



Pengelolaan Limbah *Sludge* Hasil Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Berbasis Prinsip *Green Industry* Di PT Supra Natami Utama Sukabumi

Muhamad Rizki Ardiansyah,

Universitas Nusa Putra Sukabumi*,

Email: mrizki.ardiansyah_mn22@nusaputra.ac.id

Article Info

Submitted: Mei 2026

Revised: Mei 2026

Accepted: Mei 2026

Published: Mei 2026

Keywords: limbah *Sludge* IPAL, Nata de Coco, *green industry*, pupuk kompos, ekonomi sirkular

Abstrak

Industri pengolahan pangan berbasis kelapa, seperti produksi Nata de Coco, menghasilkan limbah *Sludge* sebagai residu dari proses Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Penelitian ini mengkaji pengelolaan limbah *Sludge* di PT Supra Natami Utama, perusahaan pengolah Nata de Coco yang berlokasi di Sukabumi, Jawa Barat, dalam kerangka prinsip *green industry* dan keberlanjutan lingkungan. Metode yang digunakan adalah penelitian kualitatif deskriptif dengan pendekatan studi kasus, menggunakan teknik pengumpulan data berupa observasi partisipatif, wawancara informal, dan dokumentasi selama kegiatan magang (Agustus–Desember 2025). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perusahaan telah menerapkan sistem pencatatan limbah *Sludge* secara terstruktur melalui logbook harian dan pelaporan digital berbasis sistem SIMPEL Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), serta pemantauan parameter suhu sebagai indikator kinerja IPAL. Pemanfaatan *Sludge* sebagai bahan baku pupuk kompos merupakan bentuk nyata implementasi ekonomi sirkular yang memberikan nilai tambah ganda: pengurangan volume limbah B3 dan substitusi pupuk kimia. Meskipun demikian, terdapat gap antara pencatatan manual dan digitalisasi penuh yang perlu diperkuat. Penelitian ini merekomendasikan integrasi sistem Internet of Things (IoT) untuk pemantauan real-time, serta penguatan kapasitas SDM di bidang pengelolaan lingkungan berbasis data.

1. PENDAHULUAN

Industrialisasi pangan berbasis bahan baku alam, termasuk produk turunan kelapa seperti *Nata de Coco*, mengalami pertumbuhan signifikan seiring meningkatnya permintaan pasar global terhadap produk olahan siap saji (Wijayanti, 2019). Namun di balik pertumbuhan tersebut, terdapat konsekuensi lingkungan yang tidak dapat diabaikan, yaitu timbunan limbah industri yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik (Teguh et al., 2023). Salah satu jenis limbah yang dihasilkan dari proses produksi *Nata de Coco* adalah limbah *Sludge*, yakni endapan padat yang tersisa dari proses pengolahan air limbah melalui Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) (Pratopo et al., 2024).

Limbah *Sludge* dari industri pangan, termasuk industri kelapa, tergolong dalam kategori Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) apabila mengandung parameter kimia yang melampaui baku mutu lingkungan (Putridan & Sukandar, 2020). Pengelolaan limbah B3 di Indonesia diatur secara ketat melalui Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, yang mewajibkan perusahaan untuk mencatat, melaporkan, dan mengelola limbah B3 secara bertanggung jawab (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2021).

PT Supra Natami Utama, perusahaan pengolah *Nata de Coco* yang berlokasi di Kota Sukabumi, Jawa Barat, merupakan salah satu entitas industri yang berhadapan langsung dengan tantangan pengelolaan limbah *Sludge* tersebut. Sebagai bagian dari Supra Group yang beroperasi di tiga lokasi (Bekasi, Pasuruan, dan Sukabumi), perusahaan ini dituntut untuk menjalankan operasional yang tidak hanya efisien secara ekonomi, tetapi juga bertanggung jawab secara lingkungan.



Dalam konteks ini, pengelolaan limbah *Sludge* IPAL menjadi isu strategis yang memiliki dimensi operasional, regulatif, dan lingkungan sekaligus.

Penelitian Handayani (2021) menunjukkan bahwa limbah *Sludge* dari industri pangan mengandung bahan organik yang berpotensi dimanfaatkan kembali sebagai pupuk kompos atau bahan baku biogas, sehingga pemanfaatan *Sludge* tidak hanya mengurangi volume limbah tetapi juga menghasilkan nilai ekonomi tambahan. Konsep ini sejalan dengan paradigma *green industry* dan ekonomi sirkular yang semakin diadopsi oleh industri global maupun nasional sebagai respons terhadap tekanan regulasi dan ekspektasi pemangku kepentingan (Hidayat & Hamzah, 2024).

Namun demikian, kajian mendalam mengenai praktik pengelolaan limbah *Sludge* di industri *Nata de Coco* khususnya di Indonesia, termasuk aspek pencatatan, pemantauan, pemanfaatan, dan integrasinya dengan sistem pelaporan digital pemerintah, masih terbatas dalam literatur ilmiah. Celah inilah yang menjadi justifikasi dan urgensi dari penelitian ini. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis sistem pengelolaan limbah *Sludge* IPAL yang diterapkan PT Supra Natami Utama; (2) mengkaji efisiensi operasional dan nilai tambah lingkungan dari praktik pengelolaan tersebut; serta (3) mengidentifikasi potensi pengembangan ke depan dalam kerangka prinsip *green industry* dan keberlanjutan.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan desain studi kasus tunggal (*single case study*) sebagaimana dikemukakan Yin (2018), yang dipilih karena bertujuan memahami secara mendalam fenomena pengelolaan limbah *sludge* dalam konteks spesifik PT Supra Natami Utama, bukan untuk generalisasi statistik. Pendekatan ini dinilai paling sesuai mengingat objek penelitian merupakan praktik pengelolaan limbah yang bersifat kontekstual dan situasional, di mana pemahaman mendalam terhadap proses, interaksi, dan dinamika lapangan jauh lebih relevan dibandingkan pendekatan kuantitatif yang berfokus pada angka dan distribusi. Penelitian dilaksanakan di PT Supra Natami Utama, Jalan Pelabuhan II No. 150, Warudoyong, Kota Sukabumi, Jawa Barat. Lokasi ini dipilih karena perusahaan tersebut merupakan salah satu pengolah *Nata de Coco* terbesar di Sukabumi dengan jumlah karyawan lebih dari 300 orang, sehingga dinilai representatif sebagai objek kajian pengelolaan limbah industri pangan skala menengah-besar yang memiliki kompleksitas operasional dan tuntutan kepatuhan lingkungan yang cukup tinggi.

Data dikumpulkan melalui tiga metode yang saling melengkapi satu sama lain. Pertama, observasi partisipatif, yaitu keterlibatan langsung penulis dalam kegiatan operasional departemen HRGA selama periode magang, mencakup pengukuran suhu *sludge* IPAL, pencatatan *logbook* harian limbah, penginputan data ke sistem SIMPEL KLHK, serta pengawasan kondisi Tempat Penampungan Sementara (TPS) limbah B3. Kedua, wawancara informal yang dilakukan dengan staf HRGA, supervisor sanitasi, dan staf WWTP guna menggali pemahaman, pengalaman, serta perspektif para pelaku langsung terhadap sistem pengelolaan limbah yang diterapkan perusahaan. Ketiga, dokumentasi berupa analisis terhadap *logbook* harian limbah *sludge*, laporan pengelolaan Limbah B3, serta tangkapan layar antarmuka sistem SIMPEL KLHK yang digunakan selama kegiatan magang berlangsung. Ketiga metode tersebut digunakan secara bersamaan untuk memastikan data yang diperoleh bersifat komprehensif, valid, dan dapat saling mengonfirmasi satu sama lain.



3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Sistem IPAL PT Supra Natami Utama

PT Supra Natami Utama mengoperasikan IPAL yang dirancang untuk mengolah air limbah dari proses produksi *Nata de Coco*, yang menghasilkan air limbah dengan kandungan organik tinggi dari sisa fermentasi air kelapa. IPAL yang dioperasikan menggunakan kombinasi proses biologis anaerob dan aerob, menghasilkan dua produk akhir: air olahan yang dibuang ke saluran pembuangan sesuai baku mutu, dan *Sludge* (lumpur) sebagai residu proses.

Berdasarkan data *logbook* periode Juli 2025, tercatat *Sludge* berjenis "*Sludge* WWTP" yang bersumber dari proses IPAL dengan rata-rata bobot sekitar 91–92 kg per *batch* pengukuran dan volume berkisar 0,09–0,10 ton. *Sludge* ini kemudian dikelola dan dikirimkan untuk proses pengolahan kompos dengan tujuan yang tercatat dalam dokumen manifes (kode dokumen S.740/PLB3/PN/PLB.3/11/20XX), yang diperbarui secara berkala sebagai bagian dari sistem pelaporan resmi perusahaan kepada otoritas lingkungan.

B. Sistem Pencatatan dan Pemantauan *Sludge*

Sistem pencatatan limbah *Sludge* di PT Supra Natami Utama dilakukan melalui dua lapisan yang saling melengkapi: pencatatan manual melalui *logbook* dan pelaporan digital melalui sistem SIMPEL KLHK.

a. *Logbook* Harian Limbah *Sludge*

PT. SUPRA NATAMI UTAMA														
J. Pelabuhan II No. 90 Kel. Warudoyong Kota Sukabumi 43133, Jawa-Barat, Indonesia														
Phone : (0266) 212116 Fax : (0266) 236913														
LEMBAR KEGIATAN LIMBAH NON B3														
PT. SUPRA NATAMI UTAMA														
PERIODE JULI 2025														
No	Jenis Limbah	Tanggal	Masuk				Keluar				Bukti Nama Dokumen	Sisa (Kg)	Sisa (Ton)	Operasi
			Sumber	Jumlah (Kg)	Jumlah (Ton)	Tanggal	Jumlah (Kg)	Jumlah (Ton)	Tujuan					
1	Sludge WWTP	01/07/2025	IPAL	91,25	0,09125	15/07/2025	91,25	0,09125	Pengolahan pupuk kompos	S.740/PLB3/PN/PLB.3/11/2023	0	0,00000	Wayud	
2	Sludge WWTP	02/07/2025	IPAL	90,75	0,09075	15/07/2025	90,75	0,09075	Pengolahan pupuk kompos	S.740/PLB3/PN/PLB.3/11/2024	0	0,00000	Wayud	
3		03/07/2025			0,00000	15/07/2025		0,00000			0	0,00000		
4	Sludge WWTP	04/07/2025	IPAL	91,4	0,09140	15/07/2025	91,4	0,09140	Pengolahan pupuk kompos	S.740/PLB3/PN/PLB.3/11/2026	0	0,00000	Wayud	
5	Sludge WWTP	05/07/2025	IPAL	92,1	0,09210	15/07/2025	92,1	0,09210	Pengolahan pupuk kompos	S.740/PLB3/PN/PLB.3/11/2027	0	0,00000	Wayud	
6		06/07/2025			0,00000			0,00000			0	0,00000		
7	Sludge WWTP	07/07/2025	IPAL	90,85	0,09085	15/07/2025	90,85	0,09085	Pengolahan pupuk kompos	S.740/PLB3/PN/PLB.3/11/2029	0	0,00000	Wayud	
8		08/07/2025			0,00000	15/07/2025		0,00000			0	0,00000		
9	Sludge WWTP	09/07/2025	IPAL	91,6	0,09160	15/07/2025	91,6	0,09160	Pengolahan pupuk kompos	S.740/PLB3/PN/PLB.3/11/2031	0	0,00000	Wayud	
10		10/07/2025			0,00000	15/07/2025		0,00000			0	0,00000		
11	Sludge WWTP	11/07/2025	IPAL	90,95	0,09095	15/07/2025	90,95	0,09095	Pengolahan pupuk kompos	S.740/PLB3/PN/PLB.3/11/2033	0	0,00000	Wayud	

Gambar 1. *Logbook* harian limbah *Sludge* PT Supra Natami Utama

Logbook harian merupakan instrumen pencatatan primer yang mencakup informasi komprehensif untuk setiap entri limbah, yaitu: jenis limbah, tanggal masuk ke TPS, sumber limbah (IPAL), jumlah dalam kilogram dan ton, tanggal keluar TPS, jumlah keluar, tujuan pemanfaatan, nomor bukti dokumen manifes, sisa stok di TPS, dan nama penanggungjawab operasional. Dari data *logbook* yang dianalisis, teridentifikasi pola reguler pencatatan yang dilakukan oleh staf WWTP dengan frekuensi pencatatan setiap hari kerja. Pola ini menunjukkan kedisiplinan operasional yang baik dalam hal dokumentasi.

b. Pemantauan Parameter Suhu IPAL

Pemantauan suhu *Sludge* dilakukan secara berkala menggunakan termometer digital yang diinsersi langsung ke dalam tumpukan *Sludge* di area IPAL. Kegiatan ini merupakan bagian dari rutinitas operasional harian yang dilaksanakan oleh staf WWTP sebagai indikator awal untuk menilai kondisi proses biologis yang sedang berlangsung di dalam sistem pengolahan limbah. Hasil pembacaan termometer kemudian dicatat ke dalam *logbook* harian sebagai data rekam jejak yang dapat digunakan untuk evaluasi kinerja IPAL secara berkala.

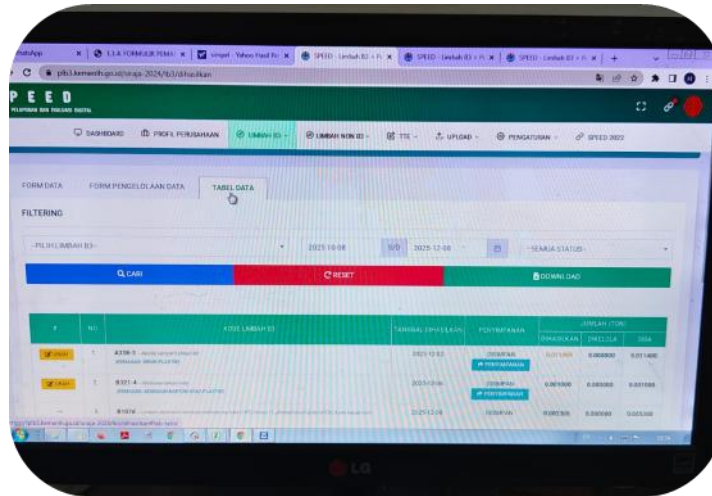


Gambar 2. Pengecekan rutin suhu *Sludge* hasil IPAL

Pemantauan suhu dipilih sebagai parameter prioritas karena relatif mudah dilakukan, tidak memerlukan peralatan laboratorium yang kompleks, namun tetap mampu memberikan gambaran awal yang cukup representatif mengenai stabilitas proses biologis dalam IPAL. Perubahan suhu yang signifikan dan tidak wajar dapat menjadi sinyal dini adanya gangguan pada proses penguraian organik, sehingga tindakan korektif dapat segera diambil sebelum berdampak pada kualitas efluen yang dibuang ke lingkungan. Dalam konteks ini, kegiatan pengecekan suhu bukan sekadar formalitas kepatuhan regulasi, melainkan merupakan instrumen pengendalian operasional yang fungsional dan bernilai praktis bagi keberlangsungan sistem IPAL secara keseluruhan (Sularto et al., 2025).

c. Pelaporan Digital Melalui Sistem SIMPEL KLHK

Integrasi antara pencatatan manual dengan sistem SIMPEL (Sistem Informasi Pemantauan Lingkungan Hidup) KLHK merupakan aspek yang paling signifikan dari sistem pengelolaan limbah perusahaan dari perspektif kepatuhan regulasi. Data yang telah dicatat dalam *logbook* di *input* ke dalam platform SIMPEL, yang memungkinkan KLHK memantau kinerja pengelolaan lingkungan perusahaan secara nasional dan terintegrasi.



Gambar 3 *Input* data limbah B3 di web SIMPEL

Berdasarkan observasi penggunaan sistem SIMPEL selama magang, antarmuka sistem memungkinkan perusahaan untuk meng-*input* data berdasarkan jenis limbah B3 (kode A dan B, merujuk pada klasifikasi dalam PP No. 22/2021), jumlah yang dihasilkan, dan tujuan pengelolaan. Sistem ini juga menyediakan fitur tabel data dan formulir pengelolaan data yang terstruktur, memudahkan proses audit dan verifikasi oleh inspektur lingkungan.

C. Pemanfaatan *Sludge* sebagai Pupuk Kompos

Temuan paling signifikan dari penelitian ini adalah praktik pemanfaatan *Sludge* IPAL PT Supra Natami Utama sebagai bahan baku pupuk kompos, yang tercatat konsisten dalam kolom "Tujuan" *logbook* limbah. Praktik ini merepresentasikan implementasi nyata dari prinsip ekonomi sirkular, di mana residu satu proses produksi dikonversi menjadi *input* yang bernilai bagi proses atau sektor lain.

