



Pemanfaatan Limbah Lumpur (Sludge) Hasil Eksplorasi Minyak Bumi Sebagai Bahan Baku Pupuk Organik

Nindy Daviny¹, Tengku Nurhidayah², Rahman Karnila³, Budijono Budijono⁴ dan Dhea Oktama Rivaldo⁵

Universitas Riau, Indonesia^{1,2,3,4}

Lembaga Riset Ekologi, Indonesia⁵

Emails: davinynindy@gmail.com, tengku.nurhidayah@lecturer.unri.ac.id, karnilarahman@gmail.com, budijono@lecturer.unri.ac.id, oktamarivaldo@gmail.com

Kata Kunci

Kompos, Limbah Kulit Nanas, Oil & Gas, Pemanfaatan Sludge, Pupuk Organik

ABSTRAK

Limbah *sludge* dari industri minyak bumi menimbulkan masalah lingkungan akibat penimbunan. Inovasi diperlukan untuk mengubahnya menjadi pupuk kompos bernilai ekonomi, dengan memanfaatkan kulit nanas sebagai sumber nutrisi dan pendegradasi polutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi *sludge* sebagai pengganti tanah dalam kompos berbasis kulit nanas, dengan parameter pH dan suhu sesuai SNI. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif-deskriptif dengan 12 komposter (4 perlakuan rasio *sludge*-tanah: 0:8, 2:6, 4:4, 6:2 kg) selama 12 minggu. Data pH dan suhu dianalisis dengan regresi linear. Semua komposter memenuhi standar pH (SNI 7763:2018) pada minggu ke-8 dan ke-12, serta suhu (SNI 19-7030-2004) pada minggu ke-4, -8, dan -12. *Sludge* mempercepat kenaikan pH dan menstabilkan suhu. Penelitian membuktikan *sludge* minyak bumi dapat dijadikan bahan kompos ramah lingkungan, dengan rekomendasi optimasi komposisi, uji logam berat, dan integrasi teknologi seperti *vermicomposting* untuk penelitian selanjutnya.

Keywords:

Compost, Pineapple Peel Waste, Oil & Gas, Sludge Utilization, Organic Fertilizer

ABSTRACT

Sludge waste from the petroleum industry causes environmental problems due to landfilling. Innovation is needed to turn it into compost fertilizer with economic value, by utilizing pineapple peel as a source of nutrients and degrading pollutants. This study aims to determine the potential for sludge as a soil substitute in pineapple peel-based compost, with pH and temperature parameters according to SNI. This study used a quantitative-descriptive method with 12 composters (4 sludge-soil ratio treatments: 0:8, 2:6, 4:4, 6:2 kg) for 12 weeks. pH and temperature data were analyzed by linear regression. All composters meet the pH standard (SNI 7763:2018) in the 8th and 12th weeks, as well as the temperature (SNI 19-7030-2004) in the 4th, -8th, and -12th weeks. Sludge accelerates the rise in pH and stabilizes the temperature. Research proves that petroleum sludge can be used as environmentally friendly composting material, with recommendations for composition optimization, heavy metal testing, and the integration of technologies such as vermicomposting for future research.

PENDAHULUAN

Padatnya aktivitas pengeboran pada perusahaan minyak bumi dan gas alam mengandung peluang dan risiko. Peluangnya adalah semakin meningkatnya pendapatan negara dari aktivitas sektor ini, namun risiko kerusakan lingkungan juga semakin meningkat. Aktivitas pengeboran minyak bumi membutuhkan penanganan khusus untuk berbagai jenis limbah yang dihasilkan (Anggraini et al., 2019; Fatra & Suwignyo, 2020; Said & Syaifei, 2022). *Sludge* yang menjadi salah satu produk sampingan aktivitas sektor migas membutuhkan biaya yang besar untuk penimbunannya. Permasalahan *sludge* membutuhkan inovasi untuk mengatasinya.

Inovasi yang ditawarkan pada penelitian ini adalah memanfaatkan *sludge* menjadi pupuk kompos sehingga memiliki nilai guna untuk sektor pertanian (Batool et al., 2024; Zheng et al., 2020). *Sludge* memiliki jumlah yang berlimpah sebagaimana menurut penelitian dari Nursamsi et al. (2022) *sludge* yang dihasilkan dari satu fasilitas IPAL setiap bulannya sekitar 240m³. Keberlimpahan *sludge* berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai pengganti tanah dalam pembuatan pupuk kompos. Hal ini dapat diwujudkan apabila terdapat cara efektif untuk pengaplikasiannya. *Sludge* tidak bisa diaplikasikan secara langsung menjadi pupuk kompos. *Sludge* membutuhkan nutrisi dan pemecah bahan pencemar yang dikandungnya yaitu dengan menambahkan kulit nanas. Rafidah et al. (2023) menjelaskan bahwa kulit nanas memiliki nilai NPK yang optimal untuk menutrisi tanah yaitu 953, 191 mg/l Nitrogen (N), 58,5154 mg/l Phosphorous (P) dan 1275 mg/l Potassium (K).

Beberapa penelitian telah dilakukan tentang pemanfaatan *sludge* dari perusahaan minyak bumi dan gas alam. Penelitian dari Andhika dan Effendi (2018) menjelaskan bahwa *sludge* dari sektor migas berpotensi menjadi pupuk kompos dan pembenah tanah dikarenakan tingginya karbon organik pada *sludge*. Hasil penelitian menunjukkan pupuk kompos efektif diujikan pada tanaman rumput gajah dan Pakchoy dengan standar PERMENTