

Pemanfaatan *Sludge* IPAL Industri Susu Sebagai Media Pembibitan Tanaman Bayam, Kangkung, dan Sawi Hijau

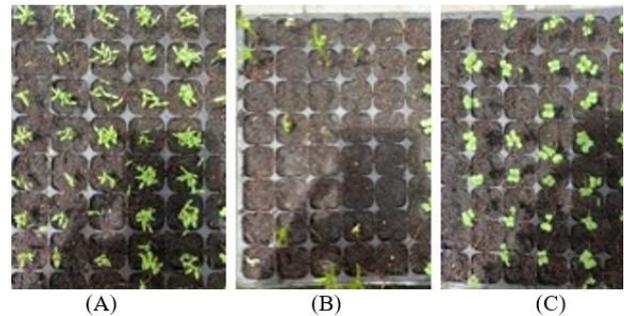
Jacinda Wafiq Gildayaqutah dan Eddy Setiadi Soedjono
Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: eddysoedjono@gmail.com

Abstrak—PT.XYZ merupakan salah satu perusahaan di bidang produksi susu dengan bermula dari GKSI di Pandaan. Industri susu PT.XYZ telah dilengkapi dengan fasilitas IPAL dengan pengolahan biologis. Namun, pengolahan tersebut memunculkan permasalahan baru yaitu timbulnya *sludge* karena adanya aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan polutan organik pada air limbah. Hingga saat ini, PT.XYZ telah memanfaatkan *sludge* sebagai media tanam, namun dengan dosis yang bebas dan tidak ditentukan. Padahal, *sludge* susu memiliki kandungan yang kaya nitrogen, fosfor, kalium, dan nutrisi lainnya sebagai soil additive apabila dosis yang diberikan tepat dan sesuai kebutuhan tanaman. Variabel pada penelitian adalah variasi rasio penambahan *sludge* yang didapatkan dari hasil RFT dengan persentase berat basah 0%; 20%; 40%; 60%; 80%; dan 100% *sludge* dan tanaman uji berupa tanaman bayam hijau, kangkung darat, dan sawi hijau. Penelitian pendahuluan dimulai dengan pembibitan tanaman uji selama 10 hari dan kegiatan RFT selama 14 hari serta pengujian karakteristik *sludge* menggunakan analisis ayakan dan kadar air untuk mengetahui tekstur media tanam. Sementara penelitian utama dilakukan dengan memindahkan tanaman ke reaktor dan mengamati pertumbuhannya selama 30 hari. Tanaman akan diukur tinggi, jumlah daun, dan pH setiap dua hari sekali. Berdasarkan penelitian didapatkan variasi rasio penambahan *sludge* yang paling berpengaruh terhadap tinggi dan jumlah daun tanaman bayam hijau, kangkung darat, dan sawi hijau berturut-turut *sludge* 60%; 100%; dan 80% dengan rata-rata pH antara 7,5 hingga 8,2. Pertumbuhan tersebut dipengaruhi karakteristik unsur hara makro berupa N, P, K, dan C-Organik pada *sludge* yang relatif tinggi yaitu berturut-turut 14,95 mg/L; 83,56 mg/L; 15,32 mg/L; dan 56,24% dengan kadar air sebesar 88% sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai media tanam. Hal tersebut ditunjang dengan sifat fisik *sludge* yaitu liat berdebu dengan terdiri atas 4,16% pasir; 43,08% debu; dan 42,26% lempung yang mana memiliki porositas rendah sehingga media tanam menyediakan unsur hara dalam jumlah melimpah untuk diserap oleh tanaman.

Kata Kunci—*Sludge* IPAL, Media Tanam, Industri Susu, Soil Additive, Unsur Hara

I. PENDAHULUAN

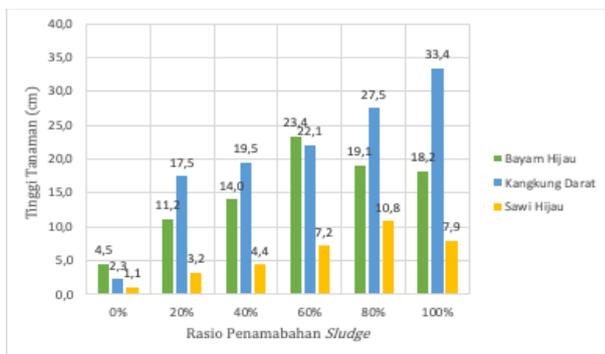
SEIRING dengan perkembangan zaman yang semakin modern, jumlah industri dibidang produksi makanan dan minuman di Indonesia juga semakin bertambah. Salah satu industri yang mengalami peningkatan tersebut adalah industri susu. Tercatat bahwa peningkatan produksi susu berjalan seiring dengan populasi konsumen yang diperkirakan meningkat setiap tahunnya sekitar 7% dari total populasi [1]. Peningkatan tersebut dibuktikan dengan munculnya produk susu yang baru ketika sedang mengunjungi toko,



Gambar 1. Pembibitan Tanaman Uji (A) Bayam Hijau (B) Kangkung Darat (C) Sawi Hijau.

supermarket, swalayan, atau sejenisnya. PT. Indolacto Factory Pandaan merupakan salah satu industri yang menghasilkan produk susu siap minum, dengan bermula dari Gabungan Koperasi Susu Indonesia (GKSI) di Pandaan yang telah berdiri semenjak tahun 1967. Industri ini memproduksi susu cair steril (SCI) melalui proses sterilisasi menggunakan metode pemanasan HTST (High Temperature Short Time), dengan empat varian rasa yaitu coklat, stroberi, melon, dan vanilla marie. Tidak dapat dipungkiri bahwa dalam kegiatan industri pada umumnya menghasilkan limbah, termasuk limbah yang dihasilkan PT. Indolacto Pandaan. Seiring dengan permintaan konsumen pasar yang meningkat, maka hal tersebut berdampak pula pada meningkatnya jumlah limbah yang diproduksi. Untuk mengelola air limbah yang dihasilkan, PT Indolacto Pandaan telah dilengkapi dengan fasilitas Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dengan sistem pengolahan biologis secara aerobik menggunakan bakteri fakultatif.

