak atau minyak. Semakin banyak KOH yang diperlukan untuk menyabunkan asam lemak dalam gram lemak atau minyak, semakin banyak asam lemak dalam sampel. Reaksi penyabunan lemak atau minyak netral menghasilkan gliserol dan campuran garam asam lemak.

2.2. Senyawa Organik *Biodegradable* dan *Non-biodegradable*

Senyawa organik *biodegradable* dapat diuraikan oleh mikroorganisme menjadi bahan sederhana. Penguraian dapat terjadi secara aerobik atau non-aerobik. Bakteri aerob secara alami mengurai bahan pencemar organik dalam perairan, menghasilkan senyawa sederhana seperti CO_x, NO_x, SO_x, dan PO_x. Dalam proses biodegradasi anaerobik, bakteri anaerob menguraikan bahan pencemar organik di dalam air menjadi senyawa lebih sederhana seperti CH₄, H₂S, NH₃, dan PH₃. Bahan pencemar organik ini masih dapat terurai dengan membentuk amonia

bersama mereka. Reaksi bakteri terhadap polutan organik yang didegradasi secara aerobik dapat digambarkan sebagai berikut (Paramesti Asa, 2019).



Gambar 8. Reaksi Degradasi Polutan Organik Oleh Bakteri Aerobik

Sumber: Paramesti Asa (2019)

Setelah dibuang ke badan air, polutan organik akan terdegradasi secara alami oleh bakteri. Untuk membuat polutan organik lebih mudah terurai, bakteri melepaskan enzim yang melarutkan polutan organik, yang diserap oleh bakteri dan terurai menjadi senyawa yang lebih sederhana, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8 di atas. Menurut Paramesti Asa (2019), bakteri dalam air mendapatkan oksigen dari udara di lingkungan air. Oksigen yang cukup memengaruhi bagaimana bakteri menghancurkan polutan organik. *Bacillus*, salah satu bakteri aerob, memiliki kemampuan untuk bertindak sebagai proteolitik, amilolitik, dan selulolitik (Sahidah dan Shovitri, 2013). *Bacillus cereus* dan *Bacillus sp.* ditemukan di sedimen dan air Waduk Gajah Mungkur Wonogiri (Pujiastuti et al, 2016 dan Pujiastuti et al 2018). Karbohidrat (pati, selulosa) dan protein adalah contoh senyawa organik *biodegradable*, yang berarti mereka mudah diuraikan oleh bakteri. Sebaliknya, senyawa organik *non-biodegradable*, seperti minyak dan lemak, sulit diuraikan oleh bakteri (Faradillah dan Pujiastuti, 2022).

Polutan organik dalam air limbah dapat digambarkan dengan COD. Bakteri aerob mampu mengolah limbah organik dengan kadar COD

di bawah 1000 mg/L apabila terdapat oksigen yang cukup dalam air tersebut. Sedangkan bakteri anaerob akan bekerja mengolah polutan organik dengan kadar COD di atas 1000 mg/L (Paramesti Asa, 2019).

2.3. Polutan Organik Air Permukaan

Badan air permukaan termasuk sungai, anak sungai, dan sejenisnya; danau, dan sejenisnya; rawa, dan lahan basah lainnya, seperti yang dinyatakan dalam Bab 3 Pasal 107 Ayat 2 Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.

Waduk adalah danau buatan atau situs asli yang telah diperbaiki untuk menampung, menyimpan, dan memanfaatkan air pada saat yang tepat. Ekosistem waduk adalah habitat air tawar di perairan tenang yang terbagi menjadi tiga wilayah: litoral, limnetik, dan profundal. Siklus hidup tumbuhan dan hewan terjadi di ekosistem waduk, yang juga berfungsi sebagai sumber air, pengendalian banjir, pembangkit listrik, dan juga memberikan berbagai manfaat bagi kehidupan manusia, seperti rekreasi, rumah tangga, pertanian, dan perikanan. Berbagai tindakan akan mencemari ekosistem waduk dan mempengaruhi fungsi berbagai bagian sumber daya air waduk. Waduk Gajah Mungkur Wonogiri, yang merupakan potensi sumber daya alam buatan Kabupaten Wonogiri, adalah contohnya. Luas daerah aliran sungai (DAS) adalah 1.350 km², dan enam DAS (Bengawan Solo, DAS Wuryantoro, DAS Alang Ungghan, DAS Wiroko, DAS Keduang, dan DAS Temon) memberikan air (Pujiastuti et al., 2016).

2.3.1. Sumber Timbulan Limbah Air Permukaan

Polutan organik yang masuk ke permukaan air terutama berasal dari limbah pertanian dan domestik seperti rumah tangga, restoran, dan perkantoran. Pencemar lain yang masuk ke permukaan air berasal dari kegiatan hulu seperti rumah tangga, industri, dan pertanian. Kadar COD dan BOD sebagian besar air limbah domestik yang mengalir ke DAS WGM Wonogiri melebihi standar (Pujiastuti et al., 2016). Kegiatan pertanian menghasilkan nitrogen (N), fosfor (P), dan sulfur (S) sebagai polutan. Pemupukan menghasilkan limbah pertanian. Karena lama pupuk tinggal di lahan pertanian, sisa pupuk yang tidak terserap tanaman dan air limbah pertanian hilang. Petani hanya menyebarkan 30% pupuk di tanaman mereka untuk diserap oleh akar dan daun, sedangkan 70% terlarut dalam air dan melimpas sebagai polutan.

2.3.2. Baku Mutu Air Permukaan

Peraturan Pemerintah No 22 tahun 2021 menetapkan standar nasional untuk air sungai. Beberapa parameter yang sesuai dengan penelitian ini disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Baku Mutu Air Sungai

No	Parameter	Unit	Kelas				Keterangan
			1	2	3	4	
1	TSS	mg/L	40	50	100	400	
2	pH		6-9	6-9	6-9	6-9	
3	BOD	mg/L	2	3	6	12	
4	COD	mg/L	10	25	40	80	
5	DO	mg/L	6	4	3	1	Batas minimal

Sumber: Lampiran IV. PP 22 Tahun 2021

Baku Mutu Air Nasional tercantum dalam Lampiran VI Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, dan mencakup baku mutu air sungai kelas 1-4, yang mencakup parameter fisika, kimia, dan biologi. Tabel 1 menunjukkan beberapa parameter baku mutu air sungai. Untuk masing-masing kelas peruntukan air sungai, baku mutu air sungai untuk parameter BOD dan COD berbeda. Untuk air kelas 1 yang digunakan untuk air baku air minum dan/atau tujuan lain yang membutuhkan mutu air yang sama, diperlukan BOD setidaknya 2 mg/L dan COD setidaknya 10 mg/L. Artinya, jika air sungai digunakan sebagai sumber air minum, diperlukan 2 mg oksigen biologis per liter dan 10 mg oksigen kimia per liter. Jika air sungai digunakan untuk tujuan rekreasi atau prasarana, atau untuk budidaya ikan air tawar, peternakan, atau tujuan lain, air sungai harus dianggap sebagai mutu air sekunder dengan BOD 3 mg/L dan COD 25 mg/L.

Tabel 2. Baku Mutu Air Waduk

No	Parameter	Unit	Kelas				Keterangan
			1	2	3	4	
1	TSS	mg/L		50	100	400	
2	pH		6-9	6-9	6-9	6-9	
3	BOD	mg/L	2	3	6	12	
4	COD	mg/L	10	25	40	80	
5	DO	mg/L	6	4	3	1	Batas minimal

Sumber: Lampiran IV. PP 22 Tahun 2021

Tabel 2 menunjukkan baku mutu air waduk berdasarkan data dari Lampiran VII PP 22/2021 bagian b. Standar untuk parameter BOD dan COD mutu air waduk untuk berbagai jenis penggunaan air sungai juga

berbeda. BOD maksimum 2 mg/L dan COD maksimum 10 mg/L diperlukan dalam kelas 1 di mana air reservoir yang ditentukan dapat digunakan untuk air minum mentah dan/atau tujuan lain yang memerlukan mutu air yang sama. Dengan kata lain, jumlah oksigen biologis yang diperlukan adalah 2 mg per liter air sungai jika air waduk digunakan sebagai sumber air minum. Jumlah oksigen kimia yang diperlukan adalah 10 mg per liter air sungai. Air sungai yang memiliki nilai BOD sebesar 3 mg/L dan COD sebesar 25 mg/L dianggap sebagai mutu air sekunder jika digunakan untuk sarana rekreasi atau prasarana air, budidaya ikan air tawar, peternakan, atau tujuan lain.

BAB III

POLUTAN ORGANIK DALAM AIR LIMBAH DAN PARAMETER BOD & COD

3.1. Polutan Organik Air Limbah Industri Tahu

Air yang dihasilkan selama aktivitas disebut air limbah (Perda Jawa Tengah, 2023). Air limbah industri adalah limbah cair yang dihasilkan oleh kegiatan industri dan dibuang ke badan air. Timbulan air limbah berasal dari setiap kegiatan industri sepanjang prosesnya. Karakteristik air limbah industri berbeda-beda untuk setiap industri, tergantung pada proses yang digunakan untuk membuat produk. Parameter fisika, kimia, dan biologi dapat menunjukkan sifat-sifat tersebut. Parameter kimia seperti derajat keasaman (pH), logam berat, BOD, COD, total nitrogen, N-NH_3 , P-PO_4 , Fenol, dan sebagainya. Suhu, warna, total suspended solid (TSS), dan *total dissolved suspended* (TDS) adalah beberapa parameter fisik.

Pada saat yang sama, parameter biologis seperti *coliform*, *total coliform*, dan jenis parameter lainnya digunakan. Air limbah industri langsung dibuang ke badan air tanpa pengendalian dan pengolahan yang baik, tidak menurunkan nilai konsentrasi berbagai parameter, mencemari air dan berbahaya bagi manusia dan makhluk hidup di dalamnya. Air limbah industri tahu berasal dari proses pembuatan tahu, yang tidak digunakan lagi dan dibuang ke badan air (Pujiastuti et al., 2016). Mikroorganisme yang ada di badan air secara alami akan menghancurkan

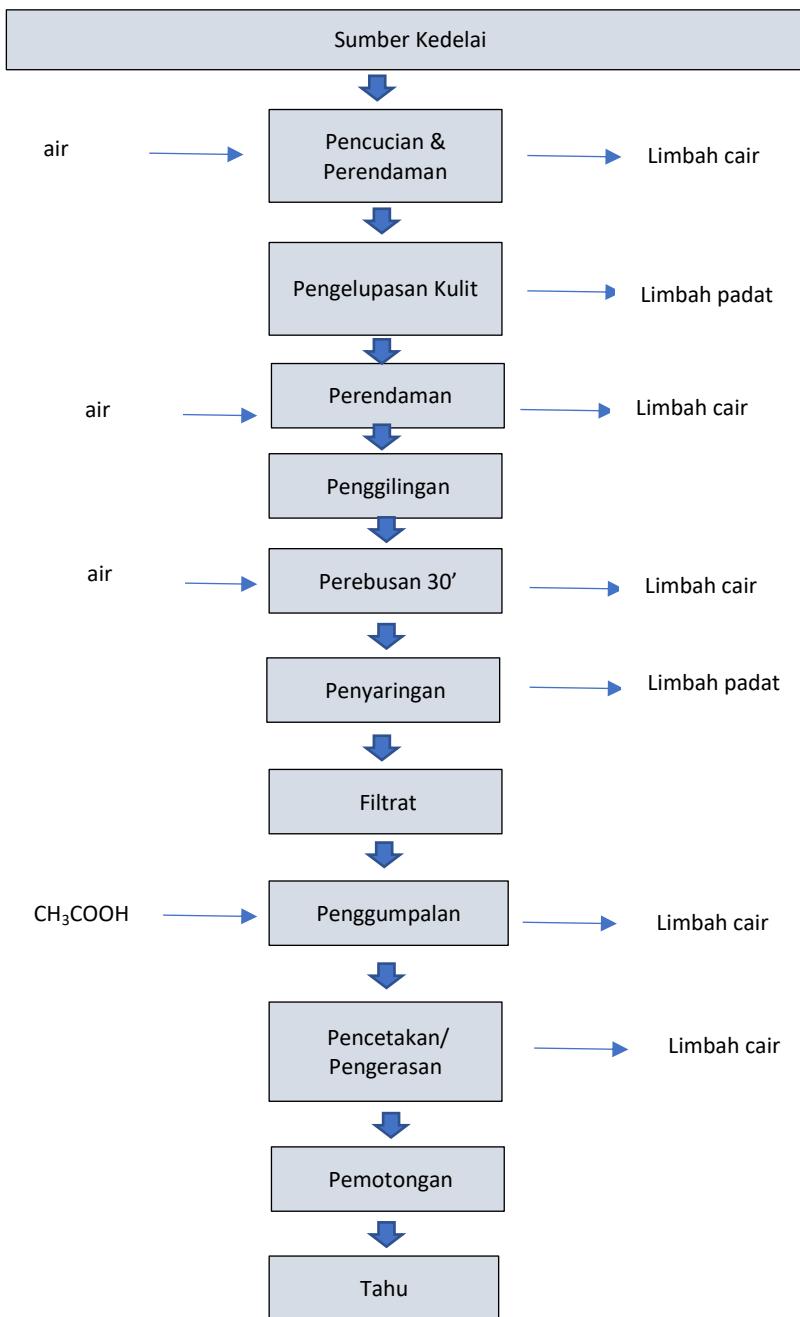
air limbah tahu yang mengandung bahan pencemar organik. Jika badan air memiliki jumlah oksigen terlarut yang cukup bagi mikroorganisme untuk berkembang biak, mikroorganisme akan dapat menguraikan polutan organik dengan oksigen. Jika oksigen terlarut tidak mencukupi, mikroorganisme akan menguraikan polutan organik secara anaerobik, menghasilkan senyawa sederhana seperti NH_3 , NO_2 , H_2S , dan PH_3 , yang akan membahayakan organisme perairan.

Masyarakat Indonesia sangat menyukai tahu. Konsumsi tahu terus meningkat setiap tahun. Konsumsi tahu per kapita Indonesia meningkat sebesar 3,27% pada tahun 2021, menjadi 0,158 kg per minggu (Alif Karnadi, 2022). Sebuah gabungan koperasi tahu tempe mengklaim bahwa terdapat lebih dari 160.000 pengrajin tahu tempe yang bekerja di rumah (Merdeka, 2022). Parameter BOD sebesar 2619,06 mg/L dan COD sebesar 5805,06 mg/L menunjukkan bahwa air limbah yang dihasilkan oleh aktivitas industri ini mengandung banyak polutan organik (Yulianto R. et al., 2020). Karena biaya tinggi untuk membangun unit pengolahan air limbah, kebanyakan produsen tidak mengolah air limbah sebelum membuangnya ke badan air. Fenomena ini pasti akan mencemari sungai, waduk, dan sumber air lainnya. Semua orang mengetahui bahwa air limbah tahu memiliki polutan organik dengan tingkat keasaman tinggi (Cahyani, 2021), yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan pada sungai dan sumber air lainnya.

3.1.1. Timbulan Limbah Proses Pembuatan Tahu

Di Indonesia, perajin skala rumah tangga secara tradisional memproduksi tahu dengan menggunakan peralatan sederhana. Tahu dibuat dari kedelai. Kandungan protein kedelai berkisar antara 31% dan 48%

(Mukhoyaroh Hanifah, 2015). Protein adalah polimer yang terdiri dari monomer asam amino. Nilai nitrogen terdapat dalam molekul asam amino $\text{NH}_2\text{-CHR-COOH}$. Ini adalah nitrogen yang dapat menyebabkan air limbah tahu berbau tidak sedap setelah didiamkan selama dua belas jam (Retnani, 2011). Nitrogen yang terdapat dalam asam amino protein air limbah tahu akan diuraikan oleh mikroorganisme secara anaerobik menjadi amonia NH_3 , yang memiliki bau tajam. Selain protein, kedelai mengandung senyawa organik lainnya seperti karbohidrat (25 hingga 50%), lemak (8 hingga 12%), dan vitamin (kalsium, besi, fosfor) (Retnani, 2011).



Gambar 9. Proses Industri Tahu dan Timbulan Limbah

Proses produksi tahu akan menghasilkan limbah padat dan cair. Limbah padat berasal dari proses perendaman, penyaringan, dan pengupasan kulit kedelai. Namun limbah cair berasal dari pencucian, perendaman, penggilingan, penggumpalan asam cuka, dan pencetakan dan pengecilan. Gambar 9 menunjukkan proses lengkap produksi tahu dan timbulan air limbah. Pilihan bahan baku dari kedelai berkualitas tinggi adalah langkah pertama dalam proses pembuatan tahu. Langkah selanjutnya adalah mencuci kedelai dengan air bersih untuk menghilangkan kotoran. Sjafruddin R et al. (2022) menyatakan bahwa pencucian yang baik menggunakan kedelai dengan perbandingan air 1:10 b/v. Proses pencucian ini menghasilkan air limbah yang mengandung bahan organik kedelai.

Untuk melunakkan kedelai, proses selanjutnya adalah perendamannya dalam air. Untuk menggiling kedelai, masukkan kedelai yang sudah bersih ke dalam wadah dengan air dengan rasio 1:3 b/v (Sjafruddin R. et al., 2022). Kemudian rendam selama beberapa jam, sekitar 3 hingga 12 jam, hingga seluruhnya terendam untuk memudahkan proses pengelupasan kulit. Setelah dikupas, kedelai kemudian direndam lagi untuk memudahkan penggilingan. Proses ini menghasilkan air limbah yang mengandung senyawa organik dan suspended solid yang berbau.

Proses penggilingan dilakukan dengan menggiling kedelai yang sudah dikupas kulitnya menggunakan penggiling, dan air tambahan ditambahkan untuk menggiling kedelai menjadi bubur. Proses ini dilakukan dengan air panas yang bersuhu antara 50°C hingga 70°C, dengan perbandingan kedelai dan air sekitar 1:1 b/v (Sjafruddin R. et al., 2022). Dengan menggunakan uap panas yang dihasilkan di dalam tungku, proses penggilingan ini menghasilkan sari kacang yang dapat dimasak. Air

limbah yang dihasilkan dari proses ini berwarna putih keruh dan mengandung senyawa organik yang menimbulkan bau.

Dengan rasio 1:2 b/v, pemasakan dilakukan dengan steam dicampur dengan air dingin (Sjafruddin R. et al., 2022). Selama proses penyaringan sari kedelai masak, limbah padat berbentuk ampas tahu menyumbang 8,2% dari limbah total dari proses pemasakan ini (Sjafruddin R. et al., 2022).

Dengan menambahkan 2,5% asam cuka (asam asetat, CH_3COOH), sari kedelai menggumpal, menghasilkan crud atau bahan tahu. Proses penggumpalan menghasilkan timbulan air limbah yang sangat asam yang terdiri atas senyawa organik.

Pencetakan atau pengepresan adalah proses selanjutnya. Setelah penggumpalan, crud yang dihasilkan dimasukkan ke dalam cetakan untuk pengepresan sampai tahu terbentuk. Air limbah dalam jumlah kecil digunakan sebagai timbulan limbah selama proses pengepresan.

Untuk mengukur keseimbangan bahan selama proses pengolahan tahu, Sjafruddin R. et al. (2022) menggunakan bahan baku kedelai sebanyak 150 kg per hari, dan diperoleh produk tahu sebanyak 420,65 kg per hari. Keseluruhan proses tersebut menghasilkan sampah padat sebesar 149,35 kg/hari dan air limbah sebesar 3.065,4 liter/150 kg/hari, atau 20,4 $\text{m}^3/\text{ton}/\text{hari}$. Proses pencucian dan penggumpalan menghasilkan air limbah yang paling banyak. Polutan organik akan dihasilkan dan mencemari perairan jika industri mengetahui bahwa mereka tidak mengelola limbahnya.

3.1.2. Karakteristik Air Limbah Tahu

Karakteristik air limbah yang dibuang selama proses pembuatan berbeda dengan air limbah industri lainnya karena berbagai industri menggunakan bahan baku dan proses yang berbeda. Karakteristik air limbah ini dapat diamati dari jumlah parameter fisika, kimia, dan biologi yang terkandung dalam air limbah. Parameter fisika seperti bau, suhu, bahan terlarut total (TDS), bahan terlarut total (TSS), dan lain-lain. Parameter kimia seperti kebutuhan oksigen biologi (BOD), kebutuhan oksigen kimiawi (COD), minyak dan lemak, nitrogen total, logam berat, dan lainnya. Selain itu, parameter biologi *total coliform*.

Air limbah tahu memiliki kandungan polutan organik yang tinggi sebagai ciri khasnya. Berikut adalah beberapa karakteristiknya:

a. Derajat keasaman (pH)

Air limbah diketahui sangat asam, dengan pH kurang dari 7. Asam cuka 2,5% yang digunakan selama proses penggumpalan setelah penggilingan sari kedelai menyebabkan keasaman ini. Nilai pH air limbah diketahui 4,21 (Sayow et al., 2020) dan 4,26 (Sjafruddin R. et al., 2022). Kandungan tersebut melebihi baku mutu yang dipersyaratkan dalam Peraturan Gubernur Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 yang mengatur bahwa nilai pH air limbah industri tahu yang dibuang ke badan air penerima harus berada pada kisaran 6,0 – 9,0.

b. TSS (*Total suspended solid*)

TSS dihasilkan dalam air limbah tahu selama penggilingan kedelai. Tahu bahwa solid yang tergantung di air limbah merupakan senyawa organik yang memiliki kemampuan untuk menimbulkan bau tidak sedap. Menurut beberapa penelitian, kandungan TSS air limbah tahu

adalah 760,80 mg/l (Sayow, F. et al., 2020). Untuk air limbah industri tahu, tingkat TSS tertinggi adalah 100 mg/l (Pergub Jateng, 2012). Air limbah industri dibuang ke badan air lingkungan tanpa diolah dan memiliki kualitas yang jauh di atas standar dan dapat mencemari badan air penerima.

c. **BOD (*Biological Oxygen Demand*)**

Kandungan BOD yang tinggi pada air limbah dikenal sebagai pencemar organik. Bahan pencemar organik adalah jenis yang mudah terurai oleh mikroorganisme. Penggunaan kedelai sebagai bahan utama dalam pembuatan tahu yang mengandung senyawa organik berprotein adalah sumber polutan organik *biodegradable* ini. Proses perendaman dan penggilingan menghasilkan timbulan limbah. Nilai BOD pada air limbah tahu yang tidak diolah adalah tinggi, mencapai 2634,88 mg/L, menurut penelitian (Yulianto et al., 2020). Menurut Pergub Jateng (2012), baku mutu maksimum air limbah tahu adalah 150 mg/L, tetapi angka ini jauh lebih tinggi. Air limbah industri dapat mencemari air dan menghasilkan bahan pencemar organik *biodegradable* yang dapat dirusak oleh bakteri.

d. **COD (*Chemical Oxygen Demand*)**

Air limbah juga mengandung banyak polutan organik yang tidak dapat didegradasi. Asam cuka, suatu senyawa organik dengan gugus karboksil, dapat menjadi sumber timbulan limbah dalam proses penggumpalan. Kedelai tidak hanya mengandung protein, tetapi juga mengandung selulosa, sebuah senyawa organik yang ditemukan dalam karbohidrat. Kandungan COD yang lebih tinggi ditemukan dalam sampel air limbah tahu, yang mencapai 5805,31 mg/L (Yulianto et al., 2020). Ini jauh lebih tinggi dari baku mutu COD maksimum limbah

tahu sebesar 275 mg/L (Pergub Jawa Tengah, 2012). Semua orang mengetahui bahwa air limbah dapat membawa polutan organik yang tidak dapat terbiodegradasi ke perairan.

e. Total Nitrogen

Air limbah mengandung nitrogen total, yang mungkin berasal dari sisa protein yang tidak menggumpal yang dihasilkan oleh asam cuka selama proses penggumpalan. Asam amino membentuk polimer yang disebut protein. Nitrogen yang ditemukan dalam air limbah akan menimbulkan pencemaran jika masuk ke badan air karena akan diubah menjadi nitrit, nitrat, dan amonia oleh mikroorganisme alami yang ada di dalam air. Struktur asam amino biasanya memiliki minimal unsur penyusun C, H, O, dan N. Rumus molekulnya umumnya adalah $\text{NH}_2\text{-CHR-COOH}$ (Pujiastuti et al., 2018).

3.1.3. Baku Mutu Air Limbah Tahu

Baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar dan/atau jumlah unsur pencemar yang diperbolehkan terdapat dalam air limbah yang suatu usaha dan/atau kegiatan akan dibuang atau dibuang ke suatu sumber air.

Peraturan Gubernur Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 tentang Perubahan Atas Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 10 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Limbah mengacu pada standar air limbah industri. Di bawah ini adalah tabel 3 yang menggambarkan detailnya:

Tabel 3. Baku Mutu Air Limbah Tahu

No	Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)	Beban Pencemaran Maksimum (mg/L)
1.	Temperatur	38°C	-
2.	BOD _s	150	3
3.	COD	275	5,5
4.	TSS	100	1
5.	pH	6,0 – 9,0	
6.	Debit Maksimum	20 m ³ / ton kedelai	

Sumber: Perda Jateng nomor 5/2012

Menurut baku mutu ini, jumlah zat pencemar yang ditemukan dalam air limbah industri tahu yang dapat dibuang dari outlet industri tahu. Angka pada parameter COD dan BOD menunjukkan jumlah polutan organik tertinggi dalam air limbah industri tahu yang dapat dibuang ke badan air penerima. Air limbah industri tahu yang dibuang ke badan air penerima seperti sungai memiliki kandungan pencemar organik maksimum sebesar 150 mg/L dan COD sebesar 275 mg/L, masing-masing, menurut parameter BOD dan COD, yang diperoleh dari uji laboratorium yang memenuhi syarat. Setiap industri harus mengetahui cara meningkatkan mutu air limbahnya sampai mencapai baku mutu sebelum dibuang ke badan air penerima seperti sungai. Jika hal ini tidak dilakukan, air sungai akan tercemar oleh kadar polutan organik yang tinggi dari industri tahu. Ini berpotensi menyebabkan pencemaran air yang signifikan. Menurut Sjafruddin R. et al. (2022), hasil analisis neraca bahan menunjukkan bahwa jika 150 kg bahan baku kedelai diolah setiap hari, produksi tahu sekitar 420,65 kg per hari, dan total limbah padat sekitar 149,35 kg per hari dan air limbah sekitar 3.065,4 liter/150 kg per hari, atau 20,4 m³ per ton per hari.

3.2. Biodegradability Index

Kemampuan suatu polutan organik untuk dipecahkan atau dipecah oleh bakteri menjadi senyawa yang lebih sederhana dikenal sebagai *biodegradability index*. Menurut Al-Rosyid (2019), perbandingan nilai BOD/COD dapat digunakan untuk menentukan *biodegradable index*. Semakin tinggi indeksnya, semakin kuat dalam menghancurkan polutan organik. Menurut Mangkoedihardjo dan Samudro (2010), zona stabil, zona *biodegradable*, dan zona toksik adalah tiga zona degradasi berdasarkan indeks BOD/COD.

Biodegradability Index dapat digunakan untuk menentukan bagaimana polutan organik diproses dalam air dan air limbah. Zona *biodegradable* dengan indeks antara 0,2 dan 0,5 menunjukkan bahwa air atau air limbah dapat diolah secara biologis untuk mengurangi jumlah polutan organik (Mangkoedihardjo & Samudro, 2010). Area dengan *biodegradable index* terdiri dari tiga wilayah. Wilayah pertama memiliki rasio BOD/COD lebih besar dari 0,6. Tempat ini memungkinkan proses pengolahan biologis untuk mencapai efisiensi pengobatan yang lebih tinggi karena bahan pencemar organik mudah terurai secara alami oleh mikroorganisme. Zona kedua dikenal sebagai zona biodegradasi yang lambat, di mana rasio BOD/COD berkisar antara 0,3 dan 0,6. Dalam zona ini, mikroorganisme masih dapat menguraikan kontaminan organik secara perlahan karena mereka perlu beradaptasi dengan air atau air limbah. Zona ketiga dikenal sebagai zona non-*biodegradable*, di mana rasio BOD/COD kurang dari 0,3 menunjukkan bahwa mikroorganisme tidak dapat menguraikan polutan (Putri, 2013). Tabel 4 menunjukkan pembagian zona indikator *biodegradable* (Tamyiz, 2015; Yustiani, 2020).

