

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Remediasi

Pemulihan daerah terkontaminasi dari bahan pencemar agar dapat kembali pada kondisi semula atau bersih pada media air, udara, dan tanah disebut dengan remediasi. Dengan kata lain remediasi merupakan proses pembersihan zat pencemar pada media air, tanah, dan udara dari senyawa berbahaya seperti hidrokarbon, poliaromatik hidrokarbon (PAH), *persistent organic pollutant* (POP), logam berat, dan pestisida. Senyawa tersebut dapat ditemukan pada bahan bakar fosil, gas alam, plastik, bahkan stabilisasi pvc (Puspitasari & Khaeruddin, 2016). Kegiatan remediasi dapat terbagi menjadi dua bagian yakni pembersihan polutan secara in-situ dan ex-situ. Remediasi secara in-situ adalah pembersihan zat pencemar yang dapat dilakukan secara langsung pada daerah tercemar. Sedangkan, remediasi secara ex-situ adalah pengambilan bahan pencemar pada lokasi tercemar dan perlakuan pembersihan zat pencemar (polutan) yang dilakukan diluar lokasi tercemar.

Remediasi yang dilakukan pada media air bertujuan agar stabilitas perairan dapat terjaga sehingga bisa digunakan secara berkelanjutan dengan mengacu pada proses pengelolaan air yang terkontaminasi dari zat pencemar yang berasal dari limbah industri dan aktivitas manusia. Remediasi air dapat dilakukan melalui metode fikoremediasi, bioremediasi, dan fitoremediasi. Menurut kajian pada penelitian (Liwun dkk., 2020) fikoremediasi adalah metode pembersihan polutan maupun logam berat dengan menggunakan makroalga atau mikroalga. Bioremediasi merupakan metode pembersihan lingkungan dengan menggunakan prinsip pemanfaatan aktivitas metabolisme pada mikroorganisme melalui perubahan senyawa berbahaya menjadi zat yang tidak berbahaya. Sedangkan,

fitoremediasi adalah metode remediasi dengan memanfaatkan kemampuan pada tanaman.

2.1.2 Fitoremediasi

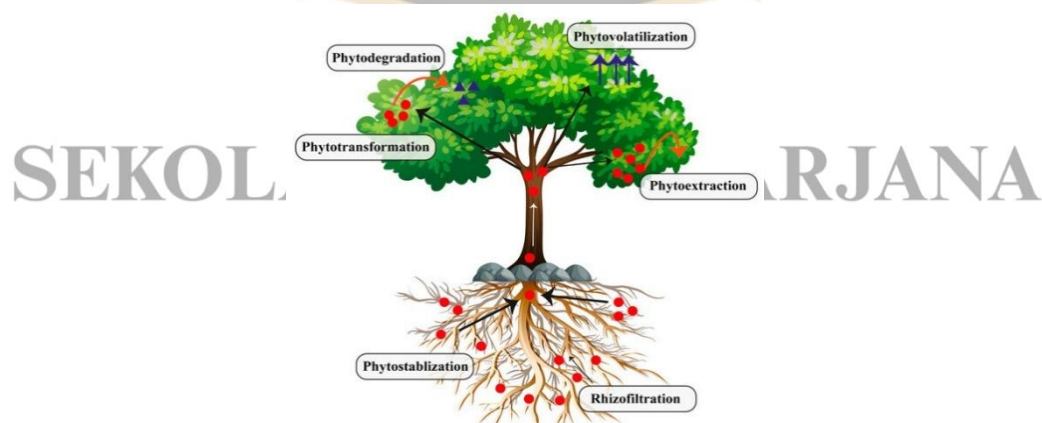
Pemenuhan kebutuhan manusia terhadap sumber daya alam semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk. Hal ini dapat terlihat dari pertumbuhan industri rumah tangga yang cukup tinggi. Industri rumah tangga tersebut salah satu contohnya adalah industri tempe. Industri tempe merupakan suatu industri kecil rumah tangga yang memiliki peran dalam pembukaan lapangan pekerjaan serta pemenuhan kebutuhan pangan bagi masyarakat. Namun, adanya perkembangan industri tempe tersebut dapat memberikan dampak negatif yakni pembuangan limbah cair secara langsung ke sungai sebagai akibat dari proses produksi yang masih dilakukan secara tradisional dan tidak memiliki pengelolaan limbah mandiri (Ayuni & Putri, 2022). Padahal, pada kenyataannya industri tempe menjadi industri yang banyak menghasilkan air limbah dalam proses produksinya meliputi tahapan perendaman, perebusan, pencucian, serta pengupasan kedelai (Cundari et al., 2022). Selain itu, pertambahan produsen tempe yang semakin menjamur di berbagai provinsi di Indonesia dengan kondisi industri yang serupa dapat memperburuk kerusakan lingkungan dan menimbulkan pencemaran.

Fitoremediasi merupakan teknologi remediasi yang digunakan untuk membersihkan polutan di lingkungan dengan memanfaatkan kemampuan yang ada pada tumbuhan. Teknologi remediasi melalui fitoremediasi memiliki beberapa keunggulan yakni mudah dilakukan, biaya relatif terjangkau, proses remediasi dapat dilakukan secara in-situ maupun ex-situ, teknologi yang ramah lingkungan, serta dapat mengurangi kontaminan dalam jumlah besar. Keuntungan lain yang bisa diperoleh dari teknologi fitoremediasi yakni adanya penyerapan karbon, peningkatan kualitas air, dan konservasi keanekaragaman hayati. Sedangkan, kekurangan yang dimiliki dari teknologi fitoremediasi adalah proses remediasi tergantung pada iklim, membutuhkan waktu lama, dapat memungkinkan terjadinya akumulasi logam berat yang terdapat pada jaringan dan biomassa tumbuhan, serta

berpengaruh terhadap keseimbangan rantai makanan dalam ekosistem (Zulkoni et al., 2017).

Penggunaan tanaman dalam proses fitoremediasi perlu dipilih yang memiliki potensi sebagai agen fitoremediasi. Hal ini disebabkan oleh tidak semua tanaman memiliki kemampuan dalam melakukan metabolisme, volatilisasi, dan akumulasi semua polutan melalui mekanisme yang sama. Persyaratan dalam pemilihan tanaman fitoremediasi adalah tanaman yang memiliki sifat dapat tumbuh dengan cepat, memiliki kemampuan menyerap air dalam jumlah banyak dengan waktu relatif singkat, dapat melakukan remediasi lebih dari satu polutan, serta kemampuan toleransi tinggi terhadap polutan (Nur, 2013). Dengan kata lain tanaman yang dapat dijadikan sebagai agen fitoremediasi merupakan tanaman hiperakumulator yang dapat hidup dan tumbuh pada daerah yang terkontaminasi logam berat serta memiliki toleransi terhadap logam berat tanpa memberikan gejala seperti klorosis, nekrosis, warna cokelat keputihan maupun pengurangan biomassa. Tanaman hiperakumulator yang memiliki kemampuan toleransi maka dapat melakukan penyerapan dan penyimpanan didalam jaringan organ tanaman dan kontaminan terstabilisasi (Zulkoni et al., 2017).

Mekanisme fitoremediasi pada Gambar 1 digunakan untuk mengurangi zat pencemar atau polutan khususnya BOD, COD, TSS, pH, nitrat, nitrit dan fosfat pada limbah cair tempe terbagi menjadi beberapa bagian antara lain (Sukono et al., 2020; Widyasari, 2021) :



Gambar 1. Mekanisme Fitoremediasi

Sumber : (Wijekoon et al., 2025)

1. Rhizofiltrasi

Rhizofiltrasi merupakan proses tanaman dalam metode penyerapan kontaminan air permukaan maupun air limbah dengan konsentrasi kontaminan rendah. Tanaman yang digunakan dalam rhizofiltrasi adalah akar tanaman yang dapat ditumbuhkan didalam air bukan didalam tanah. Karakter tanaman yang cocok pada metode ini adalah tanaman yang dapat mengakumulasi logam hanya pada akar, dapat menoleransi logam dalam jumlah besar, serta dapat menghasilkan biomassa akar dalam jumlah besar. Kelebihan yang bisa didapatkan dari rhizofiltrasi adalah pengaplikasiannya yang dapat dilakukan secara in-situ maupun ex-situ. Sedangkan, kekurangan dari metode ini adalah diperlukannya adaptasi pada lingkungan baru dalam rangka penyesuaian terhadap pH.

2. Fitostabilisasi dan Fitostimulasi

Fitostabilisasi adalah proses tanaman yang mana zat kontaminan akan menempel pada akar dikarenakan tidak memungkinkannya untuk dapat terserap dalam batang sehingga zat kontaminan hanya akan menempel erat pada akar. Hal ini menjadikan pada metode fitostabilisasi kontaminan logam berat tidak akan dihilangkan, tetapi akan distabilkan melalui akumulasi akar didalam perakaran. Ciri – ciri tanaman yang dapat masuk dalam metode ini merupakan tanaman yang memiliki kemampuan dalam menyerap kontaminan, akar yang dapat tumbuh dengan cepat, serta tidak menstabilkan dan mengakumulasi ke organ lain di atas tanah. Keuntungan yang diperoleh dari metode ini adalah biaya yang murah, sederhana, dan dapat menstabilkan kontaminan dengan penggunaan tanaman.

3. Fitoekstraksi

Metode fitoekstraksi atau fitoakumulasi merupakan proses penyerapan kontaminan oleh akar tanaman yang mana kontaminan tersebut ditranslokasikan ke pucuk, bunga, dan daun melalui jaringan pembuluh xylem.

Pada umumnya, fitoekstraksi digunakan untuk treatment tanah yang mengalami kontaminasi.

Ciri – ciri tanaman yang digunakan pada metode fitoekstraksi adalah tanaman yang memiliki sifat dapat menyerap, menranslokasikan dan mengakumulasi logam berat pada konsentrasi tinggi di dalam daun dan tajuk, dapat tumbuh dengan cepat, serta memiliki biomassa yang tinggi. Kelebihan yang bisa didapatkan dari metode fitoekstraksi adalah biaya yang murah daripada metode konvensional, kontaminan dapat dihilangkan secara permanen dari tanah, mengurangi jumlah polutan yang diserap, serta dapat melakukan daur ulang terhadap kontaminan dari biomassa tanaman yang mengalami kontaminasi. Sedangkan, kekurangan yang dimiliki adalah terbatas pada logam dan senyawa anorganik yang ada di dalam tanah atau sedimen.

4. Fitodegradasi

Fitodegradasi adalah proses tanaman dalam melakukan penguraian kontaminan untuk diubah menjadi zat yang tidak berbahaya. Metode ini berlangsung pada bagian daun, batang, akar, maupun diluar sekitar akar dengan menggunakan bantuan enzim yang berasal dari tanaman itu sendiri. Ciri – ciri tanaman yang digunakan dalam metode fitodegradasi adalah tanaman yang dapat mengeluarkan enzim dalam rangka mempercepat proses penguraian.

5. Fitovolatilisasi

Fitovolatilisasi merupakan proses tanaman dalam melakukan penyerapan kontaminan dari dalam tanah untuk kemudian diubah menjadi zat yang tidak berbahaya dan diuapkan melalui transpirasi ke atmosfer. Kontaminan yang dilepas ke atmosfer akan mengalami degradasi terlebih dahulu melalui daun. Fitovolatilisasi digunakan pada kontaminan yang berada di tanah, sedimen, maupun air. Keuntungan yang bisa didapatkan dari metode ini adalah zat yang dikeluarkan di lingkungan dapat diubah menjadi zat kurang beracun bahkan tidak beracun. Kekurangan metode ini ada pada zat yang sudah dilepas ke

atmosfer dapat didaur ulang kembali melalui presipitasi dan disimpan ke danau dan lautan.

2.1.3 Kemampuan Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*) Sebagai Agen Fitoremediasi

Tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) merupakan tanaman air berupa semak yang dapat hidup menahun serta tumbuh dengan cara merambat. Tanaman kangkung air memiliki ciri – ciri seperti akar yang lunak dan bercabang banyak, batang berbentuk bulat berongga dengan permukaan batang yang licin, warna batang hijau dan memiliki sedikit biji, ukuran daun dan batang lebih besar dari pada varietas kangkung darat, terdapat getah bening, serta memiliki bunga dengan warna putih kemerahan.



Gambar 2. Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*)

Sumber : (Hassa et al., 2020)

Klasifikasi Ilmiah tanaman kangkung air adalah sebagai berikut :

Kingdom : Plantae
Divisi : Magnoliophyta
Kelas : Magnoliopsida
Ordo : Solanales
Famili : Convolvulaceae
Genus : *Ipomoea*
Spesies : *Ipomoea aquatica* Forsk.

Tanaman kangkung air tidak memiliki persyaratan tumbuh yang mana dapat mudah hidup pada lahan basah yang tergenang air sehingga membutuhkan tanah yang banyak mengandung air dan lumpur. Tanaman kangkung air dapat dengan mudah ditemukan pada saluran buangan limbah cair pemukiman sehingga memiliki kemampuan adaptasi yang cukup untuk bertahan hidup didalam air limbah yang mengandung bahan pencemar (Maslinda, 2021). Sifat hiperakumulator yang dimiliki oleh tanaman kangkung air dapat dimanfaatkan sebagai agen fitoremediasi karena berperan dalam pengaturan kualitas air serta dapat menoleransi bahan pencemar dan mengakumulasi kontaminan kedalam jaringan dalam jumlah besar.

Tanaman kangkung air dapat digunakan untuk fitoremediasi karena memiliki fungsi sebagai biofilter yaitu kemampuan dalam menguraikan benda organik dan anorganik yang berada di sekitar akarnya. Hal ini dikarenakan pada bagian batang dan akar tanaman kangkung air memiliki jaringan *aerenchima* yang berperan sebagai alat transportasi oksigen ke akar sehingga memungkinkan unsur hara dari tanah dan air dapat terserap dengan cepat (Juwita & Choirul, 2018). Selain itu, tanaman kangkung air dapat digolongkan sebagai agen fitoremediasi karena kemampuan yang dimiliki seperti dapat mengakumulasi polutan pada tajuk maupun akar dengan konsentrasi tinggi, dapat tumbuh dengan cepat tanpa perawatan, memiliki habitat yang terkandung bahan pencemar, serta mampu melakukan remediasi lebih dari satu polutan (Siregar & Lestari, 2024). Hal ini menandakan bahwa kemampuan yang dimiliki tanaman kangkung air sesuai dengan persyaratan tanaman untuk proses fitoremediasi.

Kemampuan tanaman kangkung air dianggap memiliki kemampuan dalam menurunkan kadar bahan organik dan logam berat pada air yang mengalami pencemaran. Hal ini dapat dibuktikan dalam penelitian Novita dkk.,(2019) bahwa tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dapat menurunkan kadar TSS (*Total Suspended Solid*) sebesar 62,03% , kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) sebesar 53,77% , serta kadar BOD (*Biological Oxygen Demand*) sebesar 74,50%. Dalam penelitiannya didapati konsentrasi awal sebelum dilakukan fitoremediasi

pada kadar BOD, COD, TSS, dan pH secara berurutan sebesar 4200,50 mg/L, 22500 mg/L, 4539 mg/L, dan 4,5. Penurunan ini juga dapat ditunjukkan melalui penelitian Najwa dkk., (2023) metode fitoremediasi menggunakan tanaman kangkung air dapat menurunkan kandungan TSS dan BOD secara berurutan sebesar 88% dan 24% selama 6 hari serta dapat menetralkan kandungan pH pada limbah industri berbahan dasar kedelai. Konsentrasi awal dalam penelitian ini pada kadar BOD, COD, TSS, dan pH sebelum dilakukan proses fitoremediasi adalah sebesar 49,30 mg/L, 71,13 mg/L, 68,62 mg/L, dan 4,69 yang mana pada kandungan COD didapati tidak mengalami penurunan setelah proses fitoremediasi. Berdasarkan penelitian Kinasih (2022) tanaman kangkung air dapat menurunkan kadar BOD pada limbah industri berbahan dasar kedelai. Pada variasi berat 250 grm dengan tingkat efisiensi sebesar 4,2%, variasi berat 500 gr sebesar 6,3%, serta pada variasi berat 750 gram didapati sebesar 98%. Hal ini diperkuat melalui penelitian Ahmad & Adiningsing (2019) bahwa tanaman kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dapat menurunkan kadar BOD sebesar 95,49% dan kadar TSS sebesar 94,33%.

Limbah industri pangan khususnya limbah cair tempe memiliki karakteristik yang mengandung bahan organik tinggi meliputi padatan tersuspensi, kadar BOD dan COD sehingga dapat memberikan dampak penurunan daya dukung lingkungan jika limbah cair tersebut dibuang langsung ke badan air (Sayow dkk., 2020). Kadar oksigen yang dibutuhkan oleh makhluk hidup yang tinggal didalam perairan tersebut akan mengalami penurunan apabila zat pencemar dalam limbah cair tempe berada dalam jumlah yang melampaui baku mutu lingkungan. Hal ini dapat mengakibatkan terganggunya perkembangan metabolisme biota air yang mana air berperan sebagai vektor penyakit. Beban oksigen terlarut pada limbah cair tempe dapat diukur dengan parameter COD, BOD dan TSS yang mana BOD merupakan kebutuhan oksigen biologis untuk menguraikan bahan buangan dalam air dengan menggunakan mikroorganisme. Sedangkan COD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk proses reaksi oksidasi pada bahan buangan dalam air melalui reaksi kimia (Prambuy et al., 2019) semakin tinggi kadar BOD dalam limbah cair maka akan semakin rendah jumlah mikrobia aerob dan fakultatif aerob yang berada dalam limbah cair sehingga memungkinkan untuk lebih terjadi

pencemaran. Sebaliknya semakin rendah kadar BOD dalam limbah cair maka akan semakin tinggi jumlah mikrobia aerob dan fakultatif aerob.

Hal ini serupa ketika kadar COD semakin tinggi maka jumlah mikrobia dan fakultatif aerob akan semakin rendah. (Ramadani et al., 2021) . TSS merupakan bahan tersuspensi yang menjadi patokan ukuran kejernihan air dalam melakukan penilaian penurunan kualitas air. Hal ini dikarenakan dapat memberikan dampak buruk terhadap ekosistem perairan. Semakin tinggi nilai TSS maka akan semakin tinggi pula tingkat pencemaran suatu perairan. Sedangkan, semakin rendah nilai TSS maka semakin rendah tingkat pencemaran (Kusumaningtyas & Riwanda, 2022). pH (derajat keasamaan) memiliki pengaruh dalam penurunan oksigen terlarut yang mana semakin rendah nilai pH maka kadar oksigen terlarut juga semakin menurun dan sebaliknya (Sayow dkk., 2020)

Tanaman kangkung air merupakan tanaman yang digolongkan menggunakan mekanisme rizhofiltrasi. Hal ini dikarenakan tanaman tersebut menggunakan akar dalam penyerapan, degradasi, akumulasi bahan pencemar berupa senyawa organik atau anorganik sehingga akar menjadi bagian tubuh yang utama dalam penyerapan kontaminan dibandingkan batang dan daun (Tiro et al., 2017, Lee et al., 2019). Penyerapan zat organik oleh tanaman kangkung air berlangsung melalui ujung akar. Penyerapan zat organik bermula dari dalam batang melalui pembuluh pengangkut dan kemudian akan disebar keseluruh bagian tanaman. Zat organik yang terakumulasi didalam batang tanaman akan mengalami reaksi biologi dan akan diteruskan ke daun (Haeranah & Ridhayani, 2019). Akumulasi zat organik dan logam akan lebih tinggi pada bagian akar dibandingkan bagian batang dan daun karena fungsi akar adalah sebagai organ penyerap dan penyalur unsur hara ke bagian tubuh tanaman yang lain. Proses penyerapan dan akumulasi baik berupa logam berat maupun zat organik terbagi menjadi tiga proses yaitu penyerapan kontaminan oleh akar, translokasi kontaminan dari akar ke bagian tanaman lain, serta lokalisasi kontaminan pada jaringan tertentu sehingga metabolisme tidak terganggu (Hapsari et al., 2018).

2.1.4 Kangkung Merah

Kebanyakan kangkung air pada umumnya, varietas kangkung merah merupakan tanaman yang termasuk dalam genus *Ipomoea* dan dapat mengalami pertumbuhan dengan baik pada daerah perairan yang dangkal seperti di bantaran sungai, danau, hingga selokan (Hapsari, 2018).



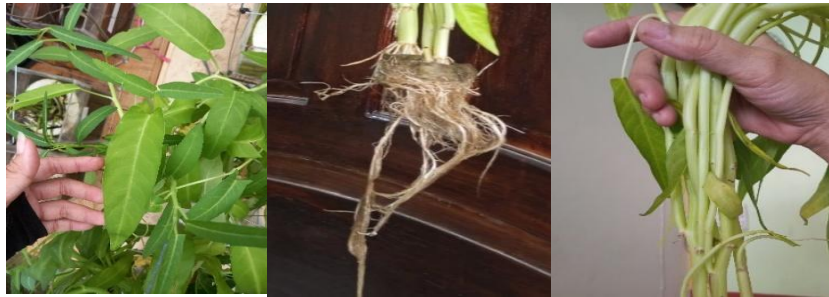
Gambar 3. Varietas Kangkung Merah

Sumber : (Dokumen Pribadi, 2024)

Karakterisasi morfologi pada setiap varietas dapat dibedakan melalui bentuk penampang batang, daun, bunga, dan bentuk biji. Pada batang kangkung merah memiliki warna hijau tua kemerahan serta bentuk yang bulat berongga. Kemudian, daun kangkung merah memiliki warna hijau tua dengan bentuk daun tombak memanjang. Kangkung merah memiliki warna mahkota bunga putih kemerahan dan benang sari yang berwarna putih. Sedangkan, biji kangkung merah memiliki bentuk tegak bulat.

2.1.5 Kangkung Batang Putih

Kangkung batang putih atau bisa disebut dengan kangkung daun willow putih memiliki ciri – ciri utama antara lain memiliki kemampuan tahan terhadap suhu lingkungan yang dingin dan panas, pertumbuhan cepat, tidak memiliki serat yang banyak, dapat ditanam di segala musim baik musim kering maupun hujan, memiliki rendemen tinggi, dan rasa yang harum.



Gambar 4. Varietas Kangkung Batang Putih

Sumber : (Dokumen Pribadi, 2024)

Karakterisasi dari kangkung batang putih yang dapat dibedakan dari varietas lainnya seperti bentuk batang yang bulat berongga dengan warna batang hijau cenderung putih. Daun kangkung batang putih memiliki bentuk tulang ramping putih dengan warna hijau cenderung muda. Kangkung batang putih memiliki warna mahkota bunga putih kemerahan dan benang sari yang berwarna putih. Sedangkan, biji kangkung merah memiliki bentuk tegak bulat dengan ukuran sedang.

2.1.6 Kangkung Cabut Casandra

Kangkung cabut casandra sama seperti kebanyakan kangkung air lainnya dimana dapat dipanen dalam kurun waktu 4 – 6 minggu dan kemunculan bibitnya dapat dilihat dalam waktu 14 – 28 hari.



Gambar 5. Varietas Kangkung Cabut Casandra

Sumber : (Dokumen Pribadi, 2024)

Karakterisasi dari kangkung cabut casandra yang dapat dibedakan dari varietas lainnya seperti bentuk batang yang bulat berongga dengan warna batang

hijau segar. Daun kangkung cabut casandra memiliki bentuk segitiga memanjang dengan warna hijau. Kangkung cabut casandra memiliki warna mahkota bunga putih kemerahan dan benang sari yang berwarna putih. Sedangkan, biji kangkung merah memiliki bentuk tegak bulat dengan ukuran kecil.