Namun, pengelolaan limbah tersebut memunculkan masalah baru yaitu timbulnya *sludge* karena adanya aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan polutan organik pada air limbah sebagai produk samping IPAL. *Sludge* IPAL yang tidak dikelola dengan baik dapat menimbulkan kontaminan yang berpotensi mencemari badan air karena tidak memenuhi baku mutu air. Karakteristik *sludge* dapat diamati melalui jumlah kandungan pencemar dari berbagai parameter. Semakin kecil nilai dari parameter dan konsentrasi limbah, maka semakin kecil peluang dalam menyebabkan polusi lingkungan [2]. Hingga saat ini, industri susu PT. XYZ telah memanfaatkan *sludge* IPAL untuk menyuburkan tanaman, namun dengan dosis yang bebas dan tidak ditentukan. Padahal *sludge* dari produksi susu memiliki kandungan nutrisi organik kaya akan nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K) dan nutrisi lainnya yang dapat dimanfaatkan menjadi soil additive apabila dosis yang diberikan tepat dan sesuai kebutuhan tanaman. Selain itu, *sludge* IPAL dikatakan tepat



Gambar 2. Diagram Batang Pertumbuhan Tinggi Ketiga Tanaman Uji.

untuk dijadikan sebagai media tanam karena memiliki bahan humus dan kandungan hara yang dapat membantu penyuburan tanah.

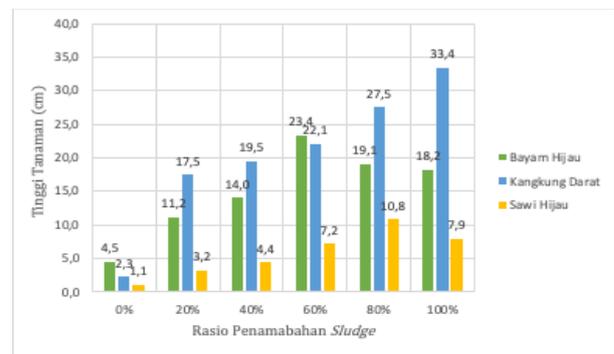
Berdasarkan penjelasan yang telah disampaikan, maka akan dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pemanfaatan *sludge* IPAL industri susu PT XYZ secara khusus. Pemanfaatan *sludge* difokuskan tanaman uji yaitu tanaman bayam, kangkung darat, dan sawi hijau. Tanaman bayam dipilih karena mudah dalam penanaman pada media tanam yang lembab dan bernilai ekonomis apabila dapat dibudidayakan dengan permintaan pasar konsumen yang tergolong tinggi [3]. Tanaman kangkung darat dipilih karena dapat tumbuh pada daerah yang tengah mengalami iklim panas maupun hujan dan lembab, namun dengan syarat media tanam yang digunakan kaya akan unsur hara dan bahan organik yang baik untuk pertumbuhan tanaman [4]. Tanaman sawi hijau dipilih karena penanaman sawi pada umumnya dapat tumbuh dan beradaptasi dengan baik pada iklim tropis maupun sub-tropis. Selain itu, tanaman sawi hijau juga dapat tumbuh secara optimal di dataran rendah karena tanaman tergolong memiliki toleransi terhadap suhu tinggi [5].

Parameter yang diukur pada penelitian ini adalah tinggi tanaman, jumlah daun, dan pH media tanam. Selain itu, juga dilakukan pengujian karakteristik *sludge* berupa parameter nitrogen, fosfor, kalium, dan c-organik pada uji pendahuluan. Adapun tujuan dari penelitian ini terdiri atas dua, yaitu untuk menganalisis karakteristik *sludge* yang dihasilkan dari proses pengolahan air limbah industri susu PT. XYZ terhadap potensinya untuk dijadikan sebagai media tanam dan menentukan rasio penambahan *sludge* IPAL yang optimal pada media tanam sehingga pengaruh terhadap pertumbuhan serta hasil perkembangan tanaman bayam (*Amaranthus viridis*), kangkung darat (*Ipomea reptans*), dan sawi hijau (*Brassica juncea*).

II. METODE PENELITIAN

A. Ide Penelitian

Ide penelitian didapatkan dari adanya gap atau kesenjangan antara kondisi realita dengan kondisi ideal yang seharusnya terjadi. Pengolahan air limbah secara biologis pada industri susu PT XYZ menghasilkan *sludge* yang dimanfaatkan untuk menyuburkan tanaman. Namun, penambahan *sludge* untuk media tanam dilakukan dengan rasio yang tidak ditentukan. Kondisi yang demikian memunculkan ide penulis untuk memanfaatkan *sludge* dengan rasio penambahan yang optimal untuk pertumbuhan tanaman. Referensi berasal dari jurnal nasional maupun internasional untuk penyelesaian penelitian.



Gambar 3. Diagram Batang Penambahan Jumlah Daun Ketiga Tanaman Uji.

B. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan bertujuan untuk mempersiapkan tanaman uji yang digunakan sebagai objek penelitian hingga kondisinya siap untuk dipindahkan ke reaktor berisi campuran *sludge* IPAL dan tanah PT. XYZ. Penelitian pendahuluan ini dimulai dari tahapan-tahapan berikut.

1) Pembibitan Tanaman Uji

Pembibitan tanaman uji dilakukan dengan tujuan untuk mempersiapkan bibit tanaman sebelum dipindahkan dan ditanam langsung di reaktor ataupun lapangan. Pembibitan atau penyemaian tanaman merupakan langkah awal keberhasilan dalam mendapatkan bibit berkualitas baik dan seragam untuk memudahkan pencapaian yang optimum dalam budidaya tanaman [6]. Proses pembibitan tanaman uji dilakukan dalam tray bersekat dengan 128 lubang untuk diisi media tanam dan benih. Pembibitan ketiga tanaman uji dilihat pada Gambar 1.

Keuntungan pemilihan tray bersekat sebagai tempat pembibitan tanaman dikarenakan menghasilkan bibit dengan perakaran yang tumbuh baik dan teratur, mengurangi risiko kerusakan bibit, mudah dalam pemeliharaan, memudahkan penghitungan jumlah bibit yang siap dipindahkan pada reaktor. Proses pembibitan tanaman pada penelitian ini dilakukan selama 10 hari dengan proses penyiraman selama dua kali dalam sehari yaitu pada pagi dan sore hari. Selain itu, tray semai tanaman uji juga diletakkan di tempat yang teduh dengan sinar matahari yang cukup agar benih tanaman tidak rusak dan dapat tumbuh dengan baik.

2) Range Finding Test (RFT)

RFT dilakukan dengan tujuan untuk menentukan besarnya nilai konsentrasi maksimum yang dapat diterima oleh tanaman uji agar tetap dapat bertahan hidup. Pelaksanaan RFT dapat dilakukan selama 7 hari atau lebih karena dalam kurun waktu tersebut tanaman umumnya sudah mampu menyerap zat atau unsur yang terdapat dalam media tanam [7]. Variasi rasio *sludge* yang diuji pada RFT ini adalah 0% (kontrol), 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%. RFT dilakukan dengan memindahkan bibit tanaman ke dalam reaktor pot yang telah diisi media tanam sesuai variasi rasio perbandingan antara *sludge* dan tanah yang direncanakan selama 14 hari. Untuk pemeliharaan, dilakukan dengan meletakkan reaktor pada area terbuka yang teduh dan terkena sinar matahari cukup serta kegiatan penyiraman air selama dua kali sehari yaitu pada pagi dan sore hari.

Hasil RFT menunjukkan bahwa tidak terdapat satupun tanaman uji yang mati, namun terdapat beberapa tanaman

Tabel 1.

Unsur Hara yang Terkandung Dalam Sludge IPAL PT. XYZ

| No. | Unsur Hara | Satuan | Hasil |
|-----|----------------------------|--------|---------|
| 1 | Nitrogen | mg/L | 14,95 |
| 2 | Fosfor | mg/L | 83,56 |
| 3 | Kalium | mg/L | 15,32 |
| 4 | C-Organik | % | 56,24 |
| 5 | Nitrat (NO ³⁻) | mg/L | <0,03 |
| 6 | Boron (B) | mg/L | <5 |
| 7 | Seng (Zn) | mg/L | 0,60 |
| 8 | Tembaga (Cu) | mg/L | <0,03 |
| 9 | Molybdenum (Mo) | mg/L | 0,02 |
| 10 | Nikel (Ni) | mg/L | 0,003 |
| 11 | Klorida (Cl) | mg/L | 11 |
| 12 | EDTA | mg/L | 6,20 |
| 13 | Nitrobenzena | mg/L | <0,0003 |

Tabel 2.

Tekstur Media Tanam pada Variasi Reaktor Sludge

| Variasi Rasio Sludge | % Pasir | % Debu | % Lempung | Kelas Tekstur Tanah |
|----------------------|---------|--------|-----------|---------------------|
| 0% | 70,62% | 12,64% | 6,74% | Pasir berlempur |
| 20% | 58,42% | 20,13% | 11,88% | Lempung berpasir |
| 40% | 42,41% | 28,55% | 18,40% | Lempung berpasir |
| 60% | 38,17% | 32,19% | 25,76% | Lempung |
| 80% | 22,50% | 35,25% | 30,51% | Lempung berliat |
| 100% | 4,16% | 43,08% | 42,26% | Liat Berdebu |

yang mengalami perubahan warna memucat atau menguning. Tanaman pada reaktor kontrol dapat bertahan hidup karena masih tercukupinya kandungan unsur hara dan nutrisi yang dimiliki media tersebut. Hasil pengamatan RFT menentukan variasi rasio penambahan sludge yang digunakan pada penelitian utama, yaitu sebesar 0% (tanpa sludge), 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% (tanpa tanah pasir).

3) Uji Fisik dan Karakteristik Sludge

Uji karakteristik ini bertujuan untuk menganalisis sifat fisik dari sludge IPAL yang dihasilkan dari IPAL industri susu PT XYZ sebagai media tanam pada penelitian. Karakteristik sludge IPAL awal meliputi unsur hara ataupun senyawa lainnya yang terkandung dalam sludge dan sifat fisik sludge. Data terkait unsur hara yang terkandung di dalam sludge didapatkan dari inventarisasi industri susu PT. XYZ. Sementara untuk baku mutu pada karakteristik sludge tersebut terdapat pada Lampiran III. Kategori Limbah B3 dalam Peraturan Pemerintah RI Nomor 101 Tahun 2014 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Beracun dan Berbahaya (B3). Adapun unsur hara dalam sludge tersebut disajikan pada Tabel 1.

Nitrogen berperan dalam merangsang pertumbuhan dan pembesaran tanaman, serta penyusunan protein dari asam nukleat dan lemak. Dalam pertumbuhan vegetatif tanaman, nitrogen menunjang pertumbuhan akar, batang yang lebih tinggi, dan daun yang sehat dengan luas permukaan lebih besar [8]. Unsur nitrogen yang diserap oleh akar tanaman juga dapat berbentuk nitrat (NO₃⁻) dan ammonium (NH₄⁺) [9]. Proses penyerapan nitrogen dalam media tanam oleh tanaman dapat terjadi karena beberapa reaksi diantaranya adalah aminasi, nitrifikasi, dan amonifikasi [10]. Fosfor berfungsi untuk memindahkan energi ke tanaman membantu proses asimilasi dan respirasi, serta meningkatkan dan mempercepat laju pembungaan, pembentukan biji dan buah, sekaligus pemasakan buah [11]. Kalium dapat mengendalikan aktivitas dalam membuka dan menutup stomata untuk proses respirasi dan fotosintesis, membantu perbaikan struktur sel tanaman,

Tabel 3.

Kadar Air pada Variasi Reaktor Sludge

| Variasi Rasio Sludge | Kadar Air (%) |
|----------------------|---------------|
| 0% | 12,64% |
| 20% | 20,13% |
| 40% | 28,55% |
| 60% | 32,19% |
| 80% | 35,25% |
| 100% | 43,08% |

Tabel 4.

Perbandingan Tinggi Tanaman Pengujian dengan Tanaman Budidaya

| No. | Jenis Tanaman | Tinggi Tanaman (cm) | |
|-----|----------------|---------------------|---------|
| | | Sludge IPAL | Pupuk X |
| 1 | Bayam Hijau | 25,4 | 15 – 30 |
| 2 | Kangkung Darat | 40,9 | 20 – 40 |
| 3 | Sawi Hijau | 15,2 | 20 – 30 |

Tabel 5.

Nilai Rata-Rata pH Media Tanam Setiap Reaktor

| Variasi Rasio Sludge | Rata-Rata pH Media Tanam | | |
|----------------------|--------------------------|----------------|------------|
| | Bayam Hijau | Kangkung Darat | Sawi Hijau |
| 0% | 7,5 | 7,7 | 7,8 |
| 20% | 7,7 | 7,9 | 7,9 |
| 40% | 7,9 | 8,0 | 8,0 |
| 60% | 8,0 | 8,0 | 8,0 |
| 80% | 8,1 | 8,1 | 8,1 |
| 100% | 8,2 | 8,2 | 8,2 |

proses asimilasi, pembentukan protein, sintesis asam amino, translokasi karbohidrat atau gula, mengaktifkan enzim, dan membantu penyerapan air kedalam tanaman [12]. Kandungan karbon digunakan dalam bentuk c-organik untuk merepresentasikan bahan organik yang tersimpan di dalam tanah sebagai indikator kualitas tanah terkait dengan siklus dan ketersediaan unsur hara melalui mineralisasi dan mendekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme yang bertugas menyuburkan tanah [13][14].

Boron berperan dalam proses perkembangan sel tanaman, mengendalikan transpor gula untuk mencegah polimerasi, dan pembentukan polisakarida. Zinc atau seng berperan dalam proses fotosintesis dan pembentukan klorofil serta aktivator enzim. Tembaga berperan penting sebagai aktivator dan pembawa enzim. Nikel berperan dalam pembentukan enzim pada metabolisme nitrogen [15]. Tanaman juga membutuhkan unsur molibdenum yang berperan dalam transformasi senyawa nitrogen seperti pembentukan enzim nitrat reduktase dalam perubagan nitrat menjadi asam amino [16]. Sementara itu, kadar klorida dalam tanaman dapat membantu proses fotosintesis dengan membentuk energi [17]. Senyawa EDTA sebagai komponen organik berperan dalam menjaga kondisi unsur hara agar tetap dapat diserap tanaman pada keadaan pH media tanam yang terlalu asam maupun basa karena bersifat menstabilkan ion metal. Senyawa nitrobenzene juga memiliki peran penting dalam mengaktifkan fungsi sel-sel dan hormon-hormon penyusun tanaman sehingga dapat bekerja optimal [18][19]. Adanya kandungan unsur hara yang terkandung dalam sludge PT XYZ mengindikasikan bahwa sludge industri tersebut berpotensi dijadikan media tanam.

Dalam mengidentifikasi karakteristik sludge, dilakukan pula analisis ayakan untuk menentukan tekstur media tanam. Tekstur media tanam merupakan pembagian antara tiga komponen penyusun tanah yaitu pasir, debu, dan lempung yang menentukan tatanan air, proses penyerapan air, penetrasi akar, sirkulasi air dan udara, serta ketersediaan nutrisi untuk tanaman [20]. Adapun hasil pengujian tekstur

media tanam dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2 dijelaskan bahwa persentase lempung meningkat seiring dengan jumlah sludge yang ditambahkan sebagai campuran media tanam. Semakin besar persentase debu dan lempung yang dimiliki media tanam menandakan bahwa media tersebut didominasi dengan butiran kecil hingga halus yang akan mengisi ruang kosong dalam tanah. Media yang demikian berpotensi mengandung unsur hara yang melimpah, namun dapat menurunkan kemampuan porositas tanah, sirkulasi tanah dan udara, serta penetrasi akar dalam menembus tanah. Kondisi tersebut dapat memberikan dampak yang berbeda pada tanaman dengan karakteristik yang juga berbeda.

4) Kadar Air

Uji kadar air dilakukan juga pada seluruh reaktor media tanam karena diperlukan untuk membantu proses penyerapan unsur hara yang terbawa bersama pergerakan air, yang kemudian masuk pada pori-pori tanah. Ukuran partikel berbanding terbalik dengan luas permukaannya. Semakin kecil ukuran partikelnya, maka semakin besar luas permukaannya. Luas permukaan yang besar berpengaruh terhadap kemampuan media tanam dalam menyimpan air sekaligus ketersediaan unsur hara untuk pertumbuhan tanaman [21]. Tanah dengan tekstur yang kasar memiliki kemampuan menahan air lebih kecil dibandingkan tanah yang bertekstur halus. Semakin padat kondisi tanah maka semakin tinggi pula kerapatan massanya sehingga semakin sulit pula meneruskan air maupun ditembus oleh akar tanaman [22]. Hasil pengujian kadar air dilihat pada Tabel 3.

Kadar air dalam tanah yang baik dalam menunjang pertumbuhan tanaman memiliki nilai minimum 50%. Kekurangan air dapat menyebabkan keterlambatan pertumbuhan tanaman, perkembangan yang abnormal, mengganggu proses fotosintesis karena stomata tertutup, dan turgiditas sel-sel tanaman menurun [23]. Berdasarkan sumber tersebut, diketahui bahwa media tanam dengan rasio sludge 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% memiliki kemampuan baik dalam menunjang pertumbuhan tanaman. Sementara reaktor sludge 0% kemungkinan memiliki kemampuan yang kurang baik dalam penyuburan tanah. Dari hasil pengujian kadar air maka dapat diperkirakan bahwa butiran halus pada sludge IPAL menyusun luas permukaan yang lebih besar apabila dibandingkan dengan butiran kasar tanah yang diambil di sekitar PT XYZ.

C. Penelitian Utama

Bibit tanaman yang telah disemai, dipindahkan ke reaktor dengan variasi rasio penambahan sludge hasil dari RFT. Pertumbuhan dan perkembangan tanaman uji pada penelitian utama akan dilaksanakan selama 30 hari. Pemilihan waktu tersebut menyesuaikan kondisi tanaman uji yang mana tanaman bayam hijau membutuhkan waktu panen sekitar 30 hingga 45 HST, kangkung darat sekitar 30 hingga 45 HST, sawi hijau sekitar 40 hingga 45 HST. Adapun parameter yang diamati, diukur, dan diuji pada penelitian utama yaitu:

1) Tinggi Tanaman

Pengukuran terhadap tinggi tanaman dilakukan dari permukaan media tanam hingga pucuk tanaman yang paling tinggi. Pengukuran terhadap tinggi tanaman uji akan dilakukan setiap dua hari sekali. Alat yang digunakan adalah

penggaris dalam satuan sentimeter (cm).

2) Jumlah Daun Tanaman

Pengukuran jumlah daun diartikan sebagai perhitungan secara visual jumlah daun yang sudah tidak menggulung atau terbuka sempurna. Penghitungan terhadap jumlah daun tanaman uji dilakukan setiap dua hari sekali.

3) pH Media Tanam

Pengukuran pH pada penelitian adalah pengukuran nilai keasaman media tanam selama dua hari sekali. Pengukuran pH tersebut disesuaikan dengan SNI 06-6989.11-2004 Tentang Air dan Air Limbah – Bagian 11: Cara Uji Derajat Keasaman (pH) dengan Menggunakan Alat pH Meter.

D. Analisis dan Pembahasan

Analisis dan pembahasan dilakukan dengan data hasil pengamatan dan pengukuran pada penelitian utama. Dalam analisis dan pembahasan mengenai penentuan kadar sludge IPAL industri susu PT XYZ yang menunjukkan hasil paling optimal terhadap pertumbuhan ketiga tanaman uji dilakukan menggunakan diagram maupun grafik sebagai berikut.

1. Diagram batang terkait pertambahan tinggi tanaman dengan masing-masing kadar sludge yang telah ditambahkan pada media tanam.
2. Diagram batang pertambahan jumlah daun pada tanaman uji dengan masing-masing kadar sludge yang telah ditambahkan pada media tanam.
3. Tabel rata-rata pH media media tanam dengan hari pengamatan yang ditentukan pada masing-masing kadar sludge yang telah ditambahkan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah masa pembibitan selesai dilaksanakan, maka bibit tanaman uji selanjutnya dipindahkan ke reaktor berisi media tanam berupa rasio penambahan *sludge* IPAL yaitu sludge 0% (tanpa *sludge*), 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% (tanpa tanah) dengan densitas *sludge* adalah sebesar 193,01 kg/m³. Pemeliharaan yang sama diberikan pada seluruh tanaman uji dengan penyiraman selama dua kali sehari yaitu pada pagi dan sore hari dan peletakkan reaktor pada ruang terbuka yang teduh dan mendapatkan sinar matahari cukup. Pada penelitian utama, dilakukan pengamatan dan pengukuran pada pertumbuhan tinggi tanaman, pertambahan jumlah daun, dan pengujian nilai pH media tanam.

A. Pertumbuhan Tinggi Tanaman

Tinggi tanaman dapat dijadikan sebagai indikator utama dalam mengetahui pengaruh lingkungan maupun perlakuan terhadap tanaman uji karena mudah diamati dan diukur untuk mengetahui pertumbuhannya. Tinggi tanaman juga Adanya pertambahan tinggi pada tanaman menunjukkan bahwa tanaman tersebut mengalami aktivitas pertumbuhan vegetatif dengan terjadinya peningkatan pembelahan sel-sel dalam tanaman [24]. Penentuan reaktor sludge yang paling berpengaruh terhadap pertambahan tinggi tanaman, dilakukan dengan mengurangi tinggi tanaman pada akhir penelitian (hari ke-30) dengan awal penelitian (hari ke-0). Hasil pengamatan dan pertambahan tinggi tanaman dapat dilihat pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2, dilihat bahwa seluruh tanaman uji mengalami pertambahan tinggi yang berbanding lurus

dengan jalannya waktu penelitian. Rasio penambahan sludge yang memberikan pengaruh pertambahan tinggi paling besar untuk tanaman bayam hijau adalah 60% (40% tanah dan 60% sludge), kangkung darat sebesar 100% sludge (tanpa tanah), dan sawi hijau sebesar 80% (20% tanah dan 80% sludge). Penambahan rasio sludge yang terjadi pada tanaman uji tidak selalu berbanding lurus dengan pengukuran tinggi tanaman yang dihasilkan. Hal ini dapat terjadi karena kemampuan penyerapan tanaman terhadap unsur N dan P yang berbeda-beda serta ketersediaan C-Organik yang kurang mencukupi dalam tanah sehingga menghambat penyuburan tanah. Unsur N berperan dominan sebagai sumber suplai nutrisi dengan proses penyusunan protein yang merangsang pertumbuhan dan pembesaran tanaman [25]. Unsur P berperan dalam pemindahan nutrisi dari media tanam ke tanaman yang menjadi salah satu faktor penentu kesuburan tanah [26]. Kandungan C-organik berperan dalam dekomposisi bahan organik dalam tanah yang berkaitan dengan semakin tingginya pelepasan unsur hara P melalui proses dekomposisi humus [27].

Selanjutnya hasil pengukuran tinggi tanaman uji menggunakan media tanam sludge IPAL yang paling besar dibandingkan dengan tinggi tanaman yang dibudidayakan secara umum pada laman *cybexpertanian.go.id*. Adapun perbandingan tinggi tanaman disajikan pada Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4, dapat dilihat bahwa tinggi tanaman bayam hijau dan kangkung darat berada pada range tinggi tanaman yang dibudidayakan umumnya. Sementara tanaman sawi hijau menghasilkan keterlambatan pertumbuhan (kerdil) yang menyebabkan tanaman berukuran lebih kecil. Kondisi yang demikian dapat terjadi karena beberapa faktor seperti kadar nitrogen tidak diserap secara optimal oleh tanaman, faktor lingkungan seperti suhu dan kelembapan yang kurang sesuai, kurangnya masa penyemaian hingga tanaman siap dipindahkan ke wadah lebih besar, maupun faktor kualitas benih tanaman sawi yang digunakan [28].

B. Penambahan Jumlah Daun

Sebagai jenis tumbuhan berdaun, ketiga tanaman uji menggunakan daun sebagai bagian yang berperan penting dalam kelangsungan hidupnya. Daun mengandung ratusan kloroplas sebagai tempat utama dalam proses fotosintesis dengan mengolah energi cahaya menjadi energi kimia dan karbohidrat untuk bertahan hidup [29]. Penentuan reaktor sludge yang paling berpengaruh terhadap penambahan jumlah, dilakukan dengan mengurangi jumlah daun pada akhir penelitian utama (hari ke-30) dengan awal penelitian utama (hari ke-0). Hasil pengamatan dan penambahan jumlah daun dilihat pada Gambar 3.

Berdasarkan Gambar 3, dilihat bahwa seluruh tanaman uji mengalami penambahan jumlah daun yang berbanding lurus dengan jalannya waktu penelitian, namun tidak selalu berbanding lurus dengan hasil penambahan jumlah daun. Pada tanaman bayam, rasio penambahan sludge 60% (40% tanah dan 60% sludge), 80% (20% tanah dan 80% sludge), dan 100% sludge (tanpa tanah), ketiganya memberikan pengaruh paling besar terhadap penambahan jumlah daun. Sementara rasio penambahan sludge memberikan pengaruh besar terhadap penambahan jumlah daun pada tanaman kangkung darat sebesar 100% sludge (tanpa tanah), dan sawi hijau sebesar 80% (20% tanah dan 80% sludge).

Dalam pertambahan jumlah daun, unsur hara yang berperan dominan adalah unsur N sehingga jumlah penyerapannya mempengaruhi jumlah daun yang dihasilkan [30]. Pada hasil pengamatan yang dilakukan, terdapat beberapa tanaman uji yang mengalami penurunan warna pada daun menjadi lebih pucat maupun menguning. Kondisi yang demikian dapat terjadi karena kemampuan tanaman dalam menyerap unsur K yang berbeda setiap reaktor. Unsur K berperan dalam mengendalikan aktivitas stomata untuk proses fotosintesis dan respirasi. Apabila tanaman mengalami kekurangan unsur kalium, maka hal tersebut menyebabkan terlambatnya respon penutupan stomata sehingga air dapat lebih banyak menguap dan berisiko terjadi kekeringan sehingga tanaman berwarna lebih pucat atau menguning [31].

C. Pengukuran pH Media Tanam

Pengaruh paling besar dari kadar keasaman (pH) terhadap pertumbuhan tanaman uji, terletak pada jumlah ketersediaan dan kandungan unsur hara yang diserapnya. Hal ini dikarenakan ketersediaan unsur hara berkaitan dengan aktifitas ion H^+ yang berada di dalam tanah. Setiap unsur hara dalam tanah memiliki range kadar pH optimum yang berbeda sesuai karakteristiknya. Secara umum tanah dengan ketersediaan unsur N, P, dan K yang memadai memiliki kisaran pH antara 5,5 hingga 8,5 [32]. Hasil pengukuran pH pada seluruh variasi tanaman uji menunjukkan nilai yang fluktuatif. Namun apabila diambil nilai rata-rata, nilai pH yang didapatkan masih dalam range yang menunjukkan ketersediaan unsur N, P, dan K yang optimum pada media tanam untuk pertumbuhan tanaman uji. Nilai rata-rata pH media tanam dapat dilihat pada Tabel 5.

Apabila pH media tanam berada dibawah 5,5 maka ketersediaan N, K, Ca, Mg, dan S akan cenderung menurun seiring dengan penurunan kadar pH. Selain itu, pH tanah yang kurang dari 5,5 juga berisiko meningkatnya pula kandungan Mn, Zn, ataupun Al. Sementara untuk ketersediaan unsur boron (B) tidak secara langsung dipengaruhi oleh kadar pH, dikarenakan keduanya bergantung pada pembentukan senyawa kurang larut dari Al, Fe, Mn, dan Ca yang dipengaruhi kadar pH [33].

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dijelaskan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Sludge IPAL PT. XYZ memiliki karakteristik fisik berupa tanah bertekstur liat berdebu dengan kadar air 88%, yang mengandung unsur hara makro seperti N, P, K, dan C-Organik secara berturut-turut 14,95 mg/L; 83,56 mg/L; 15,32 mg/L; dan 56,24% serta nutrisi lainnya seperti B, Zn, Cu, Mo, Ni, Cl-, F-, EDTA, dan nitrobenzene dengan potensinya sebagai campuran media tanam.
2. Penambahan sludge IPAL berpengaruh terhadap tinggi tanaman dan jumlah daun pada tanaman uji berupa bayam hijau, kangkung darat, dan sawi hijau. Variasi yang paling berpengaruh terhadap tinggi tanaman dan jumlah daun pada bayam hijau yaitu 60% sludge. Variasi yang paling berpengaruh terhadap tinggi tanaman dan jumlah daun pada kangkung darat yaitu 100% sludge. Variasi yang paling berpengaruh terhadap tinggi tanaman dan jumlah daun pada sawi hijau yaitu 80% sludge.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Wijaya, H. Ribeiro, S. Soedjono, A. Slamet, C. Teixeira, and A. Bordalo, "Start-up of the nitrogen removal process in an anaerobic up-flow reactor inoculated with aeration tank sludge," 2019.
- [2] N. A. Fahmi and E. S. Soedjono, "Performance evaluation of nipa-nipa sludge treatment plant in makassar," *Int. J. Soc. Serv. Res.*, vol. 2, no. 6, pp. 536–552, Jun. 2022, doi: 10.46799/IJSSR.V2I6.124.
- [3] H. Kurniawati, "Upaya peningkatan pertumbuhan dan hasil tanaman bayam cabut (*amaranthus tricolor* l.) dengan pemberian pupuk organik cair (poc) keong mas pada tanah pmk," *PIPER*, vol. 15, no. 29, Feb. 2019, doi: 10.51826/PIPER.V15I29.335.
- [4] H. Hartati *et al.*, "Pengaruh penambahan arang sekam terhadap pertumbuhan tanaman kangkung darat (*ipomoea reptans*)," *Oryza J. Pendidik. Biol.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–7, 2021.
- [5] F. Bela, F. A. V. Bela, S. H. J. Putra, and M. S., "Efektifitas pemberian pupuk organik cair terhadap pertumbuhan tanaman sawi hijau (*brassica juncea* l.)," *Spizaetus J. Biol. dan Pendidik. Biol.*, vol. 2, no. 1, pp. 30–38, May 2021, doi: 10.55241/spibio.v2i1.29.
- [6] U. Lubis, "Kelapa sawit (*elaeis guineensis* jacq.) di indonesia," Medan, 2008.
- [7] M. O. Damanik and I. F. Purwanti, "Finding test (rft) cyperus rotundus l dan scirpus grossus sebagai penelitian pendahuluan dalam pengolahan limbah cair tempe," *J. Tek. ITS*, vol. 7, no. 1, pp. F161–F164, Jun. 2018, doi: 10.12962/J23373539.V7I1.28708.
- [8] A. Nuraeni, L. Khairani, I. Susilawati, and S. Pengajar, "Pengaruh tingkat pemberian pupuk nitrogen terhadap kandungan air dan serat kasar corchorus aestuans," *Pastura*, vol. 9, no. 1, pp. 32–35, Sep. 2019, doi: 10.24843/PASTURA.2019.V09.I01.P09.
- [9] Rinsema, *Pupuk dan Pemupukan*. Jakarta: Bhratara Karya Aksara, 1983.
- [10] R. T. Su *et al.*, "Penguji kandungan unsur hara dalam kompos yang berasal dari serasah tanaman jagung manis (*zea mays saccharata*)," *J. Ilm. Pertanian*, vol. 11, no. 1, pp. 11–17, Aug. 2013, doi: 10.31849/JIP.V11I1.1309.
- [11] M. Safei, A. Rahmi, and N. Jannah, "Pengaruh Jenis Dan Dosis Pupuk Organik Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Terung (*Solanum melongena* L.) Varietas Mustang F-1," *J. Agrifor*, vol. 13, no. 1, pp. 59–66, 2014.
- [12] D. Unsur Hara Kalium Tanah dan Kadarnya pada Tanaman Padi Sawah di Wilayah Sub Das Serayu Hilir Kecamatan Sampang Kabupaten Cilacap, F. Aninda Dewi, P. Widyasunu, J. Maryanto, P. Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, and U. Jenderal Soedirman, "Distribusi unsur hara kalium tanah dan kadarnya pada tanaman padi sawah di wilayah sub das serayu hilir kecamatan sampang kabupaten cilacap," in *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*, Nov. 2021, vol. 2, pp. 117–123, doi: 10.30595/PSPFS.V2I1.178.
- [13] A. Mangium, W. Sabaruddin, S. Nurul, A. Fitri, and D. L. Lestari, "Hubungan antara kandungan bahan organik tanah dengan periode pasca tebang tanaman hti *acacia mangium* willd," *J. Trop. Soils*, vol. 14, no. 2, pp. 105–110, May 2019, doi: 10.5400/JTS.2009.V14I2.105-110.
- [14] J. Sains dan Teknologi Lingkungan, O. E. Waktu Pengomposan Pupuk Kandang Dari Kotoran Kambing Dan Debu Sabut Kelapa Dengan Bioaktivator, L. Trivana, A. Yudha Pradhana, and A. Pahala Manambangtua Balai Penelitian Tanaman Palma Jalan Raya Mapanget, "Optimalisasi waktu pengomposan pupuk kandang dari kotoran kambing dan debu sabut kelapa dengan bioaktivator em4," *J. Sains Teknol. Lingkung.*, vol. 9, no. 1, pp. 16–24, Jan. 2017, doi: 10.20885/JSTL.VOL9.ISS1.ART2.
- [15] C. Hanum, *Teknik Budidaya Tanaman Jilid 1*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
- [16] E. Bloodnick, *Role of Molybdenum in Plant Culture*. North America: PROMIX, 2022.
- [17] A. Christianto, T. Indriyati, and B. Pulunggono, "Efektivitas aplikasi amonium klorida dan sumber kalium berbeda pada pertumbuhan dan produksi jagung manis (*zea mays saccharata* sturt)," *J. Ilmu Pertan. Indones.*, vol. 28, no. 2, pp. 283–290, 2023.
- [18] V. Andriani and R. N. Habibah, "Penambahan konsentrasi fe edta pada nutrisi ab mix terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman pakchoy (*brassica rapa* l.) sistem hidroponik nutrisi film technique (nft)," *Pros. Semin. Nas. Hayati*, vol. 7, pp. 159–163–159–163, Sep. 2019, doi: 10.29407/HAYATI.V7I1.585.
- [19] M. Deb, S. Roy, and S. I. Huq, "Effects of nitrobenzene on growth of tomato plants and accumulation of arsenic," *Bangladesh J. Sci. Res.*, vol. 25, no. 1, pp. 43–52, Dec. 2012, doi: 10.3329/BJSR.V25I1.13049.
- [20] D. Delsiyanti, D. Widjajanto, and U. A. Rajamuddin, "Sifat fisik tanah pada beberapa penggunaan lahan di desa oloboju kabupaten sigi," *Agrotekbis E-Jurnal Ilmu Pertan.*, vol. 4, no. 3, pp. 227–234, Jun. 2016, [Online]. Available: <http://jurnal.faperta.untad.ac.id/index.php/agrotekbis/article/view/13>.
- [21] G. Kartasapoetra, *Teknologi Konservasi Tanah dan Air*. Jakarta: Rineka Cipta, 1991.
- [22] H. Yulina and D. W. Ambarsari, "Hubungan kadar air dan bobot isi tanah terhadap berat panen tanaman pakcoy pada kombinasi kompos sampah kota dan pupuk kandang sapi," *Agro Tatanen/ J. Ilm. Pertan.*, vol. 3, no. 2, pp. 1–6, Jul. 2021, doi: 10.55222/AGROTATANEN.V3I2.526.
- [23] I. Khoirunisa, B. Budiman, and R. Kurniasih, "Pengaruh kadar air tanah tersedia dan pengelolaan pupuk terhadap pertumbuhan meniran (*phyllanthus niruri*)," *J. Pertan. Presisi (Journal Precis. Agric.)*, vol. 5, no. 2, pp. 138–146, Jan. 2022, doi: 10.35760/JPP.2021.V5I2.5285.
- [24] A. Harjanti, Tohari, and H. Utami, "Pengaruh takaran pupuk nitrogen dan silika terhadap pertumbuhan awal (*saccharum officinarum* l.) pada inceptisol," *Vegetalika*, vol. 3, no. 2, pp. 35–44, 2014.
- [25] W. Mawadatin Niklah, I. Ayu Gede Bintang Madrini, and I. Made Anom Sutrisna Wijaya, "Ke ragaman unsur hara nitrogen pada lahan sawah di desa maduran, kecamatan maduran, kabupaten lamongan jawa timur," *J. Ilm. Teknol. Pertan. Agrotechno*, vol. 4, no. 1, pp. 16–23, Jun. 2019, doi: 10.24843/JITPA.2019.V04.I01.P03.
- [26] J. Pertanian Tropik, K. Sari Lubis, and B. Hidayat, "Ketersediaan hara fosfor akibat pemberian biochar sekam padi dan pupuk kandang sapi pada inceptisol kuala bekala," *J. Pertan. Trop.*, vol. 6, no. 2, pp. 287–293, Jan. 2019, doi: 10.32734/JPT.V6I2.3179.
- [27] I. Febria Ginting, S. Yusnaini, M. Viva Rini Jurusan Agroteknologi, F. Pertanian, U. Lampung Jl Soemantri Brojonegoro, and B. Lampung, "Pengaruh inokulasi fungi mikoriza arbuskular dan penambahan bahan organik pada tanah pasca penambangan galian c terhadap pertumbuhan dan serapan hara p tanaman jagung (*zea mays* l.)," *J. Agrotek Trop.*, vol. 6, no. 2, pp. 110–118, Jun. 2018, doi: 10.23960/JAT.V6I2.2603.
- [28] I. Nugraha, S. Isnaeni, and A. Rosmala, "Respon pertumbuhan dan hasil tanaman caisim (*brassica juncea* l.) pada jenis dan konsentrasi poc yang berbeda," *J. Agroteknologi Merdeka Pasuruan*, vol. 5, no. 2, pp. 12–22, Dec. 2021, [Online]. Available: <http://jamp-jurnal.unmerpas.ac.id/index.php/jamp pertanian/article/view/57>.
- [29] D. Program, S. Agroteknologi, F. Pertanian, and D. Kehutanan, "Identifikasi nilai konstanta bentuk daun untuk pengukuran luas daun metode panjang kali lebar pada tanaman hortikultura di tanah gambut: identification of constant value of leaf shape for leaf area measurement using length cross width of leaf of horticulture plant in peat soil," *Anterior J.*, vol. 14, no. 2, pp. 139–146, Jun. 2015, doi: 10.33084/ANTERIOR.V14I2.178.
- [30] J. Albari, . Supijatno, and . Sudradjat, "Peranan pupuk nitrogen dan fosfor pada tanaman kelapa sawit (*elaeis guineensis* jacq.) belum menghasilkan umur tiga tahun," *Bul. Agrohorti*, vol. 6, no. 1, pp. 42–49, Jan. 2018, doi: 10.29244/AGROB.V6I1.16822.
- [31] P. Manambangtua, D. Runtuuwu, and A. Wanget, "Pengaruh pemberian kalium terhadap pertumbuhan beberapa varietas kelapa genjah di pembibitan pada kondisi kekeringan," *Bul. Palma*, vol. 22, no. 1, pp. 11–21, 2021.
- [32] D. Foth, *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Jakarta: Erlangga, 1988.
- [33] B. Siswanto, "Sebaran unsur hara n, p, k dan ph dalam tanah," *Buana Sains*, vol. 18, no. 2, pp. 109–124, 2019.