Tabel 4. Zona Biodegradability Index

Angka Rasio BOD/COD	Zona Biodegradability
> 0,6	<i>Biodegradable</i>
0,3 – 0,6	<i>Slow Biodegradable</i>
< 0,3	<i>Non-biodegradable</i>

3.3. Parameter BOD & COD

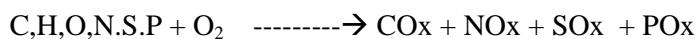
Parameter BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) dapat digunakan untuk mengukur tingkat polutan organik dalam air dan air limbah. Namun, pengukuran BOD dan COD dalam air dan air limbah industri harus dilakukan di laboratorium.

3.3.1. Parameter BOD

Dalam bahasa Indonesia, Kebutuhan Oksigen Biokimia disingkat KOB (BSN, 2009), sedangkan dalam bahasa Inggris, BOD disingkat BOD. KOB dan BOD sama, tetapi BOD digunakan dalam beberapa standar kualitas lingkungan. Setiap gen yang dibutuhkan organisme selama proses penguraian bahan organik dalam kondisi aerobik adalah baku mutu tertinggi, seperti air limbah tahu. Parameter BOD biasanya digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran air buangan. Penentuan BOD penting dalam menelusuri aliran pencemaran dari hulu hingga muara. Faktanya, pengukuran BOD adalah proses bioassay yang mengukur jumlah oksigen yang digunakan organisme untuk menguraikan bahan organik dalam air dalam kondisi yang sebanding dengan kondisi air di alam (Pujiastuti, 2018). BOD adalah jumlah miligram oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme aerobik untuk menguraikan bahan organik karbon dalam 1 L air selama 5 hari pada suhu $20^{\circ}\text{C} \pm 1$ hari (BSN, 2009).

Unsur-unsur yang membentuk polat organik adalah karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), sulfur (S), dan fosfor (P). Mikroorganisme dapat menguraikan polutan organik secara hayati. Mikroorganisme akan menguraikan senyawa organik secara aerobik, menghasilkan senyawa yang lebih sederhana.

Mikroba



Penguraian polutan organik dalam air oleh mikroorganisme merupakan proses alami, dan mikroorganisme mengkonsumsi oksigen terlarut dalam air selama proses degradasi. Ketika oksigen masih ada di dalam air, proses di mana mikroorganisme menguraikan polutan organik disebut proses aerobik. Karbon dioksida (COx), nitrogen oksida (NOx), sulfur oksida (SOx) dan fosfor oksida (POx) dihasilkan sebagai hasil proses degradasi aerobik polutan organik oleh bakteri aerob. Perlu diketahui bahwa proses ini menjadi dasar analisis BOD sampel air.

Proses degradasi polutan organik oleh mikroba membutuhkan waktu dan suhu reaksi tertentu. Dalam dua hari, reaksi dapat menghancurkan 50% polutan organik, dalam lima hari, reaksi dapat menghancurkan 75% polutan organik, dan selama dua puluh hari, seluruh polutan organik dalam sampel air dapat dihancurkan. Akibatnya, analisis BOD dapat digunakan untuk menghitung tingkat pencemaran bahan pencemar organik pada air sungai, air waduk, atau air limbah industri.

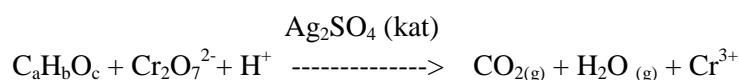
Dalam analisis BOD, reaksi biologis terjadi pada suhu 20°C, yang merupakan suhu ideal bagi bakteri untuk berkembang biak. Oleh karena itu, analisis BOD dilakukan dalam inkubator pada suhu 20°C selama 5

hari. Sering dijumpai BOD_5^{20} , apa maksudnya? Angka 5 menunjukkan waktu inkubasi dan angka 20 menunjukkan suhu inkubasi. BOD_5^{20} menunjukkan bahwa sampel diinkubasi selama lima hari pada suhu 200 derajat Celcius. Nilai BOD dihitung berdasarkan perbedaan konsentrasi oksigen terlarut pada hari 0 (nol) dan 5 (lima). Nilai BOD dapat dihitung dengan metode spektrofotometri dan metode titrimetri menggunakan botol Winkler (Pujiastuti, 2018).

3.3.2. Parameter COD

Chemical Oxygen Demand (COD) atau Kebutuhan Oksigen Kimia (KOK) adalah istilah yang mengacu pada jumlah oksigen (mg O₂) yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik dalam 1 liter air atau sampel air limbah industri melalui reaksi kimia. Sebagai sumber oksigen, kalium dikromat K₂Cr₂O₇ adalah bahan kimia yang digunakan sebagai katalisator (Pujiastuti, 2018). Jumlah oksidan Cr₂O₇⁻² yang bereaksi dengan sampel uji disebut COD, dan ini ditunjukkan dalam mg oksigen per 1.000 ml sampel uji (BSN, 2009).

Angka COD menunjukkan tingkat pencemaran air oleh zat organik non-*biodegradable* yang tidak dapat dioksidasi oleh mikroba secara alami dan zat organik *biodegradable* yang dapat dioksidasi oleh mikroba secara alami. Akibatnya, oksigen terlarut dalam air berkurang (Alaers & Santika 1987, Pujiastuti, 2018). Dengan bantuan katalisator argentum sulfat (AgSO₄) dan pemanasan, polutan organik dalam air dan air limbah industri akan dioksidasi oleh K₂Cr₂O₇ menjadi gas CO₂, gas H₂O, dan Cr³⁺, dengan reaksi sebagai berikut:



BAB IV

BAGAIMANA MEMPREDIKSI POLUTAN ORGANIK DALAM AIR PERMUKAAN & AIR LIMBAH DENGAN BOD & COD?

Untuk melanjutkan topik buku ini, digunakan metode penelitian deskriptif laboratorium; ini berarti memecahkan masalah berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian sampel di laboratorium. Air sungai dan air waduk adalah sampel air permukaan. Namun, air limbah industri tahu dan laundry adalah sampel air limbah. Untuk sampel penelitian, air limbah yang mengandung banyak polutan organik dipilih. Peraturan Gubernur Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah mengatur angka BOD dan COD pada sampel tersebut. Sesuai SNI No. 6989.72:2009, parameter BOD dianalisis dengan metode titrasi Winkler, sedangkan analisis COD dilakukan dengan metode spektrofotometri sesuai SNI No. 6989.2:2009 (BSN, 2009).

Untuk melakukan analisis BOD, digunakan botol Winkler, inkubator BOD yang bersuhu $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, labu takar, pipet volume, spektrofotometer UV-vis, dan timbangan analitik. Selain itu, alat yang digunakan untuk analisis COD termasuk *digestion vessel* ukuran 16 mm x 100 mm bertutup ulir, kotak pemanas (*heating block*), yang merupakan pemanas yang memiliki lubang di dalam penyangga tabung, labu takar, pipet volume, dan spektrofotometer uv-vis.

Bahan untuk analisis BOD adalah:

- a. Untuk membuat larutan mangan sulfat ($MnSO_4 \cdot 4H_2O$; $MnSO_4 \cdot 2H_2O$; atau $MnSO_4 \cdot H_2O$), larutkan 480 gram $MnSO_4 \cdot 4H_2O$, atau 400 gram $MnSO_4 \cdot 2H_2O$, atau 364 gram $MnSO_4 \cdot H_2O$ di dalam 1.000 ml aquadest pada labu takar 1.000 ml.
- b. Larutan alkali iodida azida yang disiapkan melalui pemisahan:
 - 1) 500 gram atau 700 gram KOH dikombinasikan dengan 135 gram NaI atau 150 gram KI dengan 100 ml *aquadest*.
 - 2) 10 gram NaN_3 (Natrium Azida) dalam 100 ml *aquadest*.
Selanjutnya, dalam labu takar 1.000 ml, campurkan kedua campuran dan tambahkan aquadest sampai tanda tera, kemudian dinginkan.
- c. Asam sulfat (H_2SO_4) pekat.
- d. Timbang lima gram pati untuk larutan kanji (pati) 0,5% dan campurkan dalam gelas dengan aquadest hingga 100 mililiter. Kemudian panaskan selama dua menit hingga larutan menjadi jernih opaleschen.
- e. Untuk membuat larutan natrium tiosulfat ($Na_2S_2O_4 \cdot H_2O$) 0,025N, masukkan 6,205 gram $Na_2S_2O_4 \cdot H_2O$ ke dalam labu takar 1 L, larutkan dengan sedikit aquadest yang telah dididihkan (tanpa oksigen), lalu tambahkan 1,5 ml NaOH 6 N untuk mengawetkan, dan tambahkan aquadest sampai tanda tera muncul.
- f. Air bebas organik.

Bahan untuk analisis COD adalah:

- a. *Digestion solution*, dibuat dengan menambah 10,216 gram $K_2Cr_2O_7$ yang telah dikeringkan selama dua jam pada suhu 150°C ke dalam 500

ml air bebas organik. Tambah 33,3 g HgSO₄ dan 167 ml H₂SO₄ pekat. Setelah dilarutkan, dinginkan hingga suhu ruang. Tambahkan air bebas organik hingga 1.000 ml. Catatan: Larutan ini digunakan untuk air limbah yang diproyeksikan mengandung lebih dari 100 mg/L polutan organik.

- b. Larutan pereaksi asam sulfat, dalam 1.000 ml H₂SO₄ pekat, larutkan 10,12 gram kristal Ag₂SO₄ atau serbuk dan kemudian aduk dengan stirer magnetic hingga larut.
- c. Larutan baku Kalium Hidrogen Phtalat (HOOCC₆H₄COOK) \approx COD 500 mg O₂/L. Menggiling kalium hidrogen ftalat (KHP) secara perlahan dan mengeringkannya hingga berat konstan pada suhu 110°C adalah metode yang digunakan untuk membuat larutan standar. Larutkan 425 mg KHP dalam air bebas organik dan sesuaikan hingga 1.000 ml. Larutan stabil disimpan pada suhu rendah 4°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) dan dapat digunakan selama satu minggu selama tidak ada pertumbuhan mikroba. Namun, solusi harus disiapkan setiap dua minggu sekali. Siapkan larutan baku KHP dengan COD 1000 mgO₂/L jika nilai COD sampel uji lebih dari 500 mg/L.
- d. Asam sulfamat (NH₂SO₃H), digunakan dalam kasus di mana sampel air mengalami gangguan nitrit. Untuk setiap 1 mg NO₂-N dalam sampel uji, tambahkan 10 mg asam sulfamat.
- e. Air bebas organik menggunakan *aquabidest*.

4.1. Cara Kerja Analisis BOD Metode Titrasi Winkler

Sehubungan dengan SNI 6989-59-2008, sampel uji diambil untuk analisis BOD. Sampling dimulai dengan menyiapkan wadah sampel:

1. Bersihkan botol dan tutupnya dengan detergen bebas fosfat, lalu bilas dengan air bersih;
2. Bersihkan botol dengan asam klorida (HCl) 1:1, bilas 3 kali dengan air bebas analit, dan biarkan kering. Setelah kering, tutup botol dengan rapat. Botol siap untuk diambil sampelnya.

Selanjutnya, ambil sampel dalam volume yang melebihi dengan volume botol Winkler untuk analisis DO sebelum dan sesudah inkubasi, yang dilakukan secara duplo. Ini karena sampel harus meluap ketika dimasukkan ke dalam botol Winkler, jadi perlu mempertimbangkan volume sampel saat diambil agar cukup untuk analisis. Misalnya, digunakan empat buah botol Winkler berukuran \pm 300 ml dengan minimal ukuran sampel 1.500 ml. Masukkan sampel representatif sebesar 1.500 ml ke dalam 4 buah botol Winkler sampel sampai meluap.

Analisis BOD dilakukan dengan titrasi Winkler (BSN, 2009).

- a. Siapkan dua botol Winkler bersih untuk analisis DO. Botol diberi label A₁ untuk DO nol hari dan A₂ untuk DO 5 hari.
- b. Tempatkan contoh uji yang sudah siap diencerkan (bila perlu) ke dalam masing-masing botol Winkler A₁ dan A₂ hingga meluap, kemudian tutup dengan hati-hati untuk menghindari terbentuknya gelembung udara yang dapat mengganggu pengujian.
- c. Kocok sampel secara perlahan beberapa kali dan tambahkan air bebas mineral di sekitar mulut botol Winkler yang tertutup.
- d. Tempatkan botol Winkler A₂ dalam inkubator BOD pada suhu 20°C \pm 1°C selama 5 hari.
- e. Pengukuran DO dilakukan pada botol Winkler A₁ menggunakan metode titrasi iodometri (SNI 06-6989.14-2004). Hasil pemeriksaan

adalah nilai DO nol hari (A_1). Perlu diingat bahwa pengukuran DO harus dilakukan setidaknya 30 menit setelah pengenceran pada hari yang sama.

- f. Lakukan pengukuran DO selama 5 hari pada botol Winkler A_2 yang telah diinkubasi selama 5 hari \pm 6 jam. Nilai DO 5 hari (A_2) adalah hasilnya.
- g. Untuk penetapan blanko menggunakan larutan pengencer tanpa sampel uji, ulangi prosedur 1-6. Nilai DO nol hari (B_1) dan DO 5 hari (B_2) adalah hasil tes.
- h. Untuk beberapa pengenceran sampel uji, ulangi prosedur 1-6.
- i. Lakukan analisis duplo.
- j. Hitung angka BOD menggunakan rumus berikut (Alaerts & Santika, 1987 dalam Pujiastuti, 2018):

$$BOD_{5^{20}} = \frac{(A_1 - A_2) - (B_1 - B_2)(1 - P)}{P}$$

Keterangan:

$BOD_{5^{20}}$: $BOD_{5^{20}}$: nilai BOD sampel uji (mg/L)

A_1 : DO sampel uji nol hari (mg O₂/L)

A_2 : Kadar DO sampel uji setelah inkubasi 5 hari (mg/L)

B_1 : kadar DO blangko nol hari sebelum inkubasi (mg/L)

B_2 : Kadar DO blangko setelah inkubasi 5 hari (mg/L)

P : Faktor pengenceran

4.2. Analisis COD Metode Spektrofotometri

Metode refluks tertutup dapat digunakan untuk melakukan analisis COD pada sampel air. Ini mempercepat proses oksidasi kalium dikromat dan mendegradasi zat pencemar organik. Selanjutnya, spektrofotometer digunakan untuk menghitung absorbansi yang dihasilkan oleh proses degradasi. Menurut BSN (2009), prosedur kerjanya adalah sebagai berikut:

1. Persiapan alat dan sampel

- a. Sebelum digunakan, *digestion vessel* dan tutupnya dicuci dengan H_2SO_4 20%.
- b. Jika sampel uji mengandung padatan tersuspensi, sampel dihaluskan dengan blender.

2. Pengawetan sampel uji

Apabila sampel uji tidak dapat dianalisis segera, sampel harus diawetkan dengan menambahkan H_2SO_4 pekat hingga pH kurang dari

2. Kemudian, sampel harus disimpan dalam lemari es pada suhu 4°C (plus atau minus 2 °C) untuk waktu penyimpanan maksimal 7 hari. Jika sampel uji tidak dianalisis pada hari ke-7, sampel tersebut tidak lagi layak untuk dianalisis dan harus diambil kembali.

3. Pembuatan larutan kerja

- a. Siapkan rangkaian larutan kerja dari larutan induk KHP secara proporsional dalam rentang pengukuran sampel, berisi 1 (satu) blanko dan paling sedikit 3 kadar berbeda.
- b. Melakukan pengolahan dengan cara yang mirip dengan sampel uji.
- c. Untuk mengukur absorbansi, spektrofotometer digunakan pada 600 nm (untuk sampel dengan nilai COD 100 hingga 900 mg/L)

- atau 420 nm (untuk sampel dengan nilai COD kurang dari 90 mg/L).
- d. Dengan menggunakan data serapan, persamaan regresi linier $Y=aX+b$ digunakan untuk menghitung nilai COD sampel uji.
4. Metode untuk mengukur COD dalam sampel air menggunakan spektrofotometri (BSN, 2009)

Tahap 1. Proses digestion

- a. Pipet 2,5 ml sampel yang akan diuji, masukkan ke dalam *digestion vessel* berukuran 16 mm x 100 mm bertutup ulir, tambahkan 1,5 ml *digestion solution* dan tambahkan 3,5 ml larutan pereaksi asam sulfat.
- b. Tutup rapat *digestion vessel* dan kocok perlahan hingga merata.
- c. Ulangi langkah a dan b untuk larutan kerja dan blanko.
- d. Letakkan *digestion vessel* pada blok pemanas yang telah dipanaskan hingga suhu 150°C dan direfluks selama 2 jam.

Tahap 2. Proses pengukuran sampel uji

- a. Dinginkan sampel uji yang direfluks secara perlahan hingga suhu ruang untuk mencegah pembentukan endapan. Bila perlu, sesekali buka tutup *digestion vessel* untuk mencegah tekanan gas saat pendinginan.
- b. Diamkan suspensi dan pastikan bagian yang akan diukur benar-benar jernih.
- c. Absorbansi sampel uji, larutan kerja, dan blanko diukur pada λ 600 nm (untuk sampel dengan perkiraan nilai COD 100 - 900 mg/L)

atau 420 nm (untuk sampel dengan perkiraan nilai COD \leq 90 mg/L).

- d. Menghitung nilai COD berdasarkan persamaan linier kurva kalibrasi.
- e. Lakukan analisis duplo.

4.3. Prediksi Polutan Organik *Non-biodegradable* dalam Air

Ada kemungkinan untuk menggunakan hasil analisis BOD dan COD untuk memprediksi jumlah zat pencemar organik *biodegradable* dan *non-biodegradable* dalam air limbah. Prinsip analisis BOD dan COD menunjukkan hal ini. Analisis BOD adalah suatu cara untuk mengukur jumlah polutan organik yang dapat didegradasi oleh mikroorganisme. Analisis COD, di sisi lain, adalah teknik untuk menilai keberadaan bahan pencemar organik yang dapat diuraikan oleh mikroorganisme (*biodegradable*) dan yang tidak dapat diuraikan oleh senyawa kalium dikromat (*non-biodegradable*). Menghitung metode ini dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Polutan Organik Non Biodegradable } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \text{nilai COD} - \text{nilai BOD}$$

Tamyis (2015) menyatakan bahwa dua parameter uji sederhana, *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD), dapat digunakan untuk mengukur tingkat polutan organik. Koda dkk (2017) juga menyatakan bahwa angka BOD hanya mengukur tingkat polutan organik *biodegradable*, sedangkan angka COD menunjukkan jumlah total zat organik *biodegradable* dan *non biodegradable*.

4.4. Prediksi *Biodegradability Index*

Untuk menentukan *biodegradability index*, data BOD dan COD dapat digunakan. Kemampuan mikroorganisme untuk menguraikan polutan organik (biodegradasi) dapat diukur dengan membandingkan angka BOD dan COD pada air limbah yang telah diuji di laboratorium (Tamyiz, 2015; Yustiani, 2020).

$$\textit{Biodegradability index} = \textit{BOD/COD}$$

BAB V

PREDIKSI POLUTAN ORGANIK

BIODEGRADABLE DAN NON-BIODEGRADABLE

MELALUI BOD & COD

5.1. BOD COD Air Permukaan & Air Limbah Industri

5.1.1. BOD & COD Air Permukaan

Untuk menghitung angka BOD dan COD air permukaan, sampel air sungai dan waduk diambil. Lokasi pengambilan sampel air Sungai Bengawan Solo terletak di sekitar jembatan jurug karena di hulu sungai ada banyak sumber limbah yang dihasilkan oleh aktivitas masyarakat yang berbeda. Sedangkan pengambilan sampel air dilakukan di berbagai lokasi di perairan Waduk Gajah Mungkur Wonogiri meliputi zona wisata, zona bebas, zona karamba dan zona tengah. Air sungai bengawan solo dan air waduk Gajah Mungkur dimanfaatkan sebagai sumber air baku oleh PDAM Surakarta dan PDAM Wonogiri. Hasil uji laboratorium sampel air Sungai Bengawan Solo disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Angka BOD & COD Air Sungai

Kode sampel	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
AS - 1	4,63	16,54
AS - 2	1,49	11,49
AS - 3	2,19	7,16
AS - 4	1,14	9,43
AS - 5	4,53	15,67

Pada musim kemarau, tingkat BOD air Sungai Bengawan Solo di titik jembatan jurug berkisar antara 1,14 mg/L dan 4,63 mg/L. Jumlah antara 1,14 mg dan 4,63 mg per liter air sungai menunjukkan jumlah oksigen biologis yang diperlukan. Untuk berkembang biak dan menguraikan zat pencemar organik, mikroorganisme pada air sungai dapat menguraikan zat pencemar organik secara aerobik menjadi senyawa yang lebih sederhana, yang mencemari air. Maksimal 2 mg/L adalah baku mutu BOD untuk air sungai primer yang ditetapkan sebagai air baku minum (PP 22 tahun 2021).

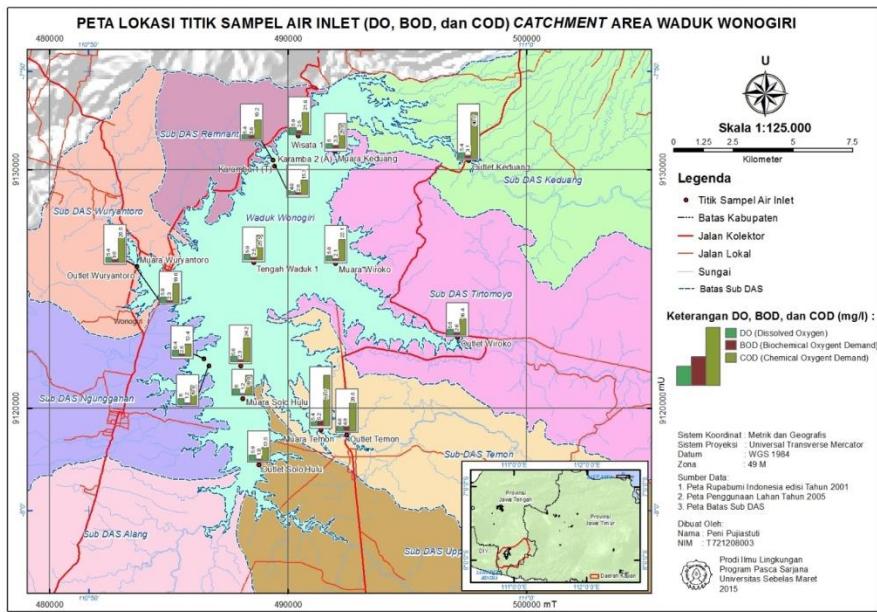
Sampel AS-2 dan AS-4 memenuhi baku mutu air sungai, tetapi sampel AS-1, AS-3 dan AS-5 menunjukkan melebihi baku mutu. Hal ini menyebabkan pencemaran air sungai, seperti yang ditunjukkan oleh sampel AS-1, AS-3 dan AS-5. Pada musim kemarau, BOD air di hulu Sungai Bengawan Solo adalah 2,1 mg/L, dan pada musim hujan, 5,2 mg/L (Pujiastuti, 2016). Hasil analisis COD air sungai Bengawan Solo berkisar dari 7,16 mg/L hingga 16,54 mg/L. Nilai COD lebih tinggi daripada nilai BOD karena uji COD menggunakan proses oksidasi senyawa kalium dikromat untuk mengoksidasi polutan organik baik yang *biodegradable* maupun *non-biodegradable*. Jumlah oksigen kimia yang diperlukan untuk sampel AS-1 sebesar 16,54 mg per liter air sungai sebanding dengan jumlah polutan *biodegradable* dan *non-biodegradable* yang ada di air sungai. Jumlah COD di Sungai Bengawan Solo Hulu adalah 15,9 mg/L pada musim kemarau dan 15,6 mg/L pada musim hujan, menurut Pujiastuti (2016).

Tabel 6 menunjukkan hasil uji laboratorium parameter BOD dan COD pada sampel air waduk Gajah Mungkur.

Tabel 6. Angka BOD & COD Air Waduk

Kode sampel	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
AW - 1	2,3	24,2
AW - 2	3,6	30,5
AW - 3	3,7	13,9
AW - 4	2,6	15,3
AW - 5	2,7	11,0

Selama musim kemarau di bulan Mei, lima zona air waduk dikumpulkan: sampel AW-1 dari zona wisata, sampel AW-2 dari zona bebas, sampel AW-3 dari zona karamba 1, sampel AW-4 dari zona karamba 2, dan sampel AW-5 dari tengah waduk. Waduk Gajah Mungkur Wonogiri digunakan untuk budidaya ikan melalui karamba jaring apung, serta sebagai air baku minum untuk PDAM dan tempat rekreasi. Nilai BOD air waduk berkisar antara 2,3 mg/L hingga 3,7 mg/L. Dibandingkan dengan baku mutu air waduk kelas 1, yang digunakan sebagai air minum domestik, semua sampel tidak memenuhi baku mutu PP 22 tahun 2021, yaitu 2 mg/L. Sebaliknya, sampel AW-2 dan AW-3 melebihi baku mutu untuk air perikanan (3 mg/L). Sebaran polutan organik BOD dan COD di area waduk Gajah Mungkur pada tahun 2015 disajikan pada Gambar 10. berikut:



Gambar 10. Sebaran BOD & COD waduk Gajah Mungkur

Sumber: Data Pribadi (2015)

Ini menunjukkan bahwa bahan pencemar organik mencemari air waduk. Kegiatan di hulu yang mengalir melalui sungai yang masuk ke waduk, seperti Keduang, Wiroko, Temon, Bengawan Solo Hulu, Unggahan, dan Wuryantoro, adalah sumber limbah air waduk (Pujiastuti, 2016). Budidaya ikan dalam karamba jaring apung adalah sumber limbah dari aktivitas waduk. Ketika ikan diberi pakan, kotoran ikan dan sisa makanan ikan yang tidak terkonsumsi dapat mencemari lingkungan (Pujiastuti, 2016). Nilai COD berkisar antara 11,0 mg/L dan 30,5 mg/L, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6. Semua sampel melebihi baku mutu COD air waduk kelas 1, yang memiliki batas 10 mg/L, dan baku mutu COD air waduk kelas 2 memiliki batas 25 mg/L. Jika dibandingkan dengan baku mutu kelas 1, semua sampel melebihi baku mutu tersebut, dan ini dapat menyebabkan pencemaran air waduk.

5.1.2. BOD dan COD Air Limbah Industri

Dalam penelitian ini, air limbah dari industri tahu, laundry, bihun, dan sablon diuji. Dipilih metode pengambilan sampel (*grab sampling*) untuk pengambilan sampel yang representatif. Tabel 7 menunjukkan pengukuran BOD dan COD air limbah untuk industri yang diketahui dan industri lainnya.

Tabel 7. Angka BOD & COD Air Limbah Tahu

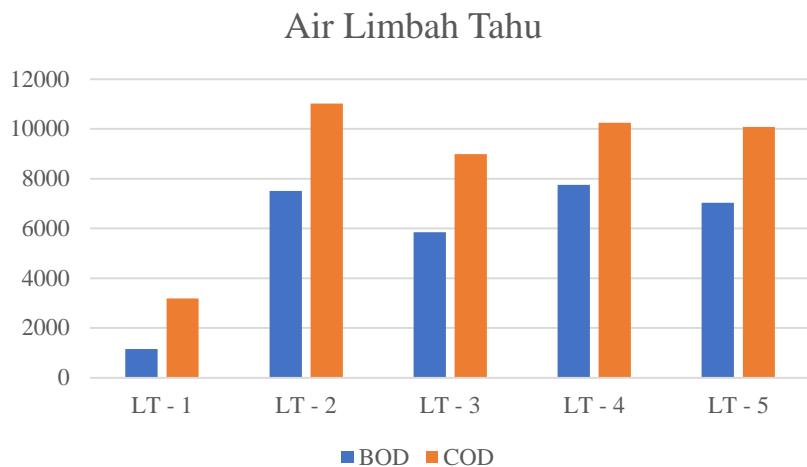
Kode sampel	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
LT - 1	1.150,35	3.188,52
LT - 2	7.507,50	11.016,00
LT - 3	5.852,95	8.992,00
LT - 4	7.749,21	10.252,50
LT - 5	7.036,55	10.086,83

Menurut data pada Tabel 7, sampel air limbah tahu yang dikumpulkan dari bagian equalisasi beberapa industri tahu di daerah Krajan Mojosongo Surakarta menunjukkan nilai BOD 1.150,35 mg/L hingga 7.749,21 mg/L, sedangkan nilai COD 3.188,52 mg/L hingga 10.086,83 mg/L. Sampel kode LT-1 memiliki konsentrasi polutan organik *biodegradable* terkecil per liter air limbah tahu, dengan 1150,30 mg polutan organik *biodegradable*. Sampel kode LT-4 memiliki konsentrasi BOD tertinggi, dengan 7.749,21 mg polutan organik *biodegradable* per liter air limbah tahu. Angka BOD dan COD relatif tinggi.

Angka BOD dan COD yang tinggi pada limbah cair tahu adalah 11628 mg/L, yang ditunjukkan dalam penelitian Retnani R.D. (2011). Kedelai, yang mengandung banyak senyawa organik, adalah sumber limbah yang menghasilkan angka ini. Kedelai terdiri dari 40-60% protein, 25-50% karbohidrat, 8-12% lemak, dan vitamin, kalsium, dan zat besi

(Retnani R.D., 2011). Air limbah mengandung senyawa organik selama proses penggilingan kedelai menjadi pasta dan pemerasan untuk mendapatkan sari kedelai. Air limbah akan mencemari lingkungan jika industri tidak mengelola dan membuangnya langsung ke sungai dan badan air penerima lainnya. Mikroorganisme akan menguraikan sampah organik. Industri perlu menyadari bahwa penting untuk mengelola air limbah sampai memenuhi standar mutu sebelum dibuang ke sungai.

Sebagaimana diatur dalam Peraturan Gubernur Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012, air limbah industri tahu yang dibuang ke sungai dan badan air penerima lainnya harus memiliki kandungan pencemar organik maksimal sebesar 150 mg/L dan kebutuhan oksigen kimia sebesar 275 mg/L. Pembuangan air limbah tahu ke sungai akan meningkatkan kandungan pencemar organik yang ada sehingga menimbulkan pencemaran lingkungan di sungai, karena melebihi baku mutu air sungai dan waduk kelas dua yaitu kebutuhan oksigen biokimia maksimum adalah 3 mg/L dan angka COD adalah 25mg/L yang diatur dalam PP 22 Tahun 2021. Tingginya angka BOD dan COD yang terdeteksi pada sampel air limbah tahu ditunjukkan pada grafik pada Gambar 11.



Gambar 11. BOD & COD Air Limbah Tahu

Air limbah industri tahu bukan satu-satunya industri yang telah diteliti; air limbah laundry dan bihun adalah beberapa industri lainnya. Hasil uji laboratorium metode Winkler menunjukkan BOD air limbah laundry yang cukup tinggi, berkisar antara 1150,35 mg/l dan 7749,21 mg/l. Setiap liter air limbah laundry mengandung 1150,35 mg hingga 7749,21 mg polutan organik yang dapat terbiodegradasi. Studi ini menguji BOD dan COD pada beberapa sampel air limbah industri: sampel Ll-1 sampel air limbah industri laundry, Ll-2 sampel air limbah industri laundry, Ll-3 air limbah industri bihun, Ll-4 air limbah industri tempe, Ll-5 air limbah industri sablon. Tabel 8 menunjukkan hasil tes.

Tabel 8. Angka BOD & COD Air Limbah Industri

Kode sampel	BOD (mg/L)	COD (mg/L)
Ll - 1	55,30	240,00
Ll - 2	5,61	35,14
Ll - 3	6,71	50,22
Ll - 4	683,33	1651,00
Ll - 5	60,36	291,57

Dari lima sampel air limbah industri yang diuji, air limbah industri tempe memiliki angka BOD dan COD tertinggi. Pada saat yang sama, kualitas air kedua sampel air limbah laundry berbeda, yang menunjukkan bahwa volume pencucian kedua industri tersebut berbeda; Ll-1 adalah industri laundry dengan volume pencucian rata-rata lebih dari 50 kg/hari. Kelima sampel air limbah industri menunjukkan angka BOD dan COD yang berbeda-beda tergantung pada proses produksi masing-masing industri. Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tahun 2016 menetapkan batas BOD 30 mg/L dan COD 100 mg/L untuk air limbah dari industri laundry. Berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa angka BOD dan COD air limbah laundry melebihi baku mutu yaitu BOD 263 mg/L dan COD 952 mg/L (Pungus et al., 2020), BOD 101,77 mg/L, dan COD 266,40 mg/L (Maria et al, 2015).

5.2. Prediksi Polutan Organik *Biodegradable* dan *Non-Biodegradable*

Jumlah pencemar organik dalam air limbah industri dan air permukaan dapat diperkirakan berdasarkan uji BOD dan COD yang ditunjukkan pada Tabel 5, Tabel 6, dan Tabel 7. Jumlah polutan organik yang dapat terbiodegradasi menggunakan metode nilai BOD, serta jumlah

polutan organik yang tidak dapat terurai menggunakan metode pendekatan nilai BOD dan COD, dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Jumlah polutan organik non biodegradable} = \text{Angka COD} - \text{angka BOD}$$

5.2.1. Polutan Organik *Biodegradable* dan *Non-biodegradable* Air Limbah Industri

Seperti yang dinyatakan oleh Koda et al. (2017), data COD menunjukkan keseluruhan kandungan bahan organik *biodegradable* dan *non-biodegradable*, sedangkan angka BOD hanya mengukur polutan organik *biodegradable*. Berdasarkan data COD dan BOD yang ditunjukkan pada Tabel 7, dapat diprediksi kandungan bahan pencemar organik *biodegradable* dan *non-biodegradable* pada sampel air limbah berikut:

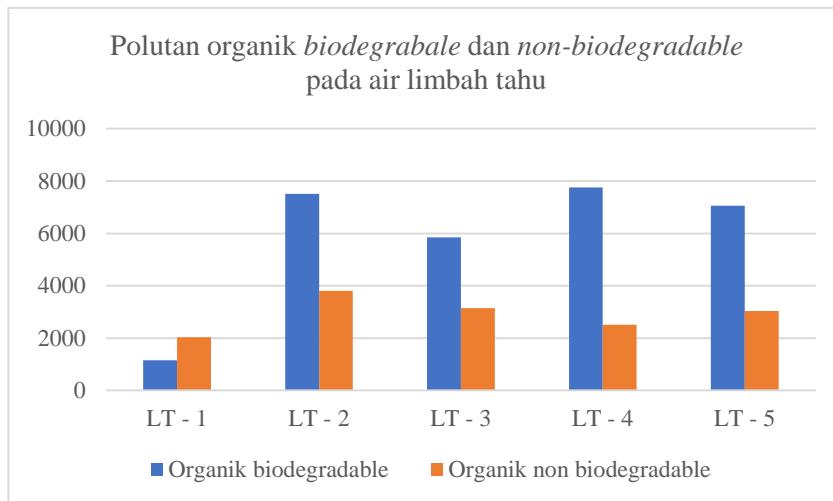
Tabel 9. Jumlah Polutan *Biodegradable* dan *Non-biodegradable* Air Limbah Tahu

Sampel	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	Polutan organik (mg/L)	
			<i>Biodegradable</i>	<i>Non-biodegradable</i>
LT-1	1150,35	3188,52	1150,35	2038,17
LT-2	7507,50	11016,00	7507,50	3805,5
LT-3	5852,95	8992,00	5852,95	3139,05
LT-4	7749,21	10252,50	7749,21	2503,29
LT-5	7056,55	10086,83	7056,55	3030,28

Pada sampel LT-1, ada 1150,35 mg polutan organik *biodegradable* per liter air limbah tahu. Air limbah tahu yang langsung dibuang ke badan air tanpa proses pengolahan mengandung tingkat polutan organik antara 5852,95 mg/l dan 7749,21 mg/l. Setiap liter air limbah tahu yang dibuang langsung ke sungai menghasilkan bahan pencemar organik *biodegradable*

yang mudah terurai oleh mikroorganisme sebesar 5852,95 mg sampai 7749,21mg. Mikroorganisme aerobik menguraikan zat pencemar organik menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti CO_x, NO_x, SO_x, dan PO_x ketika ada jumlah oksigen yang cukup terlarut dalam air sungai. Hal ini sering terjadi pada musim hujan, ketika sungai menerima lebih banyak air dari hulu dan dari hujan, meningkatkan kadar oksigen dalam air sungai. Namun, mikroorganisme anaerobik bertanggung jawab atas degradasi jika kadar oksigen terlarut mulai menipis.

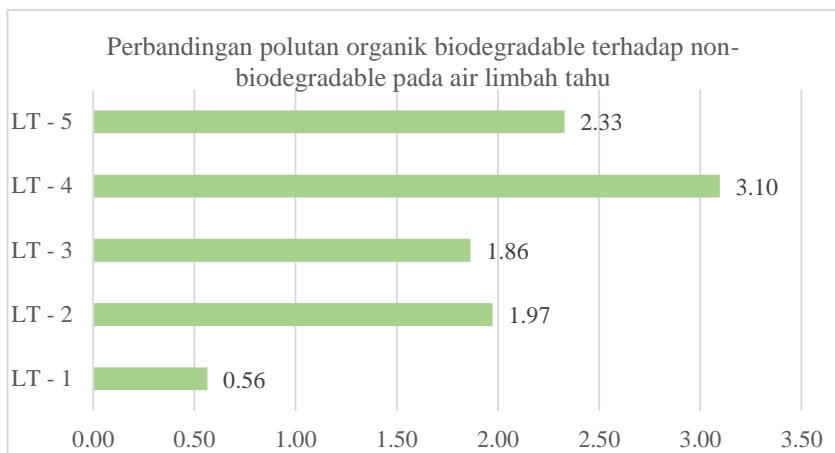
Mikroorganisme anaerobik memecah atau menguraikan polutan organik menjadi senyawa lebih sederhana seperti CH₄, H₂S, NH₃, dan PH₃. Senyawa H₂S, yang merupakan hidrogen sulfida, dan NH₃, yang merupakan ammonia, memiliki bau fisik yang tidak menyenangkan. Senyawa inilah yang membuat air limbah tahu berbau. Dengan mengetahui berapa banyak polutan organik yang ada, metode pengolahan biologis yang tepat dapat dengan mudah dibuat untuk mengurangi polutan. Ada dua jenis bahan pencemar organik: organik *biodegradable* dan non-*biodegradable*. Tabel 9 dan Gambar 12 menunjukkan peningkatan lebih dari dua kali lipat dalam jumlah polutan organik *biodegradable* dibandingkan dengan yang non-*biodegradable*.



Gambar 12. Organik *Biodegradable* dan *Non-biodegradable* Air Limbah Tahu

Ditemukan bahwa ada 2038,07 mg/L bahan pencemar organik *non biodegradable* pada sampel air limbah, dengan kandungan tertinggi 3805,5 mg/L dan rata-rata 2903,26 mg/L. Menurut Pergub Jateng Nomor 5 tahun 2012 tentang baku mutu air limbah industri, konsentrasi bahan pencemar organik harus tidak melebihi baku mutu air limbah tahu sebesar 150 mg/l.

Dari lima sampel yang diperiksa, senyawa organik *biodegradable* lebih banyak daripada senyawa organik *non-biodegradable*. Sampel LT-1 mengandung lebih banyak polutan organik *non-biodegradable*, dengan perbandingan 1:0,5. Perbandingan lengkap kandungan polutan organik *biodegradable* dengan *non-biodegradable* pada sampel air limbah tahu ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Perbandingan Polutan Organik *Biodegradable* Terhadap *Non-biodegradable* Air Limbah Tahu

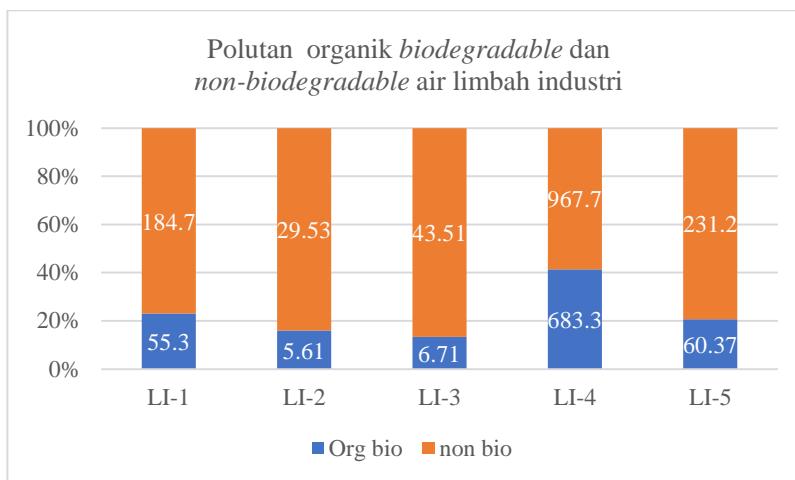
Salah satu metode yang dapat digunakan industri untuk mengurangi polutan organik adalah proses lumpur aktif. Selain itu, proses kimia yang menggunakan reagen Fenton juga dapat mengurangi polutan organik baik *biodegradable* maupun *non-biodegradable*. Penelitian Wahyuningsih R. (2022) menemukan bahwa penambahan reagen Fenton ke air limbah dapat menurunkan COD sebesar 93–96%.

Jumlah polutan yang dapat terbiodegradasi dan tidak terbiodegradasi bervariasi berdasarkan proses pengolahan industri, menurut sampel air limbah industri lainnya yang diperiksa. Sebuah sampel industri laundry diuji pada dua sampel industri yang berbeda. Sampel LI-1 memiliki kapasitas pencucian yang lebih besar dari LI-2, dan menunjukkan lebih banyak polutan *biodegradable* dan *non-biodegradable* LI-1 daripada LI-2. Polutan organik *biodegradable* pada air limbah industri bahan adalah 6,71 mg/L, sedangkan polutan organik *non-biodegradable* adalah 43,51 mg/L. Tabel 10 menunjukkan jumlah total polutan dalam sampel industri laundry.

Tabel 10. BOD & COD Air Limbah Industri

Sampel	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	Polutan organik (mg/L)	
			<i>Biodegradable</i>	<i>Non-biodegradable</i>
LI-1	55,30	240,00	55,30	184.7
LI-2	5,61	35,14	5,61	29.53
LI-3	6,71	50,22	6,71	43.51
LI-4	683,33	1651,00	683,33	967.7
LI-5	60,36	291,57	60,36	231.2

Gambar 14 menunjukkan tingkat polutan organik yang tidak dapat terbiodegradasi (*non-biodegradable*) yang lebih tinggi di berbagai industri.



Gambar 14. Polutan *Biodegradable* dan *Non-Biodegradable* Air Limbah Industri

5.2.2. Polutan Organik *Biodegradable* dan *Non-biodegradable* Air Permukaan

Air sungai berasal dari berbagai aktivitas masyarakat di sekitar hulu sungai. Kegiatan pertanian, rumah tangga, perkantoran, industri, rumah sakit, dan lainnya di daerah hulu yang air limbahnya dapat mengalir

ke sungai dan mengandung bahan pencemar organik. Tabel 10 menunjukkan fluktuasi bahan pencemar organik di sungai. Penggunaan pupuk kimia yang tidak diserap tanaman menyebabkan polutan organik dalam air limbah pertanian (Muntiah et al., 2022). Di lahan pertanian, lebih banyak pupuk yang terbuang daripada yang terserap oleh tanaman selama proses pemupukan. Sekitar tiga puluh hingga tiga puluh persen bahan aktif pestisida sampai ke akar, daun, dan bunga, dan tujuh puluh persen yang tersisa dibuang sebagai pencemar sungai yang terlarut dalam air (Agustiningsih, 2012). Selain itu, berasal dari proses pelapukan tanaman mati, yang mencakup daun, batang, akar, dan bunga. Tanaman ini mengandung senyawa yang secara alami sulit dirusak oleh mikroba, seperti selulosa (Arifin, et al., 2019), asam humat (Zainul, et al., 2020).

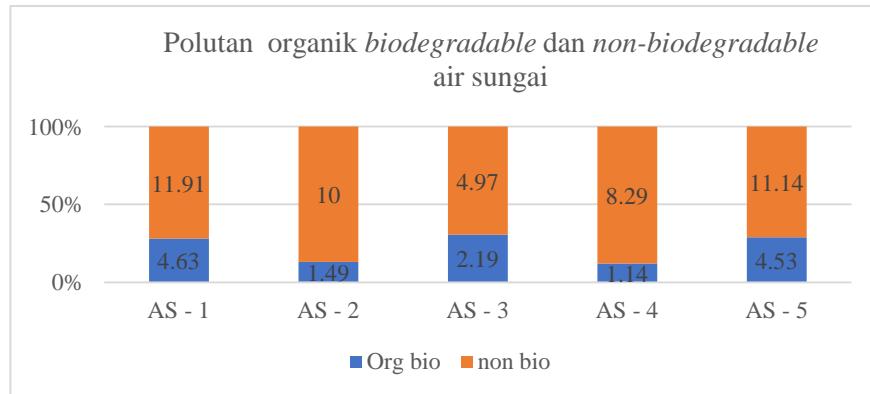
Limbah domestik adalah istilah untuk air limbah yang berasal dari perkantoran dan rumah, yang menghasilkan polutan organik dari sisa makanan dan minuman yang mengandung karbohidrat, lemak, dan protein. Bahan pencemar organik dalam air limbah domestik mudah terurai dan tidak dapat terurai. Selain itu, sifat limbah dalam aktivitas industri bergantung pada proses industri. Di hulu Sungai Bengawan Solo, ada banyak industri, termasuk glukosa, selulosa, tekstil dan batik, tahu tempe, dan lainnya. Hal ini menyebabkan berbagai macam bahan pencemar masuk ke Sungai Bengawan Solo, termasuk bahan pencemar organik polutan organik yang *biodegradable* dan *non-biodegradable*. Tabel 11 menunjukkan berbagai jenis polutan dan pencemar organik yang ditemukan dalam air sungai Bengawan Solo.

Tabel 11. Jumlah Polutan Organik *Biodegradable* dan *Non-biodegradable* pada Air Sungai

Sampel	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	Polutan organik (mg/L)	
			<i>Biodegradable</i>	<i>Non-biodegradable</i>
AS - 1	4,63	16,54	4,63	11,91
AS - 2	1,49	11,49	1,49	10,00
AS - 3	2,19	7,16	2,19	4,97
AS - 4	1,14	9,43	1,14	8,29
AS - 5	4,53	15,67	4,53	11,14

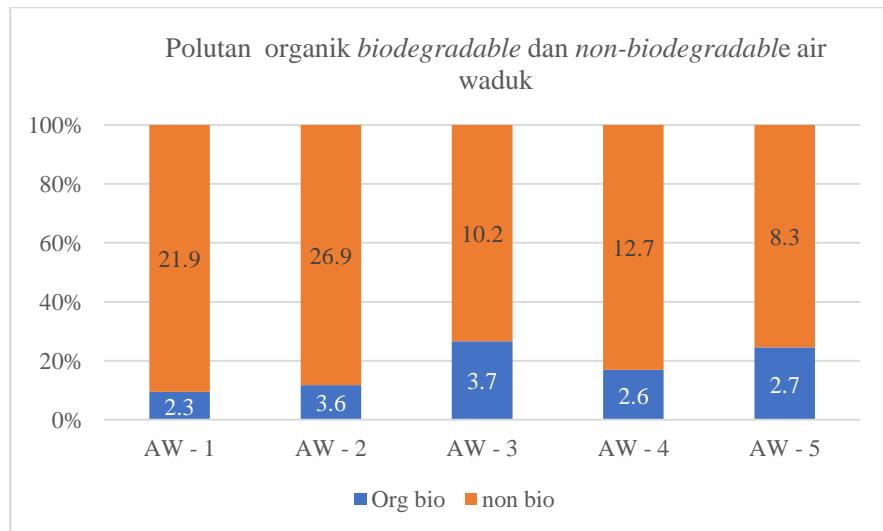
Tabel 11 menunjukkan bahwa kadar polutan organik *non-biodegradable* lebih tinggi daripada polutan organik *biodegradable* dalam air sungai Bengawan Solo di lokasi pengambilan sampel Jurug. Tingkat polutan organik *non-biodegradable* tertinggi, Sampel AS-1, 11,91 mg/L, menunjukkan bahwa setiap 1 liter air Sungai Bangawan Solo berada di titik tengah jurug karena sebagian besar aktivitas masyarakat terjadi di hulu.

Gambar 15 menunjukkan perbandingan antara polutan organik *biodegradable* dan *non-biodegradable*.



Gambar 15. Polutan Organik *Biodegradable* dan *Non-biodegradable* Air Sungai

Pada musim kemarau, kandungan bahan pencemar *biodegradable* rata-rata 2,98 mg/L dalam air Waduk Gajah Mungkur, sedangkan kadar polutan non-*biodegradable* lebih rendah. Prediksi tersebut didasarkan pada angka BOD rata-rata dari lima sampel. Satu liter air waduk Gajah Mungkur mengandung 2,98 mg polutan organik, yang mudah terurai oleh mikroorganisme secara alami. Ini menunjukkan tingkat polutan organik yang tinggi. Namun, kandungan polutan non-*biodegradable* rata-rata 16,00 mg/L, yang diperoleh dari perbedaan rata-rata nilai COD dan BOD. Diperkirakan bahwa setiap liter air Waduk Gajah Mungkur mengandung 16 miligram polutan non-*biodegradable* yang sulit diuraikan secara alami oleh mikroorganisme. Gambar 16 menunjukkan hasil perhitungan kandungan polutan organik *biodegradable* dan non-*biodegradable* di dalam air.



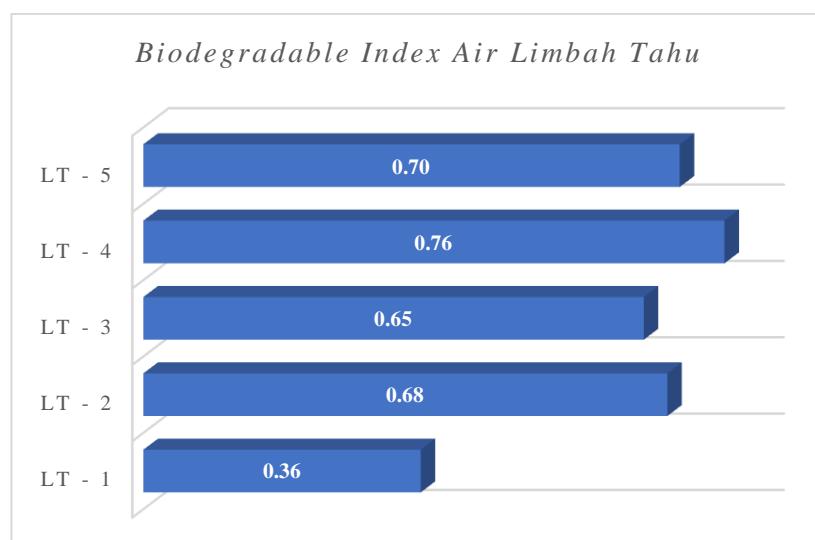
Gambar 16. Polutan Organik *Biodegradable* dan Non-*biodegradable* Air Waduk

5.3. Prediksi *Biodegradability Index*

Hasil tes laboratorium untuk parameter BOD dan COD dapat digunakan untuk menentukan jumlah angka *biodegradable index* air limbah. Salah satu cara untuk mengetahui seberapa baik mikroorganisme dapat menguraikan polutan organik, atau biodegradasi, adalah dengan membandingkan nilai BOD dan COD pada air limbah yang telah diuji di laboratorium (Tamyiz, 2015; Yustiani, 2020).

5.3.1. *Biodegradability Index* Air Limbah Industri

Sekarang dapat diketahui *biodegradability index* air limbah industri, seperti yang ditunjukkan dalam tabel 7 dan 8 dari data BOD & COD. Gambar 17 berikut menunjukkan *biodegradable index* air limbah industri:

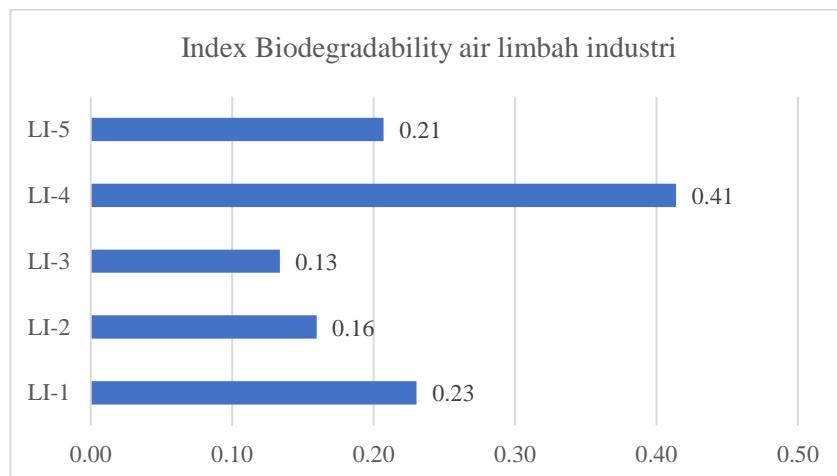


Gambar 17. *Biodegradable Index* Air Limbah Tahu

Proses pengolahan air limbah yang mengandung polutan organik dibantu oleh perhitungan angka *Biodegradability Index*. Untuk sampel air limbah tahu, *biodegradable index* berkisar antara 0,36 hingga 0,76. Zona *biodegradable* dengan indeks 0,2 hingga 0,5 menunjukkan bahwa air atau air limbah dapat diolah secara biologis (Samudro & Mangkoedihardjo, 2010). Menurut data dari Tamyz (2015) dan Yustiani (2020), *biodegradability index* air limbah tahu sampel LT-1 berada di zona biodegradasi lambat, atau slow *biodegradable*. Ini berarti bahwa, meskipun proses degradasinya lambat, pengolahan biologis tetap masih dapat dilakukan untuk mengurangi zat pencemar organik dalam air limbah tahu LT-1. Mikroorganisme di daerah ini perlu menyesuaikan diri dengan air limbah tahu.

Biodegradable index sampel LT-2, LT-3, LT-4, dan LT-5 semuanya lebih besar dari 0,6, yang menunjukkan bahwa mereka berada di zona *biodegradable*. Ini adalah area di mana mikroorganisme mudah menguraikan polutan organik secara alami. Akibatnya, proses pengolahan biologis dapat digunakan dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Salah satu contoh pengolahan biologis yang efektif adalah proses lumpur aktif yang dapat menurunkan kadar COD. Dengan komposisi lumpur pada bibit IV, yaitu sedimen lumpur selokan tahu sebesar 50%, lumpur RPH sebesar 25%, dan lumpur sungai Badung sebesar 25%, lumpur aktif dapat menurunkan kadar COD sebesar 96,10% (Sudaryati, et al., 2007). Mikroorganisme asli limbah tahu biodegradasi zat pencemar organik. Bakteri *Bacillus* dan *Pseudomonas* yang ditemukan pada air limbah dikenal memiliki kemampuan untuk menurunkan BOD dan COD, menurut Ken et al. (2019).

Gambar 18 menunjukkan *biodegradability index* air limbah industri laundry, bihun, tempe, dan sablon.



