

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peternakan sapi perah merupakan salah satu jenis usaha perorangan di bidang peternakan atau peternakan rakyat yang banyak dimiliki oleh masyarakat. Peternakan sapi perah mampu menghasilkan produk susu yang bernilai ekonomi tinggi. Sejalan dengan keuntungan yang diperoleh, usaha peternakan sapi perah juga menghasilkan produk berupa limbah yang cukup tinggi. Usaha peternakan sapi perlu memerhatikan dampak negatif dari usahanya yakni limbah yang dibuang tanpa proses pengolahan, rawan menyebabkan pencemaran (Dameanti dkk., 2022).

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001, Pencemaran air adalah masuknya makhluk hidup, zat, energi atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai peruntukannya. Pencemaran air adalah kondisi di mana air permukaan seperti sungai dan danau maupun air tanah, terkontaminasi oleh bahan-bahan berbahaya atau zat-zat yang dapat merusak kualitas air dan berpotensi membahayakan makhluk hidup. Limbah merupakan salah satu bahan penyebab terbesar dari pencemaran air. Karena limbah adalah bahan atau substansi yang tidak diinginkan, tidak digunakan lagi, atau dianggap tidak berguna bagi pemiliknya. Limbah peternakan adalah salah satu limbah yang banyak dihasilkan dari kegiatan manusia beternak (Putra dkk., 2025).

Limbah peternakan adalah salah satu limbah yang banyak dihasilkan dari kegiatan manusia beternak. Limbah tersebut berupa feses, urin, sisa pakan, dan yang digunakan untuk membersihkan ternak dan kandangnya. Limbah cair mengacu pada segala jenis limbah yang ada dalam bentuk atau fase cair seperti urin atau air limbah yang digunakan untuk keperluan pembersihan peralatan (Perwitasai dkk., 2020). Menurut (Saleh dkk., 2023) satu ekor sapi dengan berat sekitar 400 ± 500 kg mempunyai kapasitas menghasilkan limbah padat dan cair dengan laju berkisar antara 27,5 hingga 30 kg per hari. Limbah cair dari kotoran sapi banyak mengandung senyawa seperti NH_3 , NH dan senyawa lainnya yang berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan. Salah satu akibat dari pencemaran air oleh limbah ternak ialah meningkatnya kadar nitrogen. Senyawa nitrogen sebagai polutan mempunyai efek polusi yang spesifik dimana kehadirannya dapat menimbulkan konsekuensi penurunan kualitas perairan sebagai akibat terjadinya proses eutrofikasi penurunan konsentrasi oksigen terlarut sebagai hasil proses nitrifikasi yang terjadi di dalam air yang dapat mengakibatkan terganggunya kehidupan biota air (Ashar, 2020).

Upaya yang dapat dilakukan dengan memanfaatkan mikroalga untuk pengolahan limbah cair. Menurut (Alling dkk., 2023) mikroalga dikenal sangat efisien dalam pengolahan air limbah, mikroalga mampu mengambil nutrisi dan logam dari air limbah dalam berbagai tahap pengolahan. Salah satu mikroalga yang dapat dimanfaatkan untuk media pengolahan limbah adalah mikroalga spesies *Spirulina platensis*. Mikroalga *Spirulina sp.* memiliki kemampuan untuk menyerap bahan – bahan kimia seperti

deterjen, fosfat, dan senyawa organik lainnya. Kemampuan yang dimiliki mikroalga *Spirulina* sp. ini yaitu melalui proses biosorpsi. Dinding sel *Spirulina* sp. memiliki komponen yang terdiri dari selulosa dan polisakarida mampu mengikat ion logam berat dan senyawa organik, sehingga membantu mengurangi konsentrasi bahan berbahaya dalam air limbah (Rahmanda, 2024).

Spirulina atau dikenal dengan nama lain *Arthrospira* merupakan spesies mikroalga berwarna hijau kebiruan, berbentuk benang (filament), tidak bercabang, berukuran 1 – 12 mikrometer dan hidup secara berkoloni, dan bentuknya spiral (helix). *Spirulina* dikenal dengan mikroalga yang mampu hidup di air dengan kandungan logam pencemar yang tinggi, sehingga dengan kemampuan beradaptasinya yang tinggi, serta *spirulina* dapat dimanfaatkan sebagai media pengolahan limbah (Ferreira dkk., 2023). Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Sayadi dkk., 2016) penghilangan nitrat tertinggi untuk mikroalga *spirulina* plantesis adalah 81,49% sedangkan penghilangan fosfat tertinggi untuk mikroalga *spirulina* adalah 81,49%. Oleh karena itu, mikroalga *spirulina* plantesis dapat digunakan secara efektif untuk menghilangkan nitrat dan fosfat dari limbah cair.

Berdasarkan permasalahan dan potensi solusi diatas, adapun tujuan dari penelitian ini ialah menganalisis performa mikroalga *Spirulina* dalam menurunkan polutan pada air limbah peternakan sapi menggunakan fotobioreaktor dengan variasi intensitas cahaya.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian tugas akhir ini sebagai berikut.

1. Bagaimana karakteristik air limbah peternakan yang digunakan sebagai media pertumbuhan mikroalga?
2. Bagaimana pengaruh intensitas cahaya terhadap efisiensi pengolahan air limbah peternakan menggunakan mikroalga?
3. Bagaimana efektivitas pengolahan air limbah peternakan menggunakan mikroalga?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi karakteristik air limbah peternakan yang digunakan sebagai media pertumbuhan mikroalga.
2. Menganalisis pengaruh intensitas cahaya terhadap efisiensi pengolahan air limbah peternakan menggunakan mikroalga.
3. Menganalisis efektivitas pengolahan air limbah peternakan menggunakan mikroalga.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Peneliti
Menambah pengetahuan dan pemahaman tentang potensi pemanfaatan air limbah peternakan sebagai media pertumbuhan mikroalga dan pengaruh cahaya serta konsentrasi nutrisi untuk pertumbuhan mikroalga.

2. Bagi Akademisi
Penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk menambah referensi untuk penelitian lanjutan pada masa yang akan mendatang.
3. Bagi masyarakat
Hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan tentang alternatif media pertumbuhan mikroalga yaitu dengan memanfaatkan air limbah peternakan.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

- 1 Penelitian dilakukan dengan menggunakan fotobioreaktor dalam pengolahan air limbah peternakan dengan metode fotoremediasi.
- 2 Air limbah yang digunakan adalah air limbah peternakan sapi perah yang diambil dari fakultas peternakan Universitas Hasanuddin.
- 3 Mikroalga yang digunakan adalah *Spirulina Plantesis*.
- 4 Variasi yang digunakan adalah intensitas cahaya dengan variasi 3000 lux, 4000 lux, dan 5000 lux.

1.6 Teori

1.6.1. Air Limbah Peternakan

Limbah peternakan adalah salah satu limbah yang banyak dihasilkan dari kegiatan manusia beternak. Limbah peternakan umumnya meliputi semua kotoran yang dihasilkan dari suatu kegiatan usaha peternakan, baik berupa limbah padat dan cairan, gas, ataupun sisa pakan. Limbah padat merupakan semua limbah yang berbentuk padatan atau dalam fase padat (kotoran ternak, ternak yang mati atau isi perut dari pematangan ternak) (Putra dkk., 2025).



Gambar 1. Limbah air peternakan sapi
Sumber: Penelitian, 2025

Limbah peternakan terdiri dari limbah cair (air), padat dan gas. Air limbah peternakan memiliki sifat fisik yaitu cairan 99,9% (urin, air dan campuran feses dengan urin) dan padatan 0,1% berupa suspensi padat bercampur dengan bahan organik maupun anorganik limbah peternakan. Limbah cairan pada peternakan sapi perah didominasi oleh air yang telah digunakan untuk pembersihan, sanitasi, pemanasan, pendinginan, dan pencucian lantai. Limbah peternakan sapi perah pada umumnya mengandung bahan organik dengan konsentrasi tinggi seperti protein, karbohidrat dan lipid, BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang tinggi, dan konsentrasi padatan tersuspensi dan minyak-lemak tersuspensi yang tinggi (Dameanti dkk., 2022).

1.6.2. Karakteristik Air Limbah Peternakan

Karakteristik air limbah peternakan secara umum dapat dibagi menjadi tiga aspek utama: fisik, kimia, dan biologis

1. Karakteristik fisik

- Bentuk limbah peternakan terdiri dari padat, semi padat, dan cair, dengan tekstur dan kekompakan yang bervariasi tergantung jenis dan umur ternak serta cara pemeliharaan.
- Warna limbah segar biasanya coklat muda sampai coklat terang, sedangkan limbah yang sudah lama berwarna lebih gelap atau hitam.
- Bau limbah segar menyerupai bau pakan, sedangkan limbah lama berbau busuk seperti telur busuk.
- Kandungan air limbah tinggi, biasanya lebih dari 88% untuk limbah cair, sehingga mempengaruhi metode pengolahan.
- Padatan tersuspensi dalam limbah cukup tinggi, yang dapat menyebabkan kekeruhan dan menghambat proses oksigenasi di badan air.

2. Karakteristik kimia

- Limbah mengandung bahan organik tinggi, seperti *fezes* dan *urine*, dengan nilai BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang besar, misalnya BOD bisa mencapai ribuan mg/L, menandakan potensi pencemaran yang tinggi.
- pH limbah biasanya netral hingga sedikit basa.
- Kandungan nutrisi seperti nitrogen (amonia, nitrit, nitrat) dan fosfat cukup tinggi, yang dapat menyebabkan eutrofikasi jika dibuang langsung ke lingkungan.
- Limbah juga mengandung bahan anorganik dan gas seperti metana (CH₄), hidrogen sulfida (H₂S), dan karbon dioksida (CO₂) yang berasal dari proses dekomposisi anaerob.

3. Karakteristik biologis

- Limbah mengandung mikroorganisme yang berasal dari sistem pencernaan ternak, termasuk bakteri dan mikroflora-fauna lain yang berperan dalam proses penguraian organik.
- Kandungan mikroorganisme ini juga dapat menjadi sumber patogen dan menyebabkan pencemaran biologis jika tidak diolah dengan benar.

Secara keseluruhan, karakteristik air limbah peternakan sangat dipengaruhi oleh jenis ternak, umur ternak, pakan yang diberikan, serta cara pemeliharaan dan pengelolaan limbahnya. Limbah ini memiliki kandungan organik dan nutrisi yang tinggi, padatan tersuspensi yang signifikan, serta mikroorganisme yang berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan baik

1.6.3. Parameter Nitrogen (N)

Nitrogen ialah salah satu parameter dalam penilaian kualitas air limbah domestik maupun industri. Di perairan, nitrogen dapat berupa nitrogen anorganik dan organik. Nitrogen anorganik terdiri atas amonia (NH_3), ammonium (NH_4), nitrit (NO_2), nitrat (NO_3) dan molekul nitrogen (N_2) dalam bentuk gas. Nitrogen organik berupa protein, asam amino dan urea. Sumber utama nitrogen antropogenik di perairan berasal dari wilayah pertanian yang menggunakan pupuk secara intensif maupun dari kegiatan domestik (Mutiah dkk., 2022).

Nitrat (NO_3) dan Ammonium (NH_4) adalah sumber utama nitrogen di perairan. Tetapi NH_4 lebih disukai oleh tumbuhan. Kadar NO_3 pada perairan alami hampir tidak pernah lebih dari 0,1 mg/liter. Kadar NO_3 lebih dari 5 mg/liter menggambarkan terjadinya pencemaran antropogenik yang berasal dari aktivitas manusia dan tinja hewan. Kadar NO_3 yang lebih dari 0,2 mg/liter dapat mengakibatkan terjadinya eutrofikasi (pengayaan) perairan, yang selanjutnya menstimulir pertumbuhan algae dan tumbuhan air secara pesat (*blooming*) (Mutiah dkk., 2022).

Konsentrasi NH_3 bebas yang tinggi di perairan dapat menyebabkan kerusakan insang pada ikan, tingginya konsentrasi NH_3 bebas dapat menyebabkan meningkatnya kadar amonia dalam darah dan jaringan tubuh ikan, sehingga dapat mengurangi kemampuan darah untuk mengangkut oksigen serta mengganggu kestabilan membran sel. Amonia memiliki senyawa unsur nitrat di dalamnya bila melebihi baku mutu akan meningkatkan terjadinya eutrofikasi (pengayaan) perairan dan selanjutnya menstimulir pertumbuhan alga dan tumbuhan air secara pesat. Semakin tingginya kandungan amonia dalam perairan maka akan bersifat toksik dan korosif dimana akan berdampak buruk bagi pengguna air (Sintya Dewi & Dwipayanti, 2022)

Mikroalga dapat meminimalkan risiko eutrofikasi dengan menghilangkan komponen P dan N. Ini dianggap sebagai alternatif multifungsi untuk perawatan biologis, mengubah bahan organik dan anorganik yang tidak diinginkan menjadi biomassa yang bernilai lebih jauh lagi, mikroalga yang dikumpulkan dari kolam perawatan tertentu dapat digunakan sebagai sumber makanan dan bahan baku untuk banyak produk dan juga memainkan peran beraneka ragam dalam berbagai industri (Abdelfattah dkk., 2023). Nitrogen merupakan salah satu elemen penting untuk pertumbuhan, perkembangan, reproduksi, dan kegiatan fisiologis Spirulina. Sumber nitrogen mempengaruhi kegiatan fotosintesis sehingga peningkatan proses fotosintesis akan berpengaruh terhadap peningkatan biomassa mikroalga (Mutia dkk., 2021).

Air limbah mengandung nutrisi, terutama nitrat yang diperlukan untuk pertumbuhan mikroalga. Kandungan Nitrogen yang dapat dimanfaatkan langsung oleh mikroalga adalah amonia bebas (NH_3) dan Nitrat (NO_3) yang memiliki peran dalam pembentukan lemak, asam amino, dan sel-sel vegetatif bagi mikroalga. Nitrat adalah bentuk utama dari nitrogen pada perairan alami yang merupakan nutrisi utama bagi tanaman dan mikroalga. Alga melalui proses asimilasi nitrogen anorganik terselubung

menjadi bentuk organik melalui aktivitas enzim seperti nitrat dan nitrit reduktase (Zevhiana & Rachmanto, 2024).

Untuk mengonversi rasio nitrogen (N) dan fosfat (P) dari rasio molar menjadi rasio gram, perlu diketahui berat molekul dari nitrogen dan fosfat.

- Berat molekul nitrogen (N): sekitar 14 g/mol
- Berat molekul fosfat (P): sekitar 31 g/mol (untuk fosfor, fosfat biasanya dihitung berdasarkan fosfor atom)
- Rasio molar Redfield yang umum untuk pertumbuhan mikroalga adalah 16:1 (N:P). Jika ingin menghitung rasio gram berdasarkan molar 16:1:
- $16 \text{ mol N} \times 14 \text{ g/mol} = 224 \text{ gram nitrogen}$
- $1 \text{ mol P} \times 31 \text{ g/mol} = 31 \text{ gram fosfat (fosfor)}$

Jadi, rasio berat dalam gram kira-kira adalah 224 g N : 31 g P, yang dapat disimplifikasi menjadi sekitar 7, 2:1 dalam berat (gram N dibandingkan gram P). Beberapa studi eksperimen juga menunjukkan variasi konsentrasi N dan P untuk kultur mikroalga, contohnya konsentrasi nitrogen di kisaran beberapa gram per liter dan fosfat yang disesuaikan dengan rasio tersebut, tapi prinsip dasarnya menggunakan rasio berat sekitar 7:1 untuk N terhadap P sesuai dengan rasio molar 16:1 (Chrismadha dkk., 2006).

1.6.4. Parameter Fosfor (P)

Fosfor merupakan suatu komponen penting sekaligus sering menimbulkan permasalahan lingkungan dalam air. Fosfor termasuk salah satu dari beberapa unsur yang esensial untuk pertumbuhan ganggang dalam air. Di perairan, unsur tidak ditemukan dalam bentuk bebas sebagai elemen, melainkan dalam bentuk senyawa anorganik yang terlarut dan senyawa anorganik yang berupa partikulat. Di perairan, bentuk unsur berubah secara terus menerus akibat proses dekomposisi dan sintesis antara bentuk organik dan anorganik yang dilakukan oleh mikroba (Mutiah dkk., 2022).

Eutrofikasi merupakan masalah lingkungan perairan yang diakibatkan oleh limbah fosfat (PO_4^{3-}). Definisi dasarnya adalah pencemaran air yang disebabkan oleh munculnya nutrisi yang berlebihan ke dalam ekosistem perairan. Air dikatakan eutrofik jika konsentrasi *total phosphorus* (TP) dalam air berada dalam rentang 35- 100 $\mu\text{g/L}$ (Mutiah dkk., 2022).

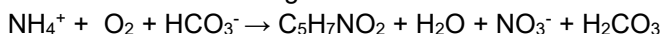
Mikroalga dapat meminimalkan risiko eutrofikasi dengan menghilangkan komponen P dan N. Ini dianggap sebagai alternatif multifungsi untuk perawatan biologis, mengubah bahan organik dan anorganik yang tidak diinginkan menjadi biomassa yang bernilai lebih jauh lagi, mikroalga yang dikumpulkan dari kolam perawatan tertentu dapat digunakan sebagai sumber makanan dan bahan baku untuk banyak produk dan juga memainkan peran beraneka ragam dalam berbagai industri (Abdelfattah dkk., 2023).

Fosfat sangat mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitas biomassa mikroalga karena dibutuhkan untuk pembentukan protein dan klorofil. Fosfat diperlukan oleh organisme mikroalga untuk pembuatan seluruh dinding sel dan jaringan. Mikroalga memanfaatkan fosfat sebagai nutrisi dalam pengolahan air limbah, selain itu fosfat sangat diperlukan sebagai transfer energi dari luar ke dalam sel organisme, sehingga fosfat merupakan salah satu unsur utama yang diperlukan untuk pertumbuhan mikroalga maupun meningkatkan biomassa mikroalga (Mutia dkk., 2021).

Penghilangan fosfat pada air limbah dapat terjadi yang dimana fosfor anorganik, yang secara alami terdapat dalam lipid, asam nukleat, dan protein dalam limbah cair, penting untuk metabolisme energi dan pertumbuhan mikroalga. Fosfat anorganik dibawa melintas membran plasma sel mikroalga. Melalui fosforilasi, fosfor anorganik dalam bentuk monohidrogen fosfat (HPO_4^{2-} dan H_2PO_4) diintegrasikan ke dalam senyawa organik seperti adenosin difosfat (ADP) pada alga. Untuk menghasilkan produk akhirnya berupa ATP, proses fosforilasi memerlukan energi. Energi dapat diperoleh melalui oksidasi substrat respirasi, sistem transportasi elektron mitokondria yang terdapat pada mikroalga eukariotik, dan cahaya yang digunakan dalam fotosintesis (Kundu dkk., 2024).

1.6.5. Nitrifikasi

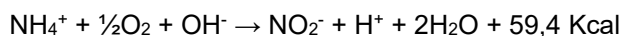
Proses nitrifikasi adalah proses perubahan senyawa amonia (NH_4^+) menjadi senyawa nitrit (NO_2^-). Selanjutnya nitrit yang terbentuk dioksidasi menjadi nitrat (NO_3^-). Proses ini berlangsung dalam suasana aerobik. Agar reaksi dapat berjalan dengan sempurna, maka diperlukan tambahan udara dari luar, misalnya disuplai dengan blower. Sedangkan bakteri nitrifikasi (*nitrifying bacteria*) yang bekerja disini adalah jenis bakteri autotrop yang memerlukan karbon anorganik untuk aktifitasnya serta pertumbuhannya. Untuk itu diperlukan tambahan karbon anorganik dari luar (Marsidi & Herlambang, 2011). Secara sederhana reaksi nitrifikasi adalah sebagai berikut:



Proses nitrifikasi menurut Gardy & Lim (1980) dalam (Marsidi & Herlambang, 2011) didefinisikan sebagai konversi nitrogen ammonium (N-NH_4) menjadi nitrit (N-NO_2) yang kemudian menjadi nitrat (N-NO_3) yang dilakukan oleh bakteri autotropik dan heterotropik. Proses nitrifikasi melalui beberapa tahap yakni :

1. Tahap Nitritasi

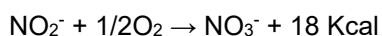
Tahap nitritasi Tahap ini merupakan tahap oksidasi ion ammonium (NH_4^+) menjadi ion nitrit (NO_2^-) yang dilaksanakan oleh bakteri nitrosomonas menurut reaksi berikut :



Reaksi ini memerlukan 3,43 gram O_2 untuk mengoksidasi 1 gram nitrogen menjadi nitrit.

2. Tahap Nittrasi

Tahap ini merupakan tahap oksidasi ion nitrit menjadi ion nitrat (NO_3^-) yang dilaksanakan oleh bakteri nitrobacter menurut reaksi berikut :



Reaksi ini memerlukan 1,14 gr O_2 untuk mengoksidasi 1 gr nitrogen menjadi nitrat.

Secara keseluruhan proses nitrifikasi dapat dilihat dari persamaan berikut :



Kedua reaksi diatas berlangsung secara reaksi eksotermik (reaksi yang menghasilkan energi). Jika kedua jenis bakteri tersebut ada, baik di tanah maupun di perairan, maka konsentrasi nitrit akan menjadi berkurang karena nitrit yang dibentuk oleh bakteri nitrosomonas akan dioksidasi oleh bakteri nitrobacter menjadi nitrat (Marsidi & Herlambang, 2011). Kedua bakteri ini dikenal sebagai bakteri autotropik yaitu bakteri yang dapat mensuplai karbon dan nitrogen dari bahanbahan anorganik dengan

sendirinya. Bakteri ini menggunakan energi dari proses nitrifikasi untuk membentuk sel sintesa yang baru. Sedangkan bakteri heterotropik merupakan bakteri yang membutuhkan bahan-bahan organik untuk membangun protoplasma. Walaupun bakteri nitrifikasi autotropik keberadaannya di alam lebih banyak, proses nitrifikasi dapat juga dilakukan oleh bakteri jenis heterotropik (*Arthobacter*) dan jamur (*Aspergillus*) (Marsidi & Herlambang, 2011).

Amonia diubah secara biologis menjadi nitrit dan nitrat dalam proses nitrifikasi dua tahap. Nitrifikasi pertama kali dioksidasi menjadi nitrit (NO_2^-) oleh bakteri *Nitrosomonas* dan kemudian menjadi nitrat (NO_3^-) oleh bakteri *Nitrobacter*, keduanya bersifat nitrosomonas:

1. $\text{NH}_4^+ + 1,5 \text{O}_2^- \rightarrow \text{NO}_2^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$
2. $\text{NO}_2^- + 0,5 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$

Nitrifikasi dapat dilakukan melalui proses pertumbuhan tersuspensi maupun terfiksasi selama jumlah oksigen yang cukup tersedia bagi nitrifikasi dan alkalinitas oksigen yang cukup terdapat dalam air limbah. Oksidasi konsentrasi BOD terlarut yang tinggi dalam fase cair oleh bakteri heterotrofik mengurangi ketersediaan oksigen dan nitrifikasi tidak dapat bersaing dengan heterotrof. Nitrifikasi oleh bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* dalam sistem reaktor berlangsung optimal pada konsentrasi *soluble BOD* ≤ 20 mg/L (EPA, 1991). . jika konsentarsi BOD lebih tinggi, bakteri heterotrof akan mendominasi karena lebih cepat memanfaatkan oksigen dan ruang, sehingga menghambat pertumbuhan nitrifier. Pada sistem alga-bakteri, kelebihan organik (BOD tinggi) menekan nitrifikasi serta mengurangi efisiensi fotosintesis mikroalga.

Spirulin plantesis dapat tumbuh optimal pada konsentrasi amonia yang rendah dengan kadar amonia ideal di air budidaya sekitar <1 mg/L. Konsentrasi amonia yang lebih tinggi dari 1 mg/L berpotensi menghambat pertumbuhan dan bisa bersifat toksik dalam jangka panjang. Untuk konsentrasi fosfat optimal pada 0,27 – 5,5 mg/L dan sampai sekitar 7-8 mg/L mendukung pertumbuhan Spirulina plantesis (Malikussaleh, 2020).

1.6.6. Pengelolaan Air Limbah Peternakan

Pengelolaan limbah cair adalah proses multifase untuk memurnikan limbah cair sebelum masuk badan air, atau digunakan untuk mengairi lahan, maupun digunakan kembali (reuse). Tujuan dari pengelolaan limbah cair adalah untuk mengurangi kandungan bahan organik, padatan, nutrient, logam berat, dan polutan lainnya. Pengelolaan limbah cair dikelompokkan menjadi praperlakuan, perlakuan primer, perlakuan sekunder, dan perlakuan tersier (Thohiroh dkk., 2021).

Menurut (Thohiroh dkk., 2021) limbah ternak jarang sekali diberi perlakuan tersier mengingat perlakuan tersier memerlukan teknologi yang canggih dan biaya yang mahal. Adapun penanganan air limbah peternakan terbagi menjadi 2 yaitu:

1. Praperlakuan dan perlakuan primer meliputi penyaringan, pengendapan, dan pemindahan limbah dari tempat dihasilkan (kandang) ke tempat penyimpanan atau pemanfaatan.

2. Perlakuan sekunder merupakan lanjutan dari perlakuan primer yaitu melibatkan perlakuan biologi seperti ponding, lumpur aktif, *rotation biological contactor*, *trickling filter*, dan penanganan secara anaerob untuk produksi biogas dan pupuk. Sludge atau lumpur hasil pengendapan pada perlakuan primer maupun sekunder biasanya dapat digunakan untuk produksi pupuk kompos

1.6.7. Baku Mutu Air Limbah Peternakan

Air limbah adalah sisa dari suatu usaha dan/ atau kegiatan berwujud cair. Baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan/atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam media air dari suatu usaha dan/atau kegiatan menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan hidup Nomor 5 Tahun 2015, industri peternakan sapi dan babi adalah usaha peternakan sapi dan babi yang dilakukan di tempat yang tertentu serta perkembangbiakan ternaknya dan manfaat industrinya diatur dan diawasi oleh peternak-peternak. Berikut ini merupakan baku mutu air limbah peternakan sapi:

Tabel 1. Baku Mutu Air Limbah Peternakan

Parameter	Kadar Paling Tinggi (mg/L)	Beban Pencemaran Paling Tinggi (gram/ekor/hari)	
		Sapi	Babi
BOD	100	20	4
COD	200	40	8
TSS	100	20	4
NH ₃ -N	25	5	1
pH		6-9	

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014

1.6.8. Jenis-jenis Mikroalga

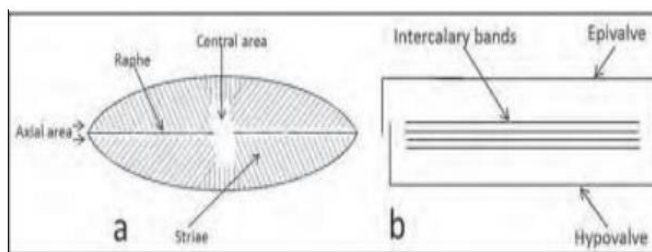
Fitoplankton merupakan dari bahasa Yunani “Phyto” atau tumbuhan, yaitu plankton yang bersifat nabati atau biasa disebut alga, hidupnya dekat dengan permukaan air yang man tersedia cahaya matahari yang cukup. Fitoplankton atau bisa disebut dengan mikroalga merupakan plankton tumbuhan. Mikroalga adalah mikroorganisme fotosintetik nutrisi yang memiliki ukuran antara satu mikrometer hingga ratusan mikrometer dimana mempunyai suatu zat hijau atau disebut klorofil, yang hidupnya di air tawar hingga air laut dan membutuhkan adanya karbondioksida, beberapa nutrisi serta cahaya dalam melakukan fotosintesis (Septianingrum, 2024).

Spirulina termasuk mikroalga dari jenis Cyanophyta dengan bentuk silindris, spiral (helix) yang memutar ke kiri dan trikome multiseluler. Berasal dari filum Cyanobacteria, kelas Cyanophyceae, ordo Oscillatoriales, genus Spirulina, Spirulina sp. tergolong jenis autotrof dengan warna hijau kebiruan, dimana filamennya dapat hidup sendiri dan bergerak bebas (Diniariwisn & Muahiddah, 2024).

Mikroalga memiliki kemampuan tumbuh yang sangat cepat selama fase pertumbuhan eksponensial pada kondisi iklim yang cocok dengan jangka waktu 24 jam bahkan 3,5 jam (Aulia, 2020). Menurut Austacia dkk., (2018) dalam (Septianingrum, 2024) mikroalga di dalam perairan memiliki peran untuk pengubah zat-zat anorganik sehingga menjadi zat-zat yang organik dengan melewati proses fotosintesis, yang selanjutnya bisa digunakan sebagai penentu dari produktivitas serta kesuburan perairan. Mikroalga adalah salah satu organisme yang bisa digunakan untuk indikator air yang tercemar dikarenakan mikroalga dapat memberi respon terhadap banyak sedikitnya bahan pencemar yang ada pada perairan. Dimana organisme yang tidak dapat toleran akan mengalami suatu penurunan jumlah bahkan dapat terjadi kemusnahan hal tersebut berlaku sebaliknya, dimana bila kondisi lingkungan yang bersih serta tidak adanya pencemaran maka mikroalga tersebut mampu berkembang dan tumbuh. Mikroalga terdiri dari beberapa jenis. Berikut jenis-jenis mikroalga (Septianingrum, 2024):

1. *Bacillariophyceae*

Bacillariophyceae berasal dari bahasa latin bacillus yang berarti “kecil”, “tongkat” atau “batang”. *Bacillariophyceae* kebanyakan bersifat autotrofik tetapi ada pula yang bersifat obligat heterotrof (harus menyerap karbon organik) karena kurangnya klorofil. *Bacillariophyceae* atau biasa disebut diatom mudah dikenal karena memiliki dinding sel yang terbuat dari silikat, atau dapat disebut dengan frustule. Diatom dapat dibagi ke dalam dua kelompok utama yaitu, pennate diatom dan centric diatom. Centric diatom memiliki bentuk valve radial dengan bentuk jari-jari berbentuk simetris, sedangkan Pennate diatom memiliki bentuk valve seperti jarum yang memiliki dua sisi yang simetris.

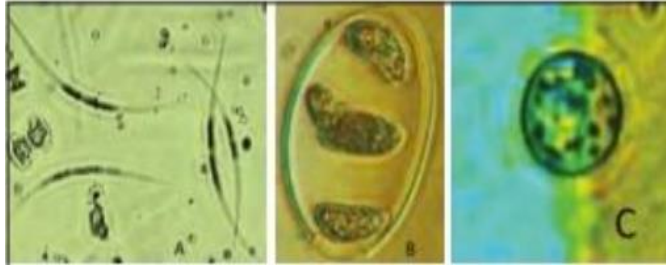


Gambar 2 Mikroalga *Bacillariophyceae*
Sumber: Septianingrum, 2024

Diatom secara umum dapat ditemukan di perairan tawar dan perairan laut, dimana hidupnya akan melayang bebas atau dapat juga menempel disubstrat. Diatom merupakan salah satu komponen dari fitoplankton yang termasuk penting, selain menjadi kontributor terbesar dalam produksi primer diatom juga dapat digunakan sebagai alat ekologi dalam menyelidiki masa lalu (fosil) dan memantau perubahan lingkungan seiring berjalannya waktu.

2. *Chlorophyta*

Chlorophyceae dari bahasa Yunani yaitu “*Chloros*” yang memiliki arti “hijau”. Oleh sebab itu disebut juga alga hijau. *Chlorophyceae* memiliki beragam morfologi serta sifat hidupnya. Beragam jenis dari alga hijau dapat dijumpai dari bentuk selnya yang tunggal sederhana dan tidak dapat bergerak, hingga bentuk koloni yang memiliki susunan teratur serta bentuk rangkaian selnya atau filamen panjang.

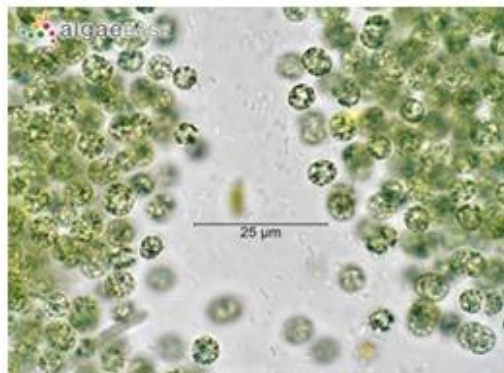


Gambar 3 Mikroalga Chlorophyceae
Sumber:Septianingrum, 2024

Organel yang sangat mencolok pada selnya yaitu kloroplas, dimana umumnya memiliki warna hijau cerah karena adanya klorofil-a dan klorofil-b. Kloroplas biasanya memiliki satu atau lebih pirenoid yang digunakan sebagai penyimpan pati makanan. Protoplasnya dikelilingi oleh dinding sel yang kokoh terdiri dari selulosa, polisakarida dan protei lainnya. Chlorophyceae tumbuh di perairan yang luas salinitasnya, beragam dari perairan tawar oligotrofik hingga perairan laut dan jenuh dengan adanya zat terlarut.

3. *Cyanophyceae*

Cyano adalah bahasa Yunani yang berarti "biru". Cyanophyceae atau alga biru hijau sering juga disebut dengan Cyanobacteria, yaitu organisme yang memiliki struktur sel prokariotik (bakteri) yang dianggap lebih dekat kekerabatannya dengan bakteri jika dibandingkan dengan alga yang lainnya. Cyanophyceae memiliki ketergantungan terhadap CO₂ dan dapat menghasilkan banyak oksigen di dalam proses fotosintesis yang dilakukannya.



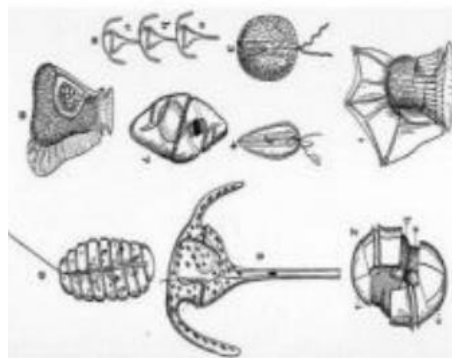
Gambar 4 Mikroalga Cyanophyceae
Sumber: Septianingrum, 2024

Keunikan dari fitoplankton ini yaitu memiliki pigmen klorofil, phycocyanin dan phycoerythrin yang akan memberikan warna berbeda yang mencirikan jenis ini. Namun ada jenis-jenis Cyanophyceae yang mempunyai kemampuan dalam memfiksasi zat nitrogen yang ada di udara dan kemudian memproduksi bahan toksik. Dimana bahan toksik tersebut akan dapat mengganggu bagi kesehatan tubuh manusia serta dapat mengakibatkan kematian pada hewan atau binatang. Jenis dari Cyanophyceae akan berlimpah pada kondisi lingkungan perairan yang memiliki suhu

perairan yang tinggi, banyak unsur hara serta perairan yang stabil, sehingga dapat menyebabkan terjadinya perairan yang berwarna hijau dengan adanya gumpalan hijau dan berbau kurang sedap, sebagai contoh seperti di Danau Maninjau, Sumatera Barat.

4. *Dinophyceae*

Dinophyceae berasal dari bahasa Yunani *dineo* yang berarti “berputar”. *Dinophyceae* atau biasa disebut sebagai dinoflagellata memiliki klorofil dalam tubuhnya, merupakan produsen primer kedua setelah diatom. Kelas 15 ini memiliki ukuran yang kecil, termasuk uniseluler, memiliki dua flagela sebagai alat gerak, memiliki warna kuning-hijau hingga kemerahan. *Dinophyceae* bereproduksi dengan melakukan pembelahan sel, yang mana laju pembelahan akan meningkat apabila lingkungan ekosistem optimal, walaupun memiliki variasi antar jenis.



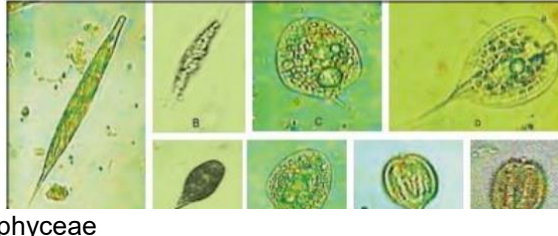
Gambar 5 Mikroalga *Dinophyceae*

Sumber: Septianingrum, 2024

Dinophyceae adalah salah satu anggota penting dalam fitoplankton di ekosistem laut dan perairan tawar (sebagian besar spesies ditemukan di laut). Mereka biasanya akan berenang bebas, namun ada pula yang bersifat bentik, dengan hidup yang menempel pada suatu sedimen, pasir, karang, tanaman air atau juga pada permukaan makroalga. Beberapa spesies dapat hidup bersimbiosis atau menjadi parasit bagi organisme yang lain. Blooming *Dinophyceae* dapat membuat air laut mengalami perubahan warna menjadi coklat kemerahan pada saat spesies tertentu menghasilkan neurotoksin

5. *Euglenophyceae*

Euglenophyceae atau alga merah merupakan organisme yang memiliki karakteristik, seperti sel eukariotik, tidak berflagel, pati berupa florida, pigmen *Phycobiliprotein* (merah dan biru), tilakoid tidak bertumpuk dan kloroplasnya tidak terdapat retikulum endoplasma eksternal. *Rhodophyta* air tawar memiliki keanekaragaman yang relatif rendah dibandingkan dengan kelompok alga lain. Analisis studi terbaru menunjukkan bahwa terdapat 66 spesies dan 27 genus dari Amerika Utara. Alga dari divisi ini umumnya tersebar di laut dan dari 5.000 spesies kurang dari 3% yang hidup di habitat air tawar. Salah satu contoh spesies dari divisi *Rhodophyta* adalah *Batrachospermum atrum* (Sadida, 2024).

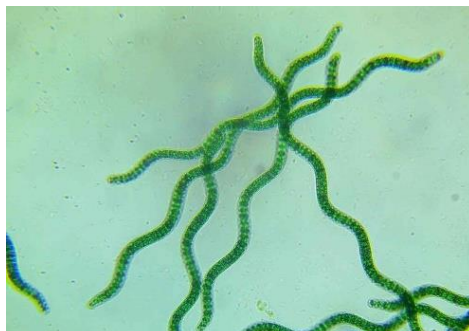


Gambar 6 Euglenophyceae
Sumber: Septianingrum, 2024

1.6.9. Mikroalga *Spirulina Plantesis*

Secara taksonomi menurut Kabinawa (2006), klasifikasi *Spirulina platensis* yaitu sebagai berikut :

Divisi	: <i>Cyanophyta</i>
Kelas	: <i>Cyanophyceae</i>
Ordo	: <i>Nostocales</i>
Famili	: <i>Oscillatoriaceae</i>
Genus	: <i>Spirulina</i>
Spesies	: <i>Spirulina platensis</i>



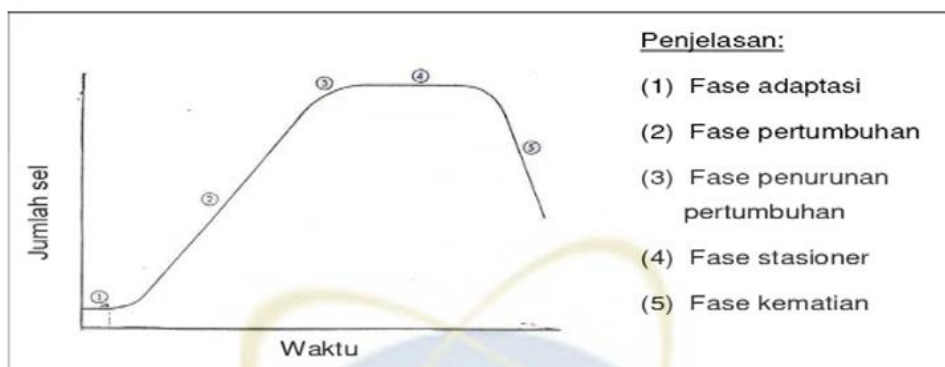
Gambar 7 Mikroalga *Spirulina sp*
Sumber: Rahmanda, 2024

Spirulina sp. adalah alga hijau biru berfilamen yang memiliki potensi besar untuk pengembangan di Indonesia. Alga ini dikenal sebagai pakan alami untuk pembenihan larva udang dan ikan. *Spirulina sp.* kaya akan nutrisi, dengan kandungan protein mencapai 40-60%, serta vitamin A dan mineral sekitar 3-7%. Tepung *Spirulina* kering mengandung pigmen fikosianin hingga 20% dari bobot keringnya, yang memberikan warna biru kehijauan dan memiliki manfaat sebagai antioksidan. Selain itu, *Spirulina sp.* juga mengandung beta-karoten, yang berfungsi sebagai prekursor vitamin A dan memiliki sifat antioksidan yang kuat. Potensi nutrisi yang tinggi dan aplikasinya yang luas menjadikan *Spirulina sp.* dapat berkontribusi tidak hanya dalam sektor perikanan tetapi juga dalam industri pangan dan kesehatan, menjadikannya sumber yang berharga untuk pengembangan produk yang lebih berkelanjutan (Wibowo dkk., 2024).

1.6.10. Pertumbuhan Mikroalga

Pertumbuhan mikroalga memiliki beberapa fase yaitu fase lag, log, stasioner dan kematian. Fase lag ialah fase dimana mikroalga menyesuaikan diri dengan lingkungannya, fase log merupakan fase pertumbuhan mikroalga yang cepat, ditandai dengan aktifnya sel-sel yang dapat diamati, fase stasioner merupakan fase dimana laju pertumbuhan dan kematian seimbang sehingga jumlah total mikroalga yang hidup tetap, fase kematian merupakan fase penurunan pertumbuhan dan berakhir pada fase kematian sel (Ramadhan, 2025).

Selain memiliki fase dalam pertumbuhan, mikroalga juga memiliki *doubling time* dalam pertumbuhannya. Waktu generasi yang paling rendah merupakan waktu tersingkat yang dibutuhkan satu (generasi) populasi untuk tumbuh menjadi 2 kali lipat atau generasi selanjutnya. Menurut Singgalingging (2019) dalam (Ramadhan, 2025) laju pertumbuhan spesifik yang tinggi akan menghasilkan *doubling time* yang semakin kecil, dan sebaliknya. Lamanya waktu yang dibutuhkan mikroalga untuk melangsungkan pembelahan sel akan berimplikasi terhadap kecepatan pertumbuhan. Semakin cepat waktu yang dibutuhkan mikroalga untuk melakukan pembelahan dan menggandakan sel, maka produksi sel perharinya pun akan ikut meningkat.



Gambar 8 Fase Pertumbuhan Mikroalga

Sumber: Ramadhan, 2025

Menurut (Ramadhan, 2025) pertumbuhan mikroalga dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu intensitas cahaya, salinitas, kandungan nitrit, pH dan suhu. Intensitas cahaya yang tinggi dapat mempengaruhi laju fotosintesis mikroalga, aktivitas fotosintesis naik seiring dengan kenaikan intensitas cahaya, sehingga dapat mempercepat pertumbuhan sel mikroalga.

1.6.11. Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Mikroalga

Faktor-faktor lingkungan yang secara signifikan mempengaruhi penyerapan CO₂, pH, intensitas cahaya, suhu dan ketersediaan nitrogen.

Konsentrasi CO₂. Semakin tinggi konsentrasi CO₂, semakin besar efek toksik yang ditunjukkan pada mikroalga akibat pengasaman. Penyerapan CO₂ optimum oleh *Nannochloropsis sp.* diperoleh pada konsentrasi CO₂ 10%. *Dunaliella* menunjukkan pertumbuhan pada konsentrasi CO₂ yang lebih rendah yaitu 2%-6%, sehingga dapat disimpulkan konsentrasi CO₂ pada spesies mikroalga memiliki batas toleransi dan

konsentrasi CO₂ optimal yang berbeda-beda. Konsentrasi CO₂ optimal untuk pertumbuhan *Spirulina platensis* adalah 10%. Konsentrasi ini dapat menghasilkan produktivitas biomassa dan laju fiksasi CO₂ yang tinggi.

pH. pH netral (6,5 hingga 8) direkomendasikan sebagai kondisi yang baik untuk budidaya mikroalga. Penyerapan CO₂ tidak hanya mempengaruhi pertumbuhan biomassa mikroalga, tetapi juga sangat berpengaruh dengan serapan nutrisi, aktivitas fotosintesis, dan beberapa reaksi enzimatik (Prasad dkk., 2021). pH asam berperan penting dalam penyerapan CO₂ karena peningkatan konsentrasi CO₂ bebas (yang menguntungkan bagi spesies yang toleran terhadap asam seperti *Scenedesmus sp.* Sedangkan pH basa berperan memberikan peningkatan terhadap solubilitas CO₂ dalam bentuk ion CO₃²⁻, kondisi ini akan menguntungkan bagi spesies yang memiliki kandungan CO₂ tinggi dan toleran terhadap basa seperti *C. sorokiniana* str. SLA-04. Pada *Spirulina platensis* pH optimal cenderung basa sekitar 8,5–10,5 (Prasad dkk., 2021).

Suhu. Suhu optimum pada spesies mikroalga berbeda-beda; misalnya, spesies *C. vulgaris* memiliki suhu optimum 30°C, *N. oculata* pada suhu 20°C, dan *S. obliquus* pada suhu 30°C. Suhu memiliki hubungan yang berlawanan dengan pelarutan CO₂ dalam larutan air, sehingga mempengaruhi penyisihan secara keseluruhan. Suhu dapat menyebabkan perubahan aktivitas enzim karboksilase dan rubisco sehingga mempengaruhi penyerapan CO₂ oleh mikroalga. Suhu yang rendah menyebabkan terjadinya perubahan struktur asam amino, sedangkan suhu yang tinggi meregangkan dan memutus rantai polipeptida sehingga dapat mengganggu penyerapan CO₂ (Prasad dkk., 2021). Pada penelitian yang dilakukan oleh Rana, Sudakar dan Soni (2019) mengenai studi perbandingan kinerja pertumbuhan *Spirulina platensis* pada media kultur modifikasi dan hasil pertumbuhan *Spirulina* yang optimal diperoleh pada suhu 25–30°C.

Ketersediaan nitrogen. Nitrogen dalam nitrat mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitas biomassa mikroalga karena dibutuhkan untuk pembentukan protein dan klorofil. Nitrogen diperlukan oleh organisme mikroalga untuk pembentukan seluruh dinding sel dan jaringan. Ketersediaan nitrogen akan berkurang ketika sel telah mencapai titik maksimal sehingga ketika memasuki fase stasioner mikroalga akan kekurangan nitrogen dan pertumbuhan sel menjadi terganggu. Penurunan kualitas media terjadi karena adanya sel-sel mati dan sisa metabolisme yang kemungkinan mengendap pada dasar. Pengendapan dapat diminimalkan dengan bantuan aerator yang berfungsi untuk membantu proses pengadukan dasar. Karena adanya persaingan antar sel untuk memperebutkan nitrogen dan ruang yang terbatas, sel mengalami kematian sedangkan jumlah sel yang tumbuh menjadi berkurang sehingga kepadatan sel menjadi turun (Ramadhan, 2025).

1.6.12. Pupuk Walne

Media walne adalah media yang paling umum digunakan dalam proses kultur mikroalga. Walne adalah media yang terbaik terhadap kelimpahan sel pada puncak populasi dan nilai nutrisi alga, karena mengandung protein dan lemak yang lebih tinggi. Penggunaan pupuk sintesis seperti pupuk walne untuk kultur mikroalga juga dinilai lebih praktis karena kandungan nutriennya sudah lengkap dibandingkan dengan pupuk organik (Ela, 2024).

Pupuk walne merupakan pupuk yang biasa digunakan sebagai media kultur mikroalga hijau seperti *Spirulina sp.*, *Chorella sp.*, *Nannochloropsis sp.*, dan *T. chui*. Media walne dapat digunakan sebagai medium berbasis pupuk komersial untuk kultur yang mampu menghasilkan berat biomassa kering tertinggi yaitu sebesar 6,78 gram (Sarifah dkk., 2023). Menurut Wijoseno (2011) dalam (Sarifah dkk., 2023), dalam penelitiannya menyatakan bahwa mikroalga yang dikultivasi pada medium walne memiliki kadar lipid tertinggi sebesar 42.58%.

Penggunaan pupuk Walne pada kultur *Spirulina sp.* memberikan pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan. Kandungan nitrogen yang tinggi dari NaNO_3 dalam media Walne diduga menjadi faktor utama yang mendukung pembelahan dan metabolisme sel secara optimal hingga mencapai fase eksponensial. Nitrogen sangat penting dalam sintesis asam amino, yang merupakan penyusun protein utama pada sel *Spirulina sp.* Selain itu, media Walne menghasilkan kandungan protein dan lemak tertinggi, masing-masing sebesar 67,58% dan 11,61%. Hal ini mencerminkan kemampuan media ini untuk mendukung produksi nutrisi seluler yang lebih baik dibandingkan media lainnya. Konsentrasi nutrisi yang tepat pada media Walne memberikan lingkungan yang ideal bagi metabolisme dan pertumbuhan sel *Spirulina* yang menjadikannya media kultur terbaik untuk meningkatkan produksi biomassa dan kandungan nutrisi (Wibowo dkk., 2024).

1.6.13. Intensitas Cahaya

Mikroalga melakukan proses fotosintesis dengan bantuan energi cahaya untuk pertumbuhan. Cahaya merupakan sumber energi pada proses fotosintesis, tetapi energi yang diberikan oleh cahaya bergantung pada kualitas cahaya, intensitas cahaya dan fotoperiod. Intensitas cahaya merupakan faktor utama dan sekaligus faktor pembatas bagi proses fotosintesis mikroalga. Pada saat intensitas cahaya meningkat, maka mikroalga akan merespon dengan proses reproduksi dan pembelahan sel yang cepat. Pada kondisi yang demikian intensitas cahaya menjadi faktor utama bagi proses reproduksi sel mikroalga (Facta, 2006; Sinaga et al., 2020). Cahaya dapat meningkatkan ATP yang dihasilkan pada proses fotosintesis, naiknya ATP akan memicu pertumbuhan sel alga (Prasetyo dkk., 2022).

Penelitian yang dilaporkan oleh Padang et al. (2013), bahwa perlakuan intensitas cahaya 15.000 lux memberikan puncak kepadatan sel tertinggi pada kultivasi *Navicula sp.* dibandingkan perlakuan intensitas cahaya 10.000 lux dan 5000 lux. Sinaga et al. (2020), melaporkan intensitas cahaya yang semakin tinggi akan menghasilkan laju pertumbuhan *Nannochloropsis sp.* yang semakin rendah. Menurut Peri et al. (2009), intensitas cahaya yang terlalu tinggi (11.700 lux) akan menurunkan kepadatan sel dibandingkan dengan intensitas cahaya 7.400 lux dan 3.400 lux, hal ini dikarenakan intensitas cahaya yang terlalu tinggi akan berpengaruh dengan meningkatnya suhu dan salinitas sehingga fitoplankton memiliki kendala dalam pertumbuhan yang berakibat pada rendahnya kepadatan populasi sel. Pada prinsipnya semua perlakuan intensitas cahaya dapat ditolerir oleh mikroalga untuk dapat tumbuh, namun respon fisiologis dan biokimia berbeda-beda (kepadatan metabolitnya) (Prasetyo dkk., 2022).

1.6.14. Manfaat Mikroalga *Spirulina Plantesis*

Spirulina sp. merupakan mikroalga biru-kehijauan yang mempunyai banyak manfaat. Baik masyarakat Indonesia maupun masyarakat luar negeri banyak menggunakan alga ini diantaranya sebagai anti oksidan, anti aging pada produk kosmetik maupun dikonsumsi sebagai suplemen makanan karena mengandung kadar protein yang tinggi. Banyak penelitian tentang *Spirulina* sp. baik mengenai kandungan kimia yang terkandung dalam *Spirulina* sp. maupun mengenai bioaktivitasnya karena terdapat korelasi antara kandungan senyawa yang terkandung dalam spirulina terhadap aktivitas farmakologi spirulina (Kamaludin & Holik, 2022).

Pada umumnya, produk spirulina yang telah beredar di pasaran bergerak di bidang suplementasi makanan dan kosmetik. Hal itu dimungkinkan karena spirulina mengandung protein yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan daging, ikan, kedelai, susu, telur dan bahan pangan lainnya. Akan tetapi, manfaat dari produk spirulina tidak hanya terbatas pada dua bidang tersebut. Sebagai contoh, spirulina juga dapat digunakan sebagai pakan ternak, agen pengolahan limbah, bahkan biofuel (Suwandono dkk., 2021).

Mikroalga juga telah digunakan dalam proses pengolahan air limbah, fiksasi CO₂, dan pengurangan emisi gas rumah kaca. Selain itu teknologi mikroalga ini terbukti dapat menjadi sumber energi yang bersih dan terbarukan karena hasil yang diperoleh tinggi dan persyaratan spasial yang rendah, jika dibandingkan dengan tanaman yang hidup didarat. Selain itu, mikroalga juga dapat dimanfaatkan menjadi suatu bentuk produk usaha baru yang dapat menghasilkan pendapatan dan meningkatkan kesejahteraan perekonomian dikemudian hari yang dimana produk yang dihasilkan dapat dijual sebagai pakan ternak, obat-obatan, serta kosmetik (Kusuma & Tatang Sopandi, 2020).

1.6.15. Fotobioreaktor

Fotobioreaktor adalah wadah untuk proses kultivasi mikroalga yang berisi air dan nutrisi terlarut yang berperan untuk dapat hidup dan berkembang dengan baik. Fotobioreaktor adalah *reactor* buatan memanfaatkan sumber cahaya (matahari, lampu halogen, LED) sebagai sumber fotosintesis untuk pertumbuhan mikroalga. Teknologi ini berperan dalam meningkatkan produktivitas mikroalga 2 hingga 5 kali lebih tinggi dari kondisi normalnya (Ramadhan, 2025).

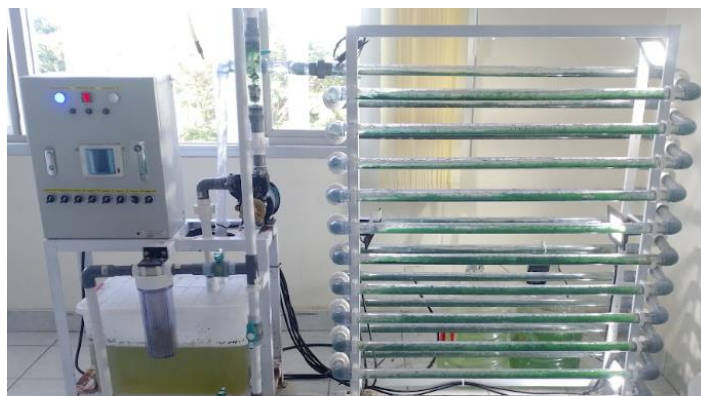
Pemeliharaan mikroalga dapat dilakukan pada 2 sistem yaitu terbuka (*open pond*) dan tertutup (*closed pond*). *Open pond* dapat dikategorikan ke dalam kolam yang menggunakan air alam seperti danau, tambak atau kolam. Kelemahan dari pond ini diantaranya (Ramadhan, 2025):

- 1) Volume kultur yang besar mengakibatkan sinar matahari tidak sepenuhnya diserap oleh mikroalga di dasar kolam,
- 2) Tingginya proses kehilangan CO₂ ke atmosfer dan air
- 3) Pengontrolan temperatur sulit,
- 4) Sedimentasi sel akan semakin tinggi jika dioperasikan pada turbulensi yang rendah, sehingga dimungkinkan masuknya kontaminan,
- 5) Kontaminasi tinggi,
- 6) Konsentrasi biomassa rendah (0.1-0,2 g/L).



Gambar 9 Sistem *Open Pond*
Sumber: (Ramadhan, 2025)

Sistem *closed pond* umumnya lebih mudah disesuaikan desainnya dengan lokasi pemasangan, dapat mencegah penguapan air dan CO₂, mencegah kontaminasi atau meminimalkan mikroorganisme invasif dan mendapatkan konsentrasi biomassa tinggi (2-8 g/L). Kelemahan dari sistem ini adalah biaya yang tinggi apabila diterapkan dalam skala komersial, dan kesukaran dalam proses *scale up*. Beberapa faktor yang diduga mempengaruhi laju pertumbuhan spesifik diantaranya adalah perbedaan strain, nutrisi, laju alir gas CO₂, konsentrasi CO₂ yang diinjeksikan serta faktor-faktor lingkungan lainnya (Ramadhan, 2025).



Gambar 10 Sistem *Closed Pond*
Sumber: Penelitian, 2025

1.6.16. Penelitian Terdahulu

Tabel 2. Penelitian Terdahulu

No.	Nama Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1.	(Kartikasari dkk., 2019)	Efektifitas Pengolahan Mikroalga dengan Penambahan CO ₂ pada Limbah Domestik	Penurunan parameter amonia, BOD, dan COD pada reaktor alga yang terbaik adalah dengan penambahan CO ₂ sebesar 0.2 L/menit efisien menurunkan parameter Amonia, BOD, dan COD sebesar 74%, 37,50%, 7,02.

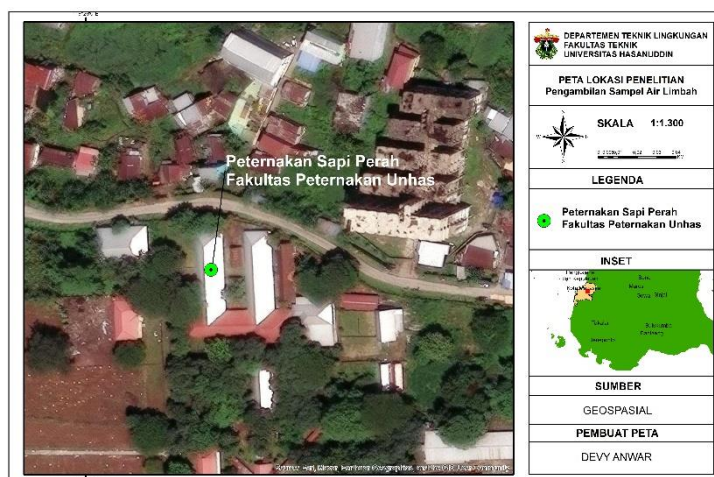
No.	Nama Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
			Klorofil-a merupakan faktor penentu pertumbuhan mikroalga. Hasil menunjukkan korelasi yang tinggi antara klorofil-a dan amonia dalam menurunkan limbah, sementara itu reaktor alga tanpa CO ₂ tidak berkorelasi dengan amonia. Variabel kualitas air seperti DO, pH, temperatur, intensitas cahaya mempunyai efek dalam penurunan parameter amonia, BOD, dan COD.
2.	(Mutia dkk., 2021)	Effect of Nitrate And Phospate Concentration On <i>Spirulina platensis</i> With Indoor Scale	Penambahan konsentrasi nitrat dan fosfat yang berbeda berpengaruh terhadap biomassa <i>S. platensis</i> . Semakin besar konsentrasi nitrat dan fosfat yang ditambahkan maka semakin besar jumlah biomassa yang dihasilkan, namun konsentrasi nitrat dan fosfat yang terlalu tinggi dapat menghambat pertumbuhan serta peningkatan biomasannya.
3	(Wibowo dkk., 2024)	Perbandingan Efektivitas Pupuk Walne dan NPK dalam kultur <i>Spirulina sp.</i> Untuk Peningkatan Biomassa pada Skala Laboratorium	Pupuk walne terbukti lebih efektif dibandingkan pupuk NPK dalam mendukung pertumbuhan optimal <i>Spirulina sp.</i> Di skala laboratorium. Hal ini disebabkan oleh kandungan nutrisi makro dan mikro yang seimbang dalam pupuk Walne, yang menciptakan kondisi kultur ideal, menghasilkan kepadatan sel lebih tinggi, biomassa berkualitas lebih baik, serta warna pigmen lebih pekat. Nilai pH pada kedua perlakuan berada dalam kisaran optimal (7–9), namun kombinasi pH yang sesuai dan komposisi nutrisi pada pupuk Walne menjadikan lingkungan kultur lebih kondusif.
4	(Diniariwisan & Muahiddah, 2024)	Pertumbuhan <i>Spirulina</i> pada Berbagai Perlakuan Media Kultivasi	Berbagai perlakuan dalam kultivasi <i>Spirulina sp.</i> , seperti pengaturan pH, salinitas, serta penambahan pupuk organik dan anorganik, menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap pertumbuhan. Kombinasi pupuk anorganik 100 g per 100 liter pada skala semi-masal menghasilkan laju produksi biomassa yang cepat dan tinggi. Namun, pupuk organik memiliki potensi besar sebagai alternatif sumber nutrisi karena kandungan unsur hara makro dan mikronya yang lebih ramah lingkungan, sehingga

No.	Nama Penulis	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
5	(Abdelfattah dkk., 2023)	Microalgae-based wastewater treatment: Mechanisems, challenges, recent advances, and future prospects	layak dipertimbangkan untuk mendukung pertumbuhan <i>Spirulina sp.</i> secara berkelanjutan.
6.	(Muchammad dkk., 2013)	Pengaruh Intesitas Cahaya Terhadap Penyerapan Gas Karbondioksida Oleh Mikroalga	Cahaya yang dibutuhkan oleh mikroalga di dalam proses fotosintesis memiliki batas atau kisaran tertentu, pada umumnya intensitas cahaya yang lebih besar lebih efektif bagi proses fotosintesis, namun pada tingkat cahaya yang sangat tinggi dapat mengurangi laju proses tersebut, dan enzim-enzim yang dibutuhkan dalam proses fotosintesis tidak dapat memainkan peranannya. Intensitas cahaya untuk pertumbuhan mikroalga berkisar antara 1000-10000 lux (setara dengan 14-140 μ mol foton/m ² /detik), sedangkan intensitas cahaya untuk pertumbuhan mikroalga yang optimal berkisar 2500-5000 lux (setara dengan 35-70 μ mol foton/m ² /detik).

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Pelaksanaan penelitian dengan judul “Pengolahan Air Limbah Peternakan Menggunakan Mikroalga” berlangsung pada bulan Mei hingga bulan Juli 2025. Tahapan penelitian ini meliputi identifikasi lokasi untuk pengambilan sampel, perakitan sistem fotobioreaktor, pengujian awal karakteristik air limbah, proses adaptasi mikroalga, budidaya/kultur mikroalga pada media air limbah, hingga analisis terhadap kualitas air hasil pengolahan menggunakan mikroalga. Seluruh rangkaian pengolahan dan uji laboratorium dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Adapun sampel air limbah diperoleh dari instalasi digester milik Fakultas Peternakan Universitas Hasanuddin yang mengelola limbah peternakan sapi perah khususnya limbah cair sebagaimana ditampilkan pada gambar 11.



Gambar 11 Lokasi Pengambilan Air Limbah
 Sumber: Penelitian, 2025

2.2 Rancangan Penelitian

Penelitian secara umum terdiri dari 2 mazhab besar dikenal dengan penelitian kuantitatif dan penelitian kualitatif. Pada penelitian ini, digunakan penelitian kuantitatif yang datanya berbentuk angka-angka dengan metode eksperimen. Menurut Sugiono (2013) dalam (Syahrizal & Jailani, 2023) metode penelitian eksperimen termasuk kedalam penelitian kuantitatif yang dimana digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel tertentu terhadap variabel yang lain dalam kondisi terkontrol secara ketat. Metode ini digunakan untuk menilai sejauh mana mikroalga *Spirulina sp.* mereduksi pencemar atau keefektifan dalam mengolah air limbah peternakan. Selama 8 hari, penelitian ini dijalankan menggunakan alat fotobioreaktor berukuran 50 liter. Pada bak/kontainer alat ini, diisi dengan campuran air limbah peternakan dengan kultur *Spirulina sp.* dengan perbandingan yang sama, yakni 1:1. Penelitian ini juga mengkaji pengaruh perbedaan intensitas pencahayaan, yaitu 3000 Lux, 4000 Lux, dan 5000 Lux terhadap efektivitas proses pengolahan.

Menurut (Akbar dkk., 2023) penelitian eksperimen adalah salah satu penelitian kuantitatif dimana peneliti memanipulasi satu atau lebih variabel bebas (*independent variable*), mengontrol variabel lain yang relevan, dan mengamati efek dari manipulasi pada variasi terikat (*dependent variable*). Persyaratan penting untuk penelitian eksperimen adalah pengamatan yang cermat dan pengukuran. Metode penelitian ini memberikan bukti dari efek *independent variable* mempengaruhi. Dalam eksperimen ada dua variabel yang utama, yaitu variabel bebas dan terikat. Variabel bebas sengaja dimanipulasi oleh peneliti, sedangkan variabel yang diamati sebagai akibat dari manipulasi variabel bebas adalah variabel terikat. Menurut Sinambela (2021) dalam (Akbar dkk., 2023) dalam konsep penelitian, hubungan antar satu variabel dengan variabel yang lain dapat dibedakan menjadi:

a. *Variable Independent*

Variable independent (variabel bebas) adalah variabel yang menjadi sebab perubahannya atau timbulnya *variabel dependent* (terikat)

b. *Variable Dependent*

Variable dependent merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat, karena adanya variabel bebas.

c. *Variabel Control*

Variable control adalah variabel yang dikendalikan, dibuat konstan sehingga peneliti dapat melakukan penelitian yang bersifat membandingkan.

Adapun variabel - variabel pada penelitian ini berupa:

- a. Intesitas cahaya yang berbeda berupa penggunaan 3000 Lux, 4000 Lux dan 5000 Lux sebagai variabel bebas yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh penyisihan/pengolahan air limbah peternakan terhadap tingkat pertumbuhan mikroalga *Spirulina* sp.
- b. Efisiensi dalam mengurangi kadar polutan berupa kadar amonia serta fosfat menjadi variabel terikat dalam penelitian ini. Variabel ini dipantau untuk melihat bagaimana respon terhadap perlakuan berupa variasi intensitas cahaya. Variabel ini menunjukkan hasil atau dampak pengaruh variasi bebas dan menjadi tolak ukur utama dalam menilai keberhasilan proses pengolahan mikroalga air limbah peternakan menggunakan mikroalga *Spirulina* sp.
- c. Faktor faktor yang dijaga dalam penelitian termasuk ke dalam variabel kontrol yang dimana berupa media yang digunakan disusun dengan perbandingan yang tetap, yakni 50% mikroalga serta 50% air limbah, jangka waktu 8 hari untuk mengamati penelitian yang berlangsung serta volume media sebanyak 50 liter berupa 35 liter pada bak/kontainer serta 15 liter pada tubular.

2.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut:

Tabel 3. Alat dan Bahan Penelitian

No.	Alat/Bahan	Fungsi
1.	Fotobioreaktor	Alat pengolahan air limbah peternakan menggunakan mikroalga.
2.	Galon 15 liter	Sebagai media perbanyakan kultur mikroalga.

No.	Alat/Bahan	Fungsi
3.	Pipet tetes	Untuk menambahkan nutrisi ke dalam perbanyakkan kultur mikroalga dan pada sampel kultivasi.
4.	Aerator	Menyediakan oksigen pada mikroalga dan mencegah pembentukan biofilm.
5.	<i>Aluminium foil</i>	Sebagai penutup bagian terbuka pada media perbanyakkan kultur untuk mencegah kontaminan masuk ke dalam media
6.	Spektrofotometer UV-VIS 2000	Untuk mengukur intensitas cahaya yang diserap atau dipancarkan oleh sampel pada panjang gelombang tertentu
7.	Gelas ukur	Untuk mengukur volume cairan yang dimasukkan ke dalam media pengolahan
8.	Kertas saring	Untuk memisahkan partikel padat yang terdapat dalam air limbah
9.	Termometer	Untuk mengukur suhu sampel
10.	pH meter	Untuk mengukur pH sampel
11.	Lux meter	Untuk mengukur intensitas cahaya pada fotobioreaktor selama proses pengolahan
12.	Air sampel	Bahan perlakuan
13.	<i>Spirulina Plantesis</i>	Bahan perlakuan
14.	Pupuk walne	Nutrisi tambahan untuk mendukung pertumbuhan <i>Spirulina Plantesis</i>
15.	Aquades	Untuk sterilisasi alat dan media perbanyakkan kultur
16.	H ₂ SO ₄	Untuk sterilisasi fotobioreaktor
17.	NaOH	Meningkatkan pH air untuk membantu menjaga stabilitas pertumbuhan mikroalga

Sumber: Penelitian, 2025

2.4 Populasi dan Sampel

Air limbah peternakan sapi perah yang digunakan sebagai sampel merupakan populasi dalam penelitian ini yang dimana kegiatan peternakan tidak lepas dari aktivitas pemberian pakan kepada ternak, pencucian kandang, pencucian alat kegiatan beternak, serta limbah cair yang dihasilkan oleh sapi yang berasal dari pembersihan sapi itu sendiri serta urin yang dihasilkannya. Adapun sampel air limbah diperoleh dari instalasi digester milik Fakultas Peternakan Universitas Hasanuddin yang mengelola limbah peternakan sapi perah khususnya limbah cair. Mikroalga *Spirulina sp.* Yang dimanfaatkan untuk pengolahan air limbah tersebut dipilih dikarenakan air limbah tersebut memiliki kandungan nitrogen dan fosfor yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber nutrisi.

Pengambilan sampel dilakukan dengan pusposif yang dimana sampel diambil tidak secara acak, melainkan dipilih karena dianggap mewakili karakteristik yang dibutuhkan untuk penelitian, dengan syarat memiliki kandungan kadar nitrogen dan fosfor yang cukup untuk mendukung aktivitas pertumbuhan mikroalga *Spirulina sp.* sebelum air limbah digunakan, dilakukan terlebih dahulu *pre-treatment* berupa penyaringan untuk menghilangkan material kasar serta endapan yang berpotensi menghambat budidaya mikroalga. Jumlah sampel air limbah yang digunakan untuk setiap variasi ialah 50 liter berupa 35 liter pada bak/ kontainer serta 15 liter pada tubular,

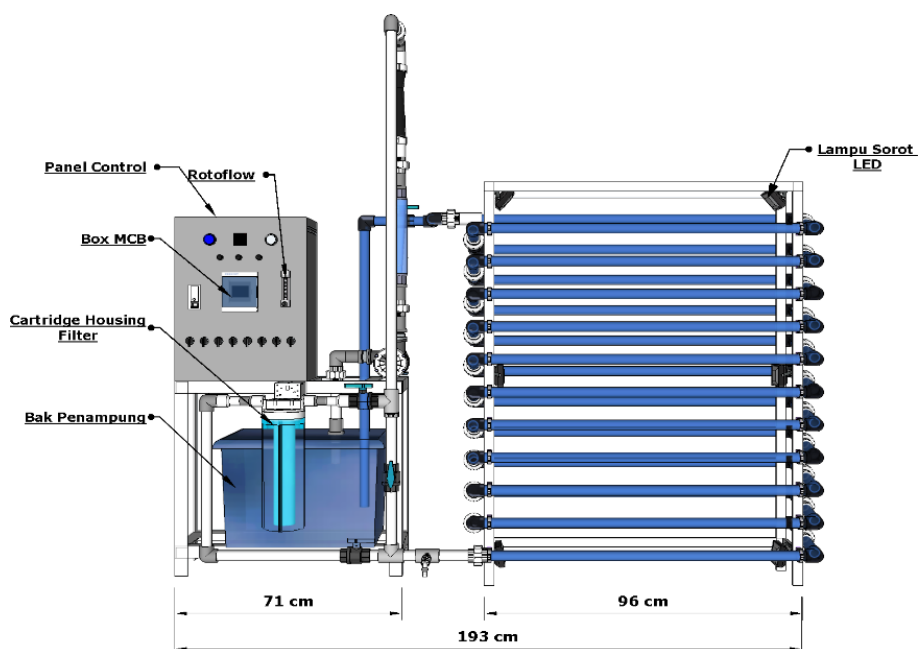
yang kemudian dicampur dengan kultur mikroalga *Spirulina platensis* dalam rasio 1:1 (50% air limbah dan 50% mikroalga).

Mikroalga *Spirulina platensis* yang digunakan sebagai sampel telah melalui proses aklimatisasi dengan air limbah peternakan selama 7 hari sebelumnya. Aklimatisasi ini bertujuan untuk memastikan mikroalga mampu beradaptasi dengan lingkungan limbah dan memaksimalkan kemampuannya dalam menyerap nutrisi. Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan dapat menggambarkan efektivitas mikroalga dalam kondisi yang mendekati kondisi aktual.

2.5 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

2.5.1 Pembuatan Fotobioreaktor

Bahan yang digunakan pada fotobioreaktor terbuat dari bahan Polikarbonat Transparan (*Acrylic*) yang sifatnya sangat mudah ditembus oleh cahaya yang dibutuhkan oleh mikroalga untuk berfotosintesis. Bahan ini sangat kuat, ringan dan tidak mudah pecah, sehingga sangat baik untuk digunakan sebagai material bioreaktor. Dengan sistem tubular, bioreaktor yang dikembangkan mudah untuk dipindahkan dan dapat disesuaikan dengan ukuran atau luas lahan yang tersedia. Hal ini menjadi salah satu kelebihan tambahan jika dibandingkan dengan bioreaktor konvensional dengan sistem tabung kaca berukuran besar.



Gambar 12 Fotobioreaktor

Sumber: Penelitian, 2025

Fotobioreaktor dilengkapi dengan panel kontrol untuk mengontrol operasional reaktor seperti pompa, aliran udara, dan pencahayaan. Di bawah panel kontrol terdapat bak sebagai media penampungan air limbah domestik dan mikroalga yang diolah dengan volume bak 50 liter. Pompa yang terhubung dari bak penampungan untuk memastikan

sirkulasi media dalam pipa dimana sirkulasi membantu dalam distribusi nutrisi dan cahaya secara merata. Pipa digunakan untuk mengatur aliran media dari bak penampung, dan katup yang berfungsi untuk pengosongan sistem pada proses sterilisasi fotobioreaktor. Serta lampu LED yang menjadi variasi pada penelitian dipasang untuk mendukung intensitas cahaya tertentu yang diperlukan.

Tabel 4. Spesifikasi Fotobioreaktor

SPESIFIKASI SISTEM	
Tipe	<i>Tubular Circulation System</i>
Kapasitas	Total: 50 Liter, Tubular: 15 Liter, Tank: 35 Liter
Daya	457 Watt
Voltase	1 Phase, 220 V AC, 50 Hz
Kecepatan Sirkulasi	30 liter/menit
Suhu kerja	20 – 35 °C
Dimensi	L. 165 cm, W. 75 cm, H. 220 cm
Berat	87 kg
Sistem Pencahayaan	LED Spectrum 3000, 4000, dan 5000 lux
Material	Tubular: <i>Acrylic Tube @ 1 inchi, T. 0,75 mm, Frame: Mild Steel 1mm.</i>

Sumber: Penelitian, 2025

2.5.2 Pengambilan Sampel

Teknik *grab sampling* juga dapat dilakukan apabila air limbah sudah homogen/terdapat bak ekualisasi (Susanti dkk., 2020). Cara pengambilan sampel dalam penelitian ini adalah *grab sampling*, yaitu air limbah yang diambil sesaat pada lokasi tertentu. Selain karena efisien, teknik *grab sampling* ini dianggap dapat mewakili data kualitas air limbah dalam rentang waktu fluktuasi tertentu. Disamping itu, pada peternakan sapi perah yang berlokasi di Fakultas Peternakan, Universitas Hasanuddin memiliki instalasi digester/bak ekualisasi yang dimana mendukung untuk melakukan pengambilan sampel secara *grab sampling*.



Gambar 13 Pengambilan Sampel

Sumber: Penelitian, 2025

Proses aklimatisasi dilakukan dengan tujuan memberikan ruang bagi mikroalga untuk beradaptasi dengan air limbah. Sebagaimana pada penelitian Ramadanti et al., (2021), proses aklimatisasi mikroalga dilakukan selama 7 hari dengan penambahan air limbah secara bertahap. Pada hari pertama dilakukan dengan penambahan 50% air limbah dan 50% mikroalga dalam media 50 liter, dan dilakukan pengamatan serta kontrol suhu dan pH agar tetap berada dalam rentang yang optimal bagi pertumbuhan mikroalga. Kemudian pada hari keempat dilanjutkan dengan 75% air limbah dan 25% mikroalga dalam media 50 liter, dilakukan pengamatan dan hasilnya menunjukkan warna hijau pekat menandakan keberhasilan tahap aklimatisasi dan menghindari fase kematian mikroalga.

2.5.3 Perbanyak Kultur Mikroalga

Spirulina sp. merupakan mikroalga yang digunakan pada penelitian ini yang dimana diperoleh dari Balai Perikanan Budidaya Air Payau (BPBAP) Takalar sebanyak 10 liter. Mikroalga ini mempunyai kemampuan yang menjanjikan dalam menangani limbah cair serta dapat tumbuh di berbagai jenis media. Untuk mendukung kebutuhan kultur dalam skala laboratorium, langkah awal penelitian dimulai dengan proses perbanyak mikroalga. Sebelum memasuki tahapan adaptasi, mikroalga dikultur dalam 2 wadah berupa galon dengan masing masing volume 15 liter. Bahan yang digunakan berupa air suling (aquadess), air laut serta penambahan pupuk walne yang telah diperkaya dengan sumber nutrisi yang lengkap. Pemberian pupuk walne sesuai dengan perbandingan yakni 1:1000 terhadap pupuk dan media kultur.



Gambar 14 Kultivasi Mikroalga
Sumber: Penelitian, 2025

Selama proses perbanyak, aerasi diberikan secara terus-menerus untuk memastikan distribusi oksigen dan karbondioksida di dalam media kultur hingga kultur mencapai kondisi optimal untuk proses kultivasi selanjutnya. Selain itu, penyinaran dengan intensitas cahaya 5000 lux diterapkan untuk memaksimalkan proses fotosintesis dengan menggunakan lampu LED yang ada pada fotobioreaktor. Dengan kombinasi

aerasi dan pencahayaan yang stabil, mikroalga dapat tumbuh secara eksponensial dalam waktu singkat.

2.5.4 Sterilisasi Fotobioreaktor

Langkah pertama yang harus dilakukan sebelum melakukan kultur mikroalga adalah mempersiapkan alat dan bahan, kemudian melakukan sterilisasi alat. Sterilisasi merupakan suatu proses pemusnahan semua bentuk mikroorganisme hidup termasuk spora pada alat dan bahan yang akan disterilkan (Paulina, 2019). Sterilisasi adalah kegiatan pembersihan atau pemusnahan organisme atau biota yang tidak dikehendaki dari suatu kegiatan budidaya. Sterilisasi dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu secara fisik misalnya dengan pemanasan, dan secara kimiawi dengan penambahan bahan kimia seperti larutan asam kuat atau basa kuat. Fotobioreaktor pada penelitian ini disterilasi secara kimiawi.

Menurut (Andriani, 2021) fotobioreaktor perlu disterilasi dahulu sebelum dipergunakan. Tujuannya untuk menghilangkan mikroorganisme yang tidak digarapkan sehingga memperkecil kemungkinan terjadinya kontaminasi. Sterilisasi dilakukan dengan mengisikan larutan hipoklorit komersial sebanyak 250 ml ke dalam reaktor hingga penuh selama 24 jam dan dibilas dengan air untuk menghilangkan sisa larutan hipoklorit yang masih tertinggal di dalam reaktor. Larutan hipoklorit digunakan untuk sterilisasi karena cukup efektif dalam menghilangkan organisme kontaminan di dalam reaktor, resiko kerusakan fotobioreaktor lebih rendah dibandingkan dengan sterilisasi menggunakan larutan asam.

2.5.5 Aklimatisasi

Aklimatisasi dilakukan dengan cara mencampurkan mikroalga hasil kultivasi dengan air limbah secara bertahap yang bertujuan untuk apakah kondisi pada media tumbuh mikroalga sudah mendukung pertumbuhannya (Ramadanti dkk., 2021). Aklimatisasi ini penting untuk memastikan mikroalga mampu bertahan hidup dan tetap aktif dalam melakukan proses fotosintesis dan pengolahan limbah.

Pada hari pertama aklimatisasi, campuran media yang digunakan terdiri dari 50% air limbah dan 50% mikroalga dalam volume total 50 liter. Campuran ini dirancang untuk meminimalkan paparan awal mikroalga terhadap limbah dalam konsentrasi tinggi, yang dapat mengandung senyawa toksik. Selama periode ini, suhu dan pH diamati dan dikontrol agar tetap berada dalam rentang optimal untuk pertumbuhan mikroalga, yaitu pH 8.5-11 dan suhu sekitar 25-35°C. Pemantauan berkala dilakukan untuk memastikan bahwa kondisi lingkungan mendukung aktivitas metabolisme mikroalga.



Gambar 15 Aklimatisasi Hari Ke- 1
Sumber: Penelitian, 2025

Pada hari keempat, proporsi air limbah dalam media ditingkatkan menjadi 75%, sementara komposisi mikroalga dikurangi menjadi 25%. Peningkatan secara bertahap ini memberikan kesempatan mikroalga untuk menyesuaikan diri dengan konsentrasi limbah yang lebih tinggi tanpa mengalami fase kematian atau penurunan aktivitas. Pada tahap ini, hasil pengamatan menunjukkan perubahan warna media menjadi hijau pekat, yang merupakan indikasi keberhasilan aklimatisasi. Warna hijau pekat mencerminkan tingginya densitas biomassa mikroalga, menunjukkan bahwa mikroalga telah berhasil beradaptasi dengan kondisi limbah dan siap untuk digunakan dalam proses pengolahan limbah utama.



Gambar 16 Aklimatisasi Hari Ke- 4
Sumber: Penelitian, 2025

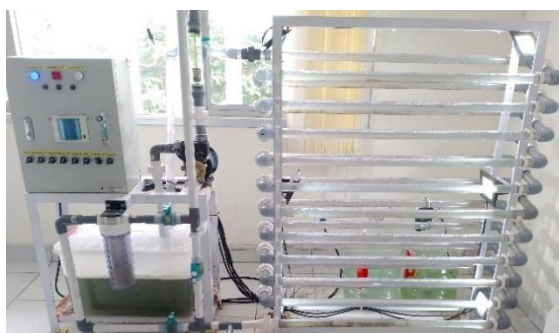
Keberhasilan tahap aklimatisasi ini menandai pentingnya pendekatan bertahap dalam integrasi mikroalga dengan air limbah. Penyesuaian lingkungan melalui metode aklimatisasi tidak hanya mengurangi risiko kegagalan mikroalga, tetapi juga memberikan data awal tentang tingkat toleransi mikroalga terhadap polutan tertentu. Hal ini sejalan dengan penelitian lain, seperti yang dilakukan oleh (Zevhiana & Rachmanto, 2024) yang menemukan bahwa metode aklimatisasi yang dilakukan selama 7 hari menunjukkan

perubahan signifikan seperti warna mikroalga tetap hijau pekat, kerapatan sel mikroalga meningkat serta mikroalga mampu beradaptasi dengan air limbah.

2.5.6 Pengolahan Air Limbah

Kultivasi mikroalga *Spirulina platensis* dalam sistem fotobioreaktor merupakan salah satu metode yang efektif dalam pengolahan air limbah domestik. Proses kultivasi dilakukan secara batch dalam fotobioreaktor dengan volume sebesar 50 liter dengan mempertimbangkan berbagai parameter operasional seperti intensitas cahaya, aerasi, dan pemberian nutrisi.

Penelitian ini berfokus pada pengaruh variasi intensitas cahaya (3000 lux, 4000 lux, dan 5000 lux) terhadap pertumbuhan mikroalga dan efisiensi pengolahan limbah. Intensitas cahaya menjadi salah satu faktor kunci karena berkaitan langsung dengan proses fotosintesis mikroalga, yang memengaruhi produktivitas biomassa serta kemampuan mikroalga dalam mengurangi kandungan amonia dan fosfat di dalam air limbah.



Gambar 17 Pengolahan Air Limbah
Sumber: Penelitian 2025

Air limbah yang digunakan telah di encerkan dengan 50% air bersih kemudian di tambahkan kaporit dan natrium tiosulfat fungsi kaporit untuk membunuh mikroorganisme dalam air limbah yang dapat menghambat pertumbuhan mikroalga. Kaporit yang ditambahkan kedalam air limbah sebanyak 1,5 gram didiamkan selama 1 jam. Kemudian ditambahkan 3 gram natrium tiosulfat yang berfungsi untuk menghilangkan kandungan kaporit dalam air limbah.

Aerasi dan pencahayaan dilakukan secara kontinu selama 24 jam untuk memastikan kondisi lingkungan yang optimal bagi pertumbuhan *Spirulina platensis*. Rasio campuran air limbah domestik dan inokulum mikroalga sebesar 50:50 digunakan sebagai media kultivasi, dengan tambahan pupuk Walne pada hari kultivasi dilakukan secara bertahap pada setiap variasi dengan masing masing variasi intensitas cahaya dilakukan selama 7 hari. Variasi pertama dilakukan dengan kerapatan awal sel *Spirulina platensis* sebesar 20.000 sel/ml, variasi kedua dilakukan dengan kerapatan sel 16.000 sel/ml dan variasi ketiga dengan kerapatan sel 15.000 sel/ml. Kultivasi untuk variasi intensitas cahaya pertama dilakukan bersamaan dengan tahap aklimatisasi untuk stok mikroalga pada tahap kedua begitupun dengan kultivasi variasi kedua yang dilakukan bersamaan dengan proses aklimatisasi untuk stok mikroalga kultivasi intensitas cahaya variasi ketiga.

No	Nilai Persentase Efisiensi	Keterangan
5	$X \leq 20\%$	Tidak Efektif (TE)

Sumber: (Zidan & Kokoh, 2023)

Data yang diperoleh dari hasil pengujian akan dianalisis menggunakan IBM SPSS untuk mengetahui pengaruh intensitas cahaya terhadap penyisihan kadar amonia dan fosfat. Sebelum melakukan uji statistik, dilakukan terlebih dahulu uji normalitas untuk melihat apakah data hasil penelitian terdistribusi normal atau tidak. Pemilihan jenis uji normalitas yang digunakan dapat dilihat dari jumlah sampel yang ada. Untuk jumlah sampel > 50 dapat menggunakan uji normalitas *Kolmogorov Smirnov*. Adapun untuk jumlah sampel < 50 dapat menggunakan uji normalitas *Shapiro-Wilk*. Uji normalitas *Shapiro-Wilk* adalah metode yang efektif untuk menilai normalitas data pada ukuran sampel antara 3 – 50. Statistik *Shapiro-Wilk* menghasilkan nilai W , dimana nilai p -value terkait digunakan untuk menilai normalitas. Jika p -value $< 0,05$, maka data dianggap tidak berdistribusi normal.

Menurut (Rinaldi & Nanang Prayudyanto, 2021), analisis regresi berganda adalah analisis yang digunakan untuk menguji pengaruh dua atau lebih variabel *independent* terhadap variabel *dependent*. Adapun variabel dependen dalam penelitian ini adalah “Intensitas Cahaya” sedangkan variabel independennya adalah “Penyisihan Polutan”.

Diagram Alir Penelitian