2.1.7 Limbah Cair Industri Tempe Desa Pliken, Kecamatan Kembaran, Kabupaten Banyumas

Kabupaten Banyumas memiliki salah satu kearifan lokal kuliner yang khas yaitu tempe mendoan. Mendoan merupakan makanan berbahan dasar kedelai dan menjadi salah satu kuliner yang terkenal di Kabupaten Banyumas. Semakin tingginya permintaan konsumen maka semakin meningkat pula produsen tempe mendoan sehingga produksi dari industri pengolahan kedelai dapat meningkatkan laju pertumbuhan ekonomi di Kabupaten Banyumas.

Tabel 2. Pertumbuhan PDRB dan Sektor Industri Pengolahan Kabupaten Banyumas

Sektor PDRB	Distribusi Persentase PDRB Kabupaten Banyumas Atas Harga Berlaku (Persen)		
	2021	2022	2023
Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan	12,08	11,71	11,57
Pertambangan dan Penggalian	5,54	5,21	5,00
Industri Pengolahan	25,56	25,57	26,01
Pengadaan Listrik dan Gas	0,09	0,09	0,09
Pengadaan Air, Pengelolaan Sampah, Limbah dan Daur Ulang	0,08	0,08	0,07
Konstruksi	13,49	13,32	13,09
Perdagangan Besar dan Eceran; Reparasi Mobil dan Sepeda Motor	15,46	15,26	15,29
Transportasi dan Pergudangan	2,49	4,40	4,69
Penyediaan Akomodasi dan Makan dan Minum	3,15	3,39	3,48
Informasi dan Komunikasi	5,51	5,10	5,15
Jasa Keuangan dan Asuransi	3,21	3,11	2,98
Real Estate	2,15	2,09	2,06
Jasa Perusahaan	0,31	0,31	0,32
Administrasi Pemerintahan, Pertahanan dan Jaminan Sosial Wajib	2,80	2,64	2,56
Jasa Pendidikan	5,32	4,95	4,87
Jasa Kesehatan dan Kegiatan Sosial	1,07	1,01	1,01
Jasa Lainnya	1,67	1,76	1,77
PRODUK DOMESTIK REGIONAL BRUTO	100,00	100,00	100,00

Sumber : (Badan Pusat Statistik Kabupaten Banyumas, 2024)

Tabel 3. Jumlah Produksi Kedelai Kabupaten Banyumas Tahun 2023

No	Kecamatan Subdistrict	Luas Panen Harvest Area (Ha)	Produksi Production (Ton)	Rata – rata Produksi Yield Rate (Ton/Ha)
1	Lumbir	62	97,96	1,58
2	Wangon	75	127,50	1,70
3	Jatilawang	162	283,50	1,75
4	Rawalo	19	31,35	1,65
5	Kebasen	242	436,14	1,80
6	Kemranjen	-	-	-
7	Sumpiuh	-	-	-
8	Tambak	87	149,64	1,72
9	Somagede	45	76,05	1,69
10	Kalibagor	-	-	-
11	Banyumas	126	219,24	1,74
12	Patikraja	52	85,80	1,65
13	Purwojati	187	321,64	1,72
14	Ajibarang	117	198,90	1,70
15	Gumelar	38	62,32	1,64
16	Pekuncen	-	-	-
17	Cilongok	10	16,00	1,60
18	Karanglewas	20	32,00	1,60
19	Kedungbanteng	-	-	-
20	Baturaden	-	-	-
21	Sumbang	-	-	-
22	Kembaran	32	54,50	1,70
23	Sokaraja	10	16,16	1,62
24	Purwokerto Selatan	1	1,60	1,60
25	Purwokerto Barat	-	-	-
26	Purwokerto Timur	-	-	-
27	Purwokerto Utara	-	-	-
Banyumas		1.285	2.210,20	1,72

Sumber : (Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan, 2023)

Hal ini dapat dilihat melalui data pertumbuhan PDRB dan sektor industri pengolahan Kabupaten Banyumas pada tahun 2021 – 2023 yang menunjukkan bahwa pada setiap tahun mengalami peningkatan persentase secara berurutan sebesar 25,56%, 25,57%, dan 26,01% (Badan Pusat Statistik Kabupaten Banyumas, 2024). Selain itu, berdasarkan data Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Kabupaten Banyumas (2023) menyatakan bahwa jumlah produksi kedelai pada tahun 2023 mencapai 2.210,20 ton per tahun dan peningkatan ini akan terus terjadi setiap tahunnya.

Pada umumnya, sebagian besar usaha industri tempe masih menggunakan teknologi yang masih sederhana, tidak memiliki pengelolaan limbah cair

mandiri, dan pembuangan limbah cair secara langsung dialirkan ke badan sungai maupun tanah (Ayuni & Putri, 2022). Padahal, industri pengolahan kedelai ini dianggap tidak efisien, terjadi pengurangan produktivitas, serta proses produksi yang tidak ramah lingkungan. Hal ini dikarenakan pada pembuatan tempe terdapat proses pemasakan yang menghasilkan air buangan dengan potensi cemaran yang cukup tinggi (Aphirta et al., 2024). Pembuangan limbah cair tempe secara langsung pada perairan sungai tidak akan menjadi masalah ketika pengenceran telah cukup atau dengan kata lain daya dukung lingkungan masih berada dalam ambang batas. Namun, hal ini akan bertolak belakang ketika jumlah limbah cair industri tempe lebih besar dibandingkan jumlah pengenceran di sungai sehingga daya dukung lingkungan terlampaui dan bahan organik yang ada didalam buangan limbah tersebut dapat berpotensi mencemari lingkungan sebagai akibat dari proses penguraian (Maulani et al., 2021).

Limbah cair industri tempe pada umumnya mengandung senyawa – senyawa organik berupa protein, karbohidrat, lemak, dan minyak. Limbah cair industri tempe memiliki karakteristik khas dengan kandungan bahan organik yang sangat tinggi meliputi TSS (Total Suspended Solid), BOD (Biological Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand) yang tinggi, serta memiliki pH asam dan bersifat biodegradable atau dapat diuraikan oleh mikroorganisme (Ayuni & Putri, 2022). Buangan limbah cair industri tempe berasal dari beberapa proses seperti pencucian, perendaman, dan pemasakan atau perebusan kedelai. Limbah cair yang dihasilkan dari proses pembuangan air rendaman, pengelupasan kulit kedelai, dan pencucian peralatan proses produksi akan menghasilkan warna putih keruh serta munculnya bau busuk dari gas H_2S dan amoniak sebagai akibat dari adanya aktivitas mikroorganisme dalam penguraian zat organik (Sayow dkk., 2020).

Kualitas buangan air limbah ditentukan oleh proses pengelolaan limbah sehingga apabila pengelolaan dilakukan dengan baik maka air buangan tersebut memiliki kandungan bahan organik yang rendah. Semakin banyak jumlah dan jenis bahan organik yang terkumpul maka akan semakin sulit pula limbah cair tersebut dikelola. Hal ini dikarenakan terdapat beberapa zat yang sulit untuk diuraikan oleh

mikroorganisme (Sayow dkk., 2020). Namun, berdasarkan penelitian Nurutami & Soediro (2023) menyatakan bahwa industri tempe yang berada di Desa Pliken, Kecamatan Kembaran, Kabupaten Banyumas tidak memiliki instalasi pembuangan air limbah (IPAL) dalam pengelolaan limbah cairnya serta pelaku usaha memiliki kebiasaan untuk membuang limbah cair secara langsung ke aliran sungai. Padahal, pada kenyataannya limbah cair tempe perlu dilakukan pengelolaan agar mengurangi resiko beban pencemaran dan tidak memberikan dampak yang merugikan terhadap masyarakat yang tinggal di sekitar industri tempe tersebut. Selain itu, terdapat peraturan daerah yang telah mencantumkan terkait kemudahan izin berusaha dengan disertai kepemilikan izin pembuangan limbah cair seperti tertulis menurut Ketentuan Pasal 16 Peraturan Daerah Kabupaten Banyumas Nomor 8 Tahun 2018 tentang Pengelolaan Air Limbah menyatakan bahwa “Setiap pelaku usaha dan atau kegiatan industri yang menghasilkan dan membuang air limbah industri wajib memiliki IPAL guna mengolah air limbah agar sesuai dengan baku mutu”.

Dalam penelitian Nurutami & Soediro (2023) terdapat beberapa faktor penghambat yang mempengaruhi pelaku usaha industri tempe di Desa Pliken, Kecamatan Kembaran, Kabupaten Banyumas dalam pengelolaan limbah cair diantaranya adalah :

1. Faktor rendahnya kesadaran menjaga lingkungan yakni asumsi pelaku usaha industri tempe bahwa limbah cair tempe yang dihasilkan tidak membawa pengaruh buruk terhadap masyarakat. Hal ini dikarenakan limbah cair tempe tersebut dapat terbawa oleh aliran sungai sehingga pelaku usaha menganggap bahwa tidak perlu adanya pengelolaan limbah cair. Namun, pada kenyataannya buangan limbahh cair tempe tersebut dapat berakibat buruk terhadap lingkungan sekitar.
2. Faktor tingkat pendidikan yakni pelaku usaha diketahui memiliki tingkat pendidikan yang rendah karena hanya tamat menyelesaikan pendidikan pada taraf Sekolah Dasar dan Sekolah Menengah Pertama. Minimnya pengetahuan pelaku usaha industri tempe sehingga kurang dapat memahami pentingnya

melestarikan lingkungan dan berhubungan dengan rendahnya kesadaran menjaga lingkungan.

3. Faktor ekonomi yakni industri tempe yang berada di Desa Pliken memiliki skala industri rumah tangga sehingga penghasilan dari penjualan tempe meandoan hanya cukup digunakan untuk pemenuhan kebutuhan hidup. Pelaku usaha industri tempe hanya berfokus pada keuntungan yang dihasilkan sehingga tidak memprioritaskan aspek – aspek lingkungan termasuk pengelolaan limbah cair.
4. Faktor partisipasi pemerintah dan penegakan hukum yakni kurangnya sosialisasi antara pemerintah dengan pelaku usaha industri tempe mengenai izin pengelolaan limbah cair yang telah diatur dalam peraturan pemerintah sehingga pelaku usaha dapat mentaati peraturan hukum yang berlaku serta lingkungan terjaga kelestariannya.
5. Faktor peran masyarakat yakni kurangnya kepedulian masyarakat terhadap dampak pencemaran yang dapat ditimbulkan dari adanya buangan limbah cair tempe. Partisipasi masyarakat diperlukan sehingga dapat mengawasi pengelolaan limbah cair dan lingkungan dapat terjaga. Pengawasan dari masyarakat menjadi penting dikarenakan lokasi industri tempe berada di tengah pemukiman masyarakat.

Menurut Purnama (2016) limbah cair tempe dapat memberikan dampak buruk terhadap kelestarian lingkungan apabila limbah cair tersebut secara langsung dibuang ke badan air. Kandungan bahan organik yang sangat tinggi dapat menurunkan daya dukung lingkungan dan berpotensi menimbulkan pencemaran. Dampak buruk yang dapat ditimbulkan antara lain sebagai berikut :

1. Limbah cair tempe yang dibuang ke badan perairan dalam waktu singkat dapat menimbulkan bau busuk yang berasal dari gas H_2S , amoniak atau fosfin. Bau busuk tersebut berasal dari proses fermentasi limbah organik dan bau busuk tersebut akan sangat menyengat ketika musim kemarau pada saat debit air berkurang.

2. Air sungai menjadi tidak layak pakai untuk kegiatan konsumsi minum, mandi, dan mencuci dikarenakan adanya perubahan warna menjadi berwarna keruh.
3. Perubahan kualitas air dapat terjadi ketika adanya ketidakseimbangan lingkungan baik secara fisik, kimia, maupun biologis sebagai akibat beban pencemaran yang selalu diterima setiap harinya.
4. Kandungan limbah cair tempe yang sebagian besar mengandung bahan organik yang tinggi dapat memberikan pengaruh dalam penurunan konsentrasi oksigen terlarut dalam air. Konsentrasi oksigen terlarut yang dibutuhkan dalam proses penguraian zat organik menjadi penting dalam kehidupan organisme perairan sehingga apabila perairan tercemar maka mengakibatkan jumlah kandungan bahan organik besar dan kebutuhan oksigen terlarut sangat rendah. Keadaan ini dapat membahayakan kehidupan organisme perairan.
5. Peningkatan suhu sebagai akibat buangan limbah cair yang dibuang ke sungai dapat mempengaruhi penurunan kadar oksigen terlarut. Peningkatan suhu akan mempercepat peningkatan laju pernafasan makhluk hidup. Kecepatan penurunan kadar oksigen terlarut akan lebih tinggi dikarenakan tingginya laju peningkatan pernafasan makhluk hidup.
6. Pengaruh padatan tersuspensi (TSS) yang memberikan dampak terhadap organisme perairan seperti terjadinya penyumbatan insang pada ikan, hambatan dalam memperoleh makan, serta reaksi penolakan terhadap perubahan air yang keruh.
7. Sifat biodegradable yang dimiliki limbah cair tempe dapat diuraikan oleh mikroorganisme. Sedangkan, buangan limbah cair tersebut dapat dijadikan nutrient bagi tumbuhan air yang ada di sungai. Namun, ketika kandungan bahan organik pada limbah cair tempe tinggi maka dapat menimbulkan eutrofikasi sehingga terjadi ledakan populasi pada beberapa tumbuhan air seperti alga, fitoplankton, dan eceng gondok yang kemudian dapat mengganggu ekosistem perairan.

Limbah cair yang berasal dari industri tempe ketika dalam pembuangannya dikeluarkan ke lingkungan harus memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Tujuan dibuatnya baku mutu adalah untuk mengetahui dan menilai lingkungan dapat dikategorikan dalam keadaan tercemar atau masih berada dalam ambang batas. Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Kegiatan / Usaha Pengolahan Kedelai untuk tempe dengan indikator pencemar bahan organik yang ditandai oleh parameter BOD, COD, TSS, dan pH.

Tabel 4. Baku Mutu Standar Pengolahan Kedelai pada Industri Tahu dan Tempe
PERMEN LH RI Nomor 5 Tahun 2014

Parameter	Tahu (mg/L)	Tempe (mg/L)
BOD	150	150
COD	300	300
TSS	200	100
pH	6-9	6-9

Sumber : (Pakpahan dkk., 2021)

SEKOLAH PASCASARJANA