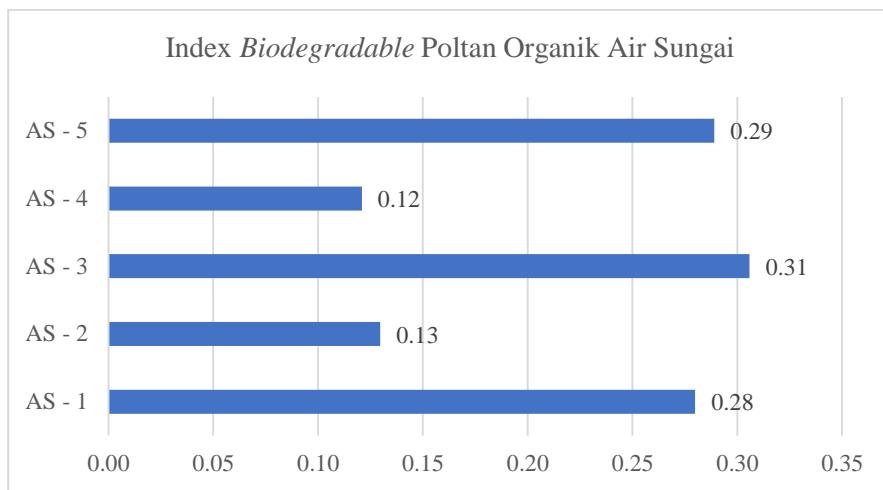
Gambar 18. *Biodegradability Index Air Limbah Industri*

5.3.2. *Biodegradability Index Air Permukaan*

Biodegradability index dapat dibuat dengan menghitung rasio BOD/COD. Ini juga merupakan alat yang dapat digunakan untuk menentukan tingkat degradasi bahan organik pada limbah lingkungan perairan seperti sungai (Mutmainah A. et al., 2022). *Biodegradability Index* sampel air sungai berkisar antara 0,12 hingga 0,31. Selama musim kemarau, sampel dikumpulkan pada waktu yang berbeda. Air sungai biasanya mengandung polutan organik yang sulit dirusak oleh mikroorganisme. Jika *biodegradability index* kurang dari 3, pengolahan secara biologis akan sulit dilakukan. Artinya, bahan pencemar dalam air sungai sebagian besar terdiri dari bahan organik yang sulit diuraikan oleh mikroorganisme (Yustiani, 2020), seperti senyawa humat yang dihasilkan

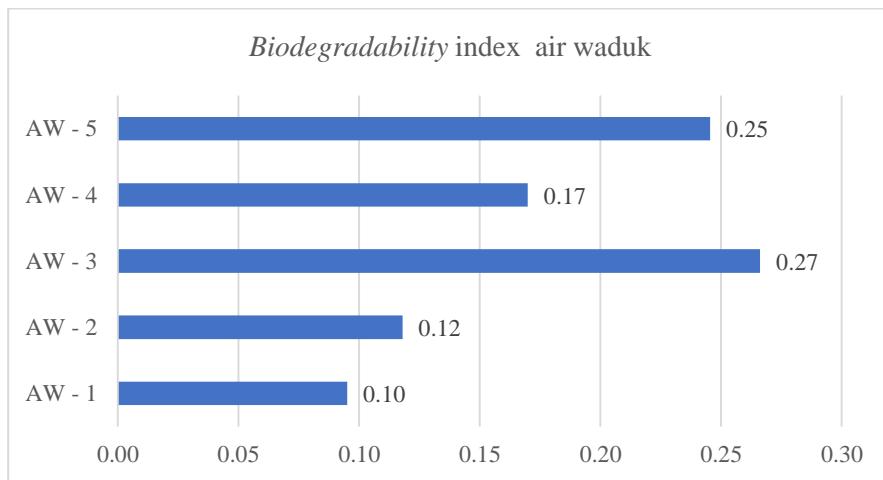
dari tumbuhan kering yang terendam dalam air sungai. Logam berat dan polutan lain yang sulit diuraikan oleh mikroorganisme juga dapat diuraikan oleh mikroorganisme. Keasaman air sungai dan kandungan oksigen terlarut memengaruhi proses penguraian bahan pencemar. Jumlah DO yang lebih tinggi meningkatkan kemampuan mikroorganisme untuk menguraikan zat pencemar organik. Gambar 19 menunjukkan peta *biodegradable index* air sungai.

BOD/COD adalah 0,92 banding 1 menunjukkan bahwa air limbah dapat diuraikan secara hayati. Jika BOD/COD lebih dari 0,6, perlakuan biologis dapat diterima. Jika BOD/COD antara 0,3 hingga 0,6, diperlukan beberapa perubahan; jika BOD/COD kurang dari 0,3, limbah tidak dapat diuraikan secara hayati dan dapat diproses secara biologis dengan sukses. Jika BOD/COD lebih dari 0,6, limbah tersebut dapat diproses secara biologis sepenuhnya. Dengan memantau rasio BOD/COD, kita dapat menemukan kelebihan kontaminan organik dan mengevaluasi efisiensi pengolahan air limbah. Ketika kadar BOD dan COD tinggi, itu menunjukkan bahwa ada banyak bahan organik dan zat oksidatif. Penipisan oksigen dapat menyebabkan bahaya bagi biota perairan dan mengganggu keseimbangan ekosistem. Ada kemungkinan bahwa bahan pencemar pada air sungai terdiri dari bahan pencemar organik yang sulit diuraikan oleh mikroorganisme, berdasarkan *biodegradability index*.



Gambar 19. *Biodegradable Index Air Sungai*

Gambar 20 menunjukkan tingkat *biodegradability index* air waduk Gajah Mungkur, dan metode yang sama juga dapat digunakan untuk menghitung tingkat *biodegradability index* air sungai.



Gambar 20. *Biodegradability Index Air Waduk*

Air waduk Gajah Mungkur memiliki *biodegradable index* di bawah 3,0, yang menunjukkan bahwa pengolahan biologis tidak mungkin. *Index biodegradability* dirata-ratakan dengan hasil 0,18. Hal ini menunjukkan bahwa bahan pencemar organik pada air waduk musim kemarau adalah bahan yang tidak dapat didegradasi dan non-*biodegradable* secara alami oleh mikroorganisme di perairan.

Minyak lemak yang berasal dari aktivitas rumah tangga di rumah dan restoran, selulosa (Arifin et al., 2019), dan asam humat yang berasal dari pelapukan tumbuhan di dalam air adalah contoh polutan organik yang sulit didegradasi secara alami oleh mikroorganisme air. Minyak lemak yang berasal dari aktivitas rumah tangga di rumah dan restoran (Faradillah et al., 2022), selulosa (Arifin et al., 2019), dan asam humat (Zainul et al., 2020) yang berasal dari pelapukan tumbuhan di dalam air adalah contoh polutan organik yang sulit didegradasi secara alami oleh mikroorganisme air.

BAB VI

EPILOG:

PENALI AKHIR PREDIKSI POLUTAN ORGANIK DALAM AIR PERMUKAAN & AIR LIMBAH MELALUI BOD & COD

Sampel air permukaan dan air limbah industri memiliki tingkat BOD dan COD yang berbeda. Lima kategori ini termasuk sampel air sungai Bengawan Solo, sampel air waduk Gajah Mungkur, sampel air limbah tahu, dan sampel air limbah industri. BOD air sungai Bengawan Solo adalah 4,63 mg/L untuk sampel AS-1, 1,49 mg/L untuk sampel AS-2, 2,19 mg/L untuk sampel AS-3, dan 1,14 mg/L untuk sampel AS-5. Sampel AS-1 sebesar 16,54 mg/L, AS-2 sebesar 11,49 mg/L, AS-3 sebesar 7,16 mg/L, AS-4 sebesar 9,43 mg/L, dan AS-5 sebesar 15,67 mg/L.

BOD air waduk Gajah Mungkur adalah 2,3 mg/L untuk sampel AW-1, 3,6 mg/L untuk sampel AW-2, 3,7 mg/L untuk sampel AW-3, dan 2,6 mg/L untuk sampel AW-4. Sedangkan COD air waduk Gajah Mungkur untuk sampel AW-1 adalah 24,2 mg/L, AW-2 adalah 30,5 mg/L, AW-3 adalah 13,9 mg/L, AW-4 adalah 15,3 mg/L, dan AW-5 adalah 11,0 mg/L.

Angka BOD sampel air limbah tahu AT-1 adalah 1150m35 mg/L, AT-2 adalah 7507,50 mg/L, AT-3 adalah 5852 mg/L, AT-4 adalah 7749,21 mg/L, dan AT-5 adalah 7036,55 mg/L. Sebagai perbandingan, COD air limbah tahu untuk sampel AT-1 adalah 3188,52 mg/L, AT-2

adalah 11016,00 mg/L, AT-3 adalah 8992,00 mg/L, AT-4 adalah 10252,50 mg/L, dan AT-5 adalah 10886,83 mg/L.

Menurut sampel air limbah industri, BOD air limbah industri AI-1 adalah 55,30 mg/L dan 5,61 mg/L, bihun adalah 6,71 mg/L, tempe adalah 683,3 mg/L, dan sablon adalah 60,37 mg/L. Namun, COD air limbah industri sablon sebesar 60,37 mg/L, industri bihun sebesar 50,22 mg/L, industri tempe sebesar 1651,00 mg/L, dan industri laundry AI-1 sebesar 240,00 mg/L dan 35,14 mg/L.

Metode uji BOD dan COD digunakan untuk mengidentifikasi polutan organik non-*biodegradable* pada sampel air permukaan dan air limbah industri. Sampel air Sungai Bengawan Solo memiliki kandungan polutan organik non-*biodegradable* rata-rata 9,26 mg/L. Namun, kandungan polutan organik non-*biodegradable* rata-rata 16,00 mg/L ditemukan dalam sampel air Waduk Gajah Mungkur.

Dua industri memiliki sampel air limbah industri di antaranya LT-1 sebesar 2038,17 mg/L, LT-2 sebesar 3508,5 mg/L, LT-3 sebesar 3139,05 mg/L, LT-4 sebesar 2503,29 mg/L, dan LT-5 sebesar 3030,28 mg/L. Sementara limbah industri laundry mencapai 184,7 mg/L, limbah industri bihun 43,51 mg/L, limbah industri tempe 967,7 mg/L, dan limbah industri sablon 231,2 mg/L.

Biodegradability index pada sampel air permukaan dan air limbah industri dibagi menjadi 2 sampel air, yaitu sampel air permukaan dan sampel air limbah industri. *Biodegradability index* rata-rata sampel air sungai Bengawan Solo sebesar 0,23 dijelaskan oleh sampel air permukaan. Namun, *biodegradable index* sampel air Waduk Gajah Mungkur rata-rata adalah 0,18. Gambaran sampel air limbah industri tahu LT-1 sebesar 0,36, LT-2 sebesar 0,68, LT-3 sebesar 0,65, LT-4 sebesar 0,76, dan LT-5

sebesar 0,70. Air limbah industri bihun adalah 0,13, air limbah industri tempe adalah 0,41, dan air limbah industri sablon adalah 0,21, serta air limbah industri laundry sebesar 0,23 dan 0,16.

Parameter BOD dan COD kelas satu tidak boleh melebihi 2 mg/L, COD kelas dua tidak boleh melebihi 3 mg/L, dan COD kelas dua tidak boleh melebihi 25 mg/L. Akibatnya, air Sungai Bengawan Solo tercemar bahan pencemar organik selama musim kemarau, sesuai dengan baku mutu air sungai nasional yang tercantum pada Lampiran VI Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021. Namun, nilai COD memenuhi standar kualitas jika dibandingkan dengan standar kualitas air sungai kelas dua. Di air permukaan, konsentrasi polutan organik yang tidak dapat terbiodegradasi (*non biodegradable*) berkisar antara 4,97 mg/L hingga 11,91 mg/L, lebih tinggi dari konsentrasi polutan organik yang dapat terbiodegradasi (*biodegradable*), yang berkisar antara 1,14 mg/L hingga 4,63 mg/L. Ini menunjukkan bahwa polutan organik *non-biodegradable* memiliki tingkat pencemaran yang lebih tinggi daripada yang dapat terbiodegradasi. *Biodegradable index*, yang berkisar antara 0,12 dan 0,31, menunjukkan bahwa mikroorganisme alami di air sungai sulit menghancurkan polutan organik di air permukaan. Metode biologis tidak cocok untuk menghilangkan polutan organik dalam air sungai ini tidak cocok bila dilakukan secara biologi yang menggunakan mikroorganisme, lebih cocok bila dilakukan secara kimia yang membutuhkan penelitian lebih lanjut.

Pada musim kemarau, tingkat BOD dan COD air permukaan Waduk Gajah Mungkur melebihi baku mutu air waduk kelas pertama, tetapi masih memenuhi baku mutu air kelas kedua. Air waduk memiliki kandungan bahan pencemar organik *non biodegradable* yang lebih tinggi

daripada bahan pencemar organik *biodegradable*, dengan *biodegradable index* rata-rata 0,18. Jumlah polutan organik *biodegradable* yang mudah terurai oleh mikroorganisme rata-rata adalah 2,98, dan jumlah polutan *non biodegradable* rata-rata adalah 16,00 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa polutan organik yang tidak dapat terbiodegradasi menduduki sebagian besar perairan waduk selama musim kemarau. Air waduk tidak mudah terdegradasi secara alami oleh mikroorganisme yang ada di dalamnya. Jika *biodegradable index* kurang dari 3,0, pengolahan secara biologis tidak dapat dilakukan. Tidak mungkin menggunakan pengolahan biologis mikroba alami untuk mengurangi polutan organik *non-biodegradable* pada air waduk; lebih baik menggunakan tanaman air atau pengolahan kimia. Namun, *biodegradable index* air waduk dapat ditingkatkan dengan menggunakan sistem biologis dengan kultur murni mikroorganisme khusus yang mampu menguraikan polutan organik yang tidak dapat terbiodegradasi. Namun, ini memerlukan penelitian lebih lanjut.

Angka BOD dan COD air limbah industri tahu melebihi standar yang ditetapkan oleh Gubernur Provinsi Jawa Tengah maksimal 150 mg/L (BOD) dan 275 mg/L (COD), yang dapat menyebabkan pencemaran air oleh polutan organik. Polutan organik *biodegradable* rata-rata 5.859,31 mg/L, sedangkan polutan organik *non biodegradable* rata-rata 2,9–3,26 mg/L. Ini menunjukkan bahwa polutan organik yang lebih mudah diuraikan oleh mikroorganisme adalah jenis polutan yang paling umum di air limbah industri, yang dikenal sebagai *biodegradable*. *Biodegradable index* rata-rata sebesar 0,63, yang mencakup area *biodegradable*, mendukung gagasan bahwa sistem biologis mudah digunakan untuk mengolah air limbah industri.