Nilai tambah dari pemanfaatan *Sludge* sebagai kompos dapat dianalisis dari tiga dimensi:

a. Dimensi Lingkungan

Pengurangan volume limbah B3 yang harus dikelola dan dibuang secara formal. Berdasarkan data *logbook*, setiap *batch Sludge* sekitar 91 kg berhasil dimanfaatkan sebagai kompos, yang berarti tidak ada *Sludge* yang berakhir di TPA (tempat pembuangan akhir) atau dibakar, dua opsi yang memiliki jejak lingkungan jauh lebih besar.

b. Dimensi Ekonomi

Sludge yang dimanfaatkan sebagai kompos mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia yang harganya fluktuatif. Berdasarkan asumsi konservatif, 1 ton *Sludge* dapat menghasilkan sekitar 0,5–0,7 ton kompos matang (setelah susut kadar air) dengan nilai pasar pupuk kompos organik berkisar Rp 1.500–2.500 per kg (asumsi harga pasar 2025). Dengan demikian, pemanfaatan *Sludge* tidak hanya mengurangi biaya pembuangan tetapi juga berpotensi menghasilkan pendapatan atau penghematan biaya *input* pertanian.

c. Dimensi Reputasi dan Regulasi

Perusahaan yang berhasil menunjukkan pengelolaan limbah B3 yang bertanggung jawab dan inovatif memiliki keunggulan dalam aspek kepatuhan regulasi, yang berdampak pada kelancaran proses perizinan dan



audit lingkungan, serta meningkatkan reputasi di mata pelanggan korporat (B2B) yang semakin memperhatikan aspek keberlanjutan rantai pasok (Yolanda & Sisdiyanto, 2025).

D. Analisis Pencatatan Manual & Digitalisasi Penuh

Meskipun sistem pencatatan yang diterapkan PT Supra Natami Utama sudah mencakup *logbook* harian dan pelaporan digital ke SIMPEL, analisis mendalam mengungkap adanya kesenjangan (*gap*) antara kedua sistem tersebut yang perlu mendapat perhatian. Proses yang diamati selama magang menunjukkan bahwa data dari *logbook* manual perlu di *input* secara manual ke sistem SIMPEL, yang berarti terdapat dua tahap pencatatan yang berpotensi menimbulkan inkonsistensi atau kesalahan entri data (*human error*). Kesenjangan ini relevan dibandingkan dengan standar terbaik (*best practice*) industri manufaktur yang telah mengadopsi sistem pemantauan terintegrasi berbasis *Internet of Things* (IoT), di mana sensor suhu, pH, dan parameter lainnya terhubung langsung ke sistem pencatatan digital yang secara otomatis meng-*update logbook* dan laporan regulasi secara *real-time* (Soetedjo et al., 2022). Adopsi teknologi semacam ini tidak hanya meningkatkan akurasi data, tetapi juga memungkinkan deteksi dini anomali dalam proses IPAL yang dapat berdampak pada kualitas pengelolaan limbah (Chavhan et al., 2025). Perbandingan antara sistem yang diterapkan PT Supra Natami Utama dengan standar terbaik industri disajikan dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Perbandingan Sistem Pengelolaan Limbah *Sludge* PT Supra Natami Utama dengan *Best Practice* Industri

Aspek	Kondisi Aktual PT SNU	<i>Best Practice</i> Industri
Pencatatan	Manual (<i>logbook</i> kertas dan Excel)	Otomatis via IoT sensor terintegrasi
Pemantauan Suhu	Berkala manual (termometer digital)	<i>Real-time</i> via sensor suhu terhubung SCADA
Pelaporan Regulasi	Semi-digital (<i>input</i> manual ke SIMPEL)	Otomatis via API ke sistem SIMPEL
Pemanfaatan <i>Sludge</i>	Kompos (ekonomi sirkular)	Kompos + biogas + <i>biomaterial</i> lanjutan
Kapasitas SDM Lingkungan	Terintegrasi dalam HRGA	Divisi khusus EHS (<i>Environment, Health, Safety</i>)
Audit Trail	<i>Logbook</i> + dokumen manifes	Digital audit trail otomatis terenkripsi

E. Potensi Pengembangan *Green industry* 4.0

Analisis terhadap sistem pengelolaan limbah yang ada di PT Supra Natami Utama mengidentifikasi beberapa potensi pengembangan strategis yang dapat memperkuat posisi perusahaan sebagai industri pangan yang berkelanjutan:

- 1) Digitalisasi Penuh Sistem Pemantauan IPAL: Implementasi sensor IoT untuk parameter suhu, pH, TSS, dan COD yang terhubung ke *dashboard* digital *real-time*. Sistem ini tidak hanya meningkatkan akurasi data tetapi juga memungkinkan respons cepat terhadap anomali proses (Kainama & Purnomo, 2025).
- 2) Pengembangan Fasilitas Pengomposan Terpadu: Pembangunan unit pengomposan *in-house* yang terstandarisasi akan memungkinkan perusahaan mengontrol kualitas kompos yang dihasilkan, berpotensi menghasilkan



produk kompos bersertifikat yang dapat dipasarkan secara komersial kepada petani atau perusahaan agribisnis (Aik et al., 2024).

- 3) Eksplorasi Potensi Biogas: *Sludge* dengan kandungan organik tinggi berpotensi diolah menjadi biogas melalui proses digesti anaerobik. Biogas yang dihasilkan dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif untuk operasional pabrik, mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan menurunkan biaya energi secara berkelanjutan (Wattimena, 2024).
- 4) Sertifikasi Lingkungan: Perolehan sertifikasi ISO 14001 (Sistem Manajemen Lingkungan) akan memformalkan dan memperkuat sistem pengelolaan lingkungan yang sudah berjalan, sekaligus meningkatkan daya saing perusahaan di pasar ekspor yang semakin ketat terhadap standar lingkungan.

4. SIMPULAN

Berdasarkan pengalaman magang di departemen HRGA PT Supra Natami Utama, terdapat beberapa temuan utama terkait pengelolaan limbah *sludge* IPAL yang dapat disimpulkan. Penulis mengamati dan terlibat langsung dalam sistem pengelolaan limbah *sludge* yang telah berjalan secara terstruktur, mencakup pencatatan manual melalui *logbook* harian, pemantauan parameter suhu secara berkala, serta pelaporan digital ke sistem SIMPEL KLHK, yang mencerminkan komitmen nyata perusahaan terhadap kepatuhan regulasi lingkungan. Penulis juga menemukan bahwa *sludge* hasil IPAL secara konsisten dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk kompos sebagai implementasi nyata prinsip ekonomi sirkular, memberikan nilai tambah ganda berupa berkurangnya volume limbah B3 sekaligus potensi substitusi pupuk kimia yang bernilai ekonomis. Di sisi lain, integrasi fungsi pengelolaan lingkungan ke dalam satu departemen HRGA yang penulis rasakan langsung selama magang menunjukkan efisiensi koordinasi yang baik, namun juga menimbulkan beban kerja yang besar. Kesenjangan antara pencatatan manual dan digitalisasi penuh masih menjadi tantangan nyata yang mengindikasikan perlunya perbaikan sistematis ke depan.

5. PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penyelesaian penelitian ini. Terima kasih kepada PT Supra Natami Utama, khususnya seluruh staf departemen HRGA, supervisor sanitasi, dan staf WWTP yang telah menerima penulis dengan baik selama kegiatan magang berlangsung serta bersedia berbagi pengetahuan dan pengalaman secara terbuka. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Universitas Nusa Putra, khususnya Program Studi Manajemen Fakultas Bisnis, Hukum dan Humaniora, atas penyelenggaraan program magang yang memberikan kesempatan bagi mahasiswa untuk memperoleh pengalaman kerja nyata di dunia industri. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Dr. Mulus Wijaya Kusuma selaku pembimbing utama yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama proses penyusunan laporan, serta kepada seluruh keluarga dan rekan-rekan yang senantiasa memberikan dukungan moral selama penelitian ini berlangsung.

REFERENSI

Aik, D., Kecamatan, B., Utara, B., Tengah, K. L., Dwiguna, D. K., Putu, N., Indrarani, S., Indah, M., Hati, P., Okan, K., & Tritama, S. (2024). Implementasi Pembuatan Pupuk Kompos Menuju Pertanian Berkelanjutan Di Desa Aik Bukaq



- Kecamatan Batukliang Utara Kabupaten Lombok Tengah. *Jurnal Wicara Desa*, 2(5), 338–343.
- Chavhan, N., Bhattad, R., Khot, S., Patil, S., & Pawar, A. (2025). Apah : An Autonomous Iot Driven Real-Time Monitoring System For Industrial Wastewater. *Digital Chemical Engineering*, 14(1), 100–117. <https://doi.org/10.1016/J.Dche.2025.100217>
- Handayani, N. I. (2021). Potensi Limbah Sludge Lumpur Aktif Industri Makanan Minuman Sebagai Bahan Baku Pupuk Organik Dengan Bantuan Larva Black Soldier Fly. *Seminar Nasional Sains Dan Entrepreneurship*, 4(1), 202–206.
- Hidayat, H., & Hamzah, A. H. P. (2024). Implementasi Konsep Ekonomi Sirkular Untuk Mewujudkan Industri Karet Remah Berkelanjutan. *Jgg-Jurnal Green Growth Dan Manajemen Lingkungan*, 14(01), 1–15.
- Kainama, M. D., & Purnomo, H. D. (2025). Implementasi Sistem Monitoring Kualitas Air Berbasis Iot Pada Penampung Mata Air Di Daerah Larier Ambon. *Aiti: Jurnal Teknologi Informasi*, 22(2), 206–220.
- Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan (Klkh). (2020). Panduan Penggunaan Sistem Sempel Untuk Pelaporan Pengelolaan Lingkungan Hidup Industri. Klhk.
- Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan (Klkh). (2021). Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Sekretariat Negara Republik Indonesia
- Pratopo, L. H., Thoriq, A., Ciptaningtyas, D., & Rifaldhy, M. (2024). Optimasi Pengolahan Limbah Cair Industri Nata De Coco Menggunakan Fine Bubble Diffuser Berbasis Membrane. *Jtep: Jurnal Keteknik Pertanian*, 12(2), 117–127. <https://doi.org/10.19028/Jtep.012.1.117-127>
- Putridan, A. P., & Sukandar. (2020). Studi Pemanfaatan Limbah B3 Sludge Produced Water Sebagai Bahan Baku Refuse Derived Fuel (Rdf). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 19(1), 1–10.
- Soetedjo, A., Hendriarianti, E., Mustofa, A., Wijayanto, F. Y., Wibowo, S. A., Novrian, J., Nugroho, A. B., Roby, M. F., Dewi, O. V., & Apriliansyah, R. S. (2022). Real-Time Implementation Of Wastewater Monitoring System On The Communal Wastewater Treatment Plant Using The Iot Technology. *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*, 10(1), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1030/1/012006>
- Sularto, D. J., Nilandita, W., Auvaria, S. W., & Ratnawati, R. (2025). Evaluasi Kualitatif Operasional Dan Pemeliharaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (Ipal) Di Rumah Sakit X. *Teknik Lingkungan Universitas Mulawarman*, 9(2), 31–44.
- Teguh, T., Hirza, B., Hartati, H., Daiana, M., Kushendar, K., Ngali, M., & Makmum, Z. (2023). Pemanfaatan Limbah Air Kelapa Menjadi Nata De Coco Dengan Menggunakan Toge Biji Kacang Hijau. *Jurnal Pengabdian Multidisiplin*, 3(2), 0–6.
- Wattimena, A. N. (2024). Pengolahan Sludge Ipal Industri Kue Dan Makanan Ringan Dengan Metode Composting. *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*, 2(4), 88–92.
- Wijayanti, E. (2019). Peningkatan Ekonomi Masyarakat Melalui Home Industry Nata De Coco Berbasis Potensi Lokal. *Jurnal Abdi: Media Pengabdian Kepada Masyarakat*, 19(1), 37–48.
- Yin, R. K. (2018). *Case Study Research And Applications: Design And Methods (6th Ed.)*.
- Yolanda, V., & Sisdiyanto, E. (2025). Pengelolaan Limbah Berbahaya Dengan Csr : Studi Vanes Yolanda. *Jurnal Ilmiah Ekonomi Bisnis Dan Akuntansi*, 2(1), 245–256.