Air permukaan sulit terdegradasi oleh mikroorganisme alami yang ada di dalamnya karena mengandung polutan organik yang tidak dapat terbiodegradasi dengan *biodegradable index* kurang dari 3,0. Meskipun perlakuan biologis dapat dilakukan, pemisahan kontaminan membutuhkan kultur murni. Untuk menguraikan polutan organik, tanaman yang meningkatkan *biodegradable index* dapat ditanam di sungai. Namun, polutan organik *biodegradable* dengan *biodegradable index* lebih dari 0,6 termasuk dalam zona *biodegradable*, yang menunjukkan bahwa air limbah industri tahu dapat terbiodegradasi. Untuk menghindari pencemaran air sungai, air limbah harus diolah dan memenuhi standar sebelum dibuang ke lingkungan. Setelah diolah dengan baik, air sungai dapat digunakan kembali sebagai air bersih untuk kebutuhan masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan Nur Sakinah, Wahyun Sri, R. Andi Khaeruni. 2017. Pengujian Sifat Amilolitik dan Proteolitik dari Isolat Bakteri Asam Laktat (Bal) Hasil Fermentasi Air Cucian Beras Merah (*Oryza Nivara*) Kultivar Wakawondu, Jurnal Sains dan Teknologi Pangan Vol. 2, No.5, P. 759-769, Tahun. 2017.
- Agustiningsih, D. 2012. Kajian Kualitas Air Sungai Blukar Kabupaten Kendal dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Sungai. Tesis. Semarang: Program Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro.
- Alif Karnadi. 2022. Konsumsi Tahu dan Tempe per Kapita di Indonesia Naik Pada Tahun 2021, Data Indonesia.id, 23 Februari 2022, <https://dataindonesia.id/sektor-riil/detail/konsumsi-tahu-dan-tempe-per-kapita-di-indonesia-naik-pada-2021>.
- Al-Rosyid Latifa Mirzatika. 2019. Hubungan Antara Rasio BOD/COD Terhadap Partisi Oktanol Air Pada Zat Organik, Tesis Program Magister Teknik Lingkungan Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Arifin Zainul, Gunam Ida Bagus Wayan, Antara Nyoman Semadi, Setiyo Yohanes. 2019. Isolasi Bakteri Selulolitik Pendegradasi Selulosa Dari Kompos, Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri, Vol. 7, No.1, 30-37, Maret 2019.
- BSN, 2009, Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (*Biochemical Oxygen Demand/BOD*), Dalam BSN, Standar Nasional Indonesia Nomor 6989.72, Air dan Air Limbah Bagian 72, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- BSN, 2009, Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimia (*Chemical Oxygen Demand/COD*) dengan Refluk Tertutup Secara Spektrofotometri, Dalam BSN, Standar Nasional Indonesia Nomor 6989.73, Air dan Air Limbah Bagian 73, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

- Budianto. 2015. Pengertian dan Kandungan Gizi Tahu Kedelai, Monograf.
<http://e-journal.uajy.ac.id/7912/3/BL201188.pdf>
- Cahyani MR., Zuhaela IA., Saraswati TE., Rahardjo SB., Pramono E., Wahyuningsih S., Lestari WW., Widjonarko DM., 2021, Pengolahan Limbah Tahu dan Potensinya, E-Virtual 2nd Symposium Bioconversion, Vol 6, 2021.
- Faradillah VNK dan Pujiastuti Peni. 2022. *Potensial Fatty Oil Pollution from Restaurant Wastewater*, Jurnal Kimia dan Rekayasa, Volume 3 nomor 1, Tahun 2022, <http://kireka.setiabudi.ac.id>
- Hard Harold, Craine E. Leslie, Hard J. David. 2003. Kimia Organik Suatu Kuliah Singkat, Alih Bahasa Suminar, Edisi ke sebelas, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Ken Retno, Jati Wibowo Nugroho, Yulianti L. Indah Murwani. 2019. Peranan Bakteri Indigenus dalam Degradasi Limbah Cair Pabrik Tahu, Jurnal Biota, Volume 4 (1): 8-15, Februari 2019.
- Koda E., A Miszkowska, A Sieczka. 2017, *Level of Organic Pollution Indicator in Groundwater at the Old Landfill and Waste Management Site*, Applied Sciences Journal, No 7, page 638.
- Mangkoedihardjo, S. 2006. *Biodegradability improvement of industrial wastewater using hyacinth*, Journal of Applied Sciences, 6 (6): 1409-1414
- Mangkoedihardjo Sarwoko., Samudro Ganjar. 2010. Review on BOD, COD and BOD/COD Ratio: A Triangle Zone for Toxic, *Biodegradable* and Stable Levels, International Journal Of Academic Research, Vol. 2. No. 4. July. www.ijar.lit.az.
- Maria Ernastin, Prasetya Agus, Wilopo Wahyu. 2015. Penyisihan Limbah Fosfat, BOD dan COD dari Deterjen Air Bungan Cucian dengan Fitoremediasi pada Wetland Artifisial, Tesis S2 Teknik Sistem. UGM. <https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/92675#>
- Merdeka. 2022. Harga Kedelai Tak Stabil 30 Ribu Pengrajin Tahu Tempe Berhenti Beroperasi, reporter Merdeka, 11 Februari 2022, <https://www.merdeka.com/uang/harga-kedelai-tak-stabil-30000-pengrajin-tahu-tempe-berhenti-produksi.html>
- Mukhoyaroh Hanifah. 2015. Pengaruh Jenis Kedelai, Waktu dan Suhu Pemeraman Terhadap Kandungan Protein Tempe Kedelai, Jurnal

- Florea Volume 2 No. 2, Nopember 2015 (47-51), url: <http://ejournal.unipma.ac.id/index.php/JF/article/view/415/386>
- Mutiah Syahriyati, Sumardiyono, Pujiastuti Peni. 2022. Analisis Parameter Nitrit, Nitrat, Amoia, Fosfat Pada Air Limbah Pertanian Dusun Bendungan, Genuk Harjo, Wuryantoro, Wonogiri. Jurnal Kimia dan Rekayasa, Volume 3 nomor 1 tahun 2022.
- Mutmainah Ana, Sulardiono B. Rahman A. 2022. Analisis Status Mutu Air Perairan Anak Sungai Bogowonto, Yogyakarta, Jurnal Pasir Laut, Volume 6 nomor 1: 33-42, Februari 2022, <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/pasirlaut>
- Paramesti Asa. 2019. Bakteri Aerob Si Pengurai Limbah, <https://wastewater.wg.ugm.ac.id/2019/09/09/bakteri-aerob-si-pengurai-limbah/>. Teknologi Bioproses UGM, 9 September 2019. Diakses 24 Desember 2023.
- Peraturan Daerah (PERDA) Provinsi Jawa Tengah Nomor 4 Tahun 2023 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Pujiastuti Peni, Sutarno, Totok Gunawan, M.S., M. Masykuri. 2016. Kajian Degradasi Kualitas Lingkungan Perairan Waduk Sebagai Dasar Pengembangan Model Pengendalian Pencemaran (Kasus di DTA Waduk Gajah Mungkur Wonogiri Jawa Tengah). Disertasi. Program Pascasarjana Universitas Sebelas Maret.
- Pujiastuti Peni, Sutarno, Totok Gunawan, M.S., M. Masykuri. 2016. *Bacterial spatial distribution in the sediments of Gajah Mungkur Reservoir, Central Java, Indonesia*, Biodiversitas Journal of Biological Diversity 17(2):907-914. Fakultas MIPA UNS, November 2016
- Pujiatuti Peni. 2018. Analisis Air dan Air Limbah, Buku Ajar, ISBN 978-602-397-239-5, Penerbit UNS Press, November 2018.
- Pujiastuti Peni, Narimo, Putri JP. 2018. *Biotransformation studies of agricultural nitrogen pollutants in Keduang watershed*, Jurnal JRTPPI, ISSN 2087-0965, Vol 9, Nov 2018, <http://jrtppi.id/index.php/jrtppi/article/view/20>
- Pungus Meity, Palilingan Septiany, Tumimomor Farly. 2019. Penurunan Kadar BOD dan COD dalam Limbah Cair Laundry Menggunakan

- Kombinasi Adsorben Alam sebagai Media Filtrasi. Fullerene Journal of Chemistry Vol. 4 No. 2, 2019, ISSN 2598-1269.
- Putri, A.R., Samudro, G., Handayani, D.S. 2013. Penentuan Rasio BOD/COD optimal pada reaktor Aerob, Fakultatif dan Anaerob, Jurnal Teknik Lingkungan, vol. 2, no. 1, pp. 1-5, Jan. 2013.
- Ratnani R.D. 2011. Kecepatan Penyerapan Zat Organik Pada Limbah Cair Industri Tahu Dengan Lumpur Aktif, Jurnal Momentum, Vol. 7, No. 2, Oktober 2011.
- Sari Andriyani Rosita, Martono Y., Rondonuwu F.S. 2020. Identifikasi Kualitas Beras Putih (*Oryza sativa L.*) Berdasarkan Kandungan Amilosa dan Amilopektin di Pasar Tradisional dan “Selepan” Kota Salatiga, Titian Ilmu: Jurnal Ilmiah Multi Sciences, Vol. 12 No. 1, Halaman: 24-30, Januari 2020, <https://journal.unuha.ac.id/index.php/JTI/article/view/599>
- Sayow, F., dkk. 2020. Analisis Kandungan Limbah Industri tahu dan Tempe Rahayu di Kelurahan Uner Kecamatan Kawangkoan Kabupaten minahasa., Jurnal Agro-sosial-ekonomi Unstrat, ISSN (p) 1907-4298, ISSN € 2685-0, Volume 16 Nomor 2: 245-252
- Sjafruddin Rahmiah, Agustang Andi dan Pertiwi Nurlita. 2022. Estimasi Limbah Industri Tahu dan Kajian Penerapan Sistem Produksi, Jurnal Ilmiah Mandala Education (JIME), Vol. 8, No. 2, April 2022. <http://ejournal.mandalanursa.org/index.php/JIME>
- Sudaryati Ni Luh Gede, Kasa I Wayan, Suyasa I Wayan Budarsa. 2007. Pemanfaatan Sedimen Perairan Tercemar Sebagai Bahan Lumpur Aktif Dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu, Jurnal Ecotrophic, Volume 3 Nomor 1, ISSN 1907-5626.
- Tamyis Muchammad. 2015. Perbandingan Rasio BOD/COD Pada Area Tambak di Hulu dan Hilir Terhadap Biodegradabilitas Bahan Organik, Journal of Research and Technology, Vol. 1 No. 1 Desember 2015.
- Wahyuningsih Rika. 2022. Analisis Chemical Oxygen Demand (COD) pada air limbah tahu dengan penambahan reagen fenton, Laporan Karya Tulis Ilmiah D3 Analis Kimia Universitas Setia Budi, 2022
- Yulianto R., Prihanto LR., Redjeki S., Iriani I. 2020. Penurunan Kandungan COD dan BOD pada Limbah Cair Industri Tahu

- dengan Metode Zonasi, Jurnal of Chemical and Process Engineering, ChemPro, Vo. 01 No. 01 tahun 2020, Published 30 Maret 2020, url <http://chempro.upnjatim.ac.id/index.php/chempro/article/view/27>
- Yustiani Yonik Meliawati, Mulyatna Lili, Anggadinata M. Ali. 2020. Studi Identifikasi Kualitas Air dan Kapasitas Biodegradasi Sungai Cibaligo, Jurnal Infomatex, Volume 22 Nomor 1 Juni 2020, Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Pasundan.
- Zainul Rahardian, Hermansyah, Arief Sukri. 2020. Fotokatalis dan Fototransformasi Asam Humat, Penerbit Berkah Prima, Padang, 2020, ISBN 978-602-5994-65-4.

PROFIL PENULIS



Dr. Dra. Peni Pujiastuti, M.Si. merupakan dosen di program studi Analis Kimia Fakultas Teknik Universitas Setia Budi sejak tahun 1987. Mengajar mata kuliah Analisis Air dan Air limbah, Kimia lingkungan dan AMDAL, Manajemen Kesehatan lingkungan dan limbah rumah sakit. Memiliki kompetensi di bidang sumber daya air tawar.

Polutan Organik

dalam **Air Permukaan & Air Limbah**

Air adalah kebutuhan pokok manusia. Manusia membutuhkannya untuk mandi, memasak, minum, menyiram tanaman, industri, hortikultura, perikanan, pertanian, dan pariwisata. Air tanah dan air permukaan adalah sumber air yang paling sering digunakan oleh masyarakat untuk memenuhi kebutuhannya. Air limbah adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan sisa air yang dibuang ke badan air yang tidak dimanfaatkan oleh masyarakat.

Sisa air yang tidak digunakan lagi dalam proses produksi industri dan dibuang ke badan air lingkungan disebut air limbah industri. Air limbah industri harus dikelola dan diolah sesuai dengan ketentuan yang berlaku sebelum dibuang ke badan air penerima untuk memenuhi baku mutu air limbah industri.

Buku ini memuat bahasan terkait bagaimana menentukan kandungan BOD dan COD pada sampel air permukaan dan air limbah industri; menghitung jumlah polutan organik non-biodegradable dalam sampel air permukaan dan air limbah industri melalui BOD dan COD; dan menghitung indeks biodegradasi pada sampel air permukaan dan air limbah industri, serta prediksi jumlah polutan organik yang ada dalam air dan air limbah.

Penerbit Deepublish (CV BUDI UTAMA)

Jl. Kaliurang Km 9,3 Yogyakarta 55581

Telp/Fax : (0274) 4533427

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

✉ cs@deepublish.co.id

➲ Penerbit Deepublish

Ⓜ @penerbitbuku_deepublish

🌐 www.penerbitdeepublish.com



Kategori : Ilmu Teknik

ISBN 978-623-02-8165-5



9 78623 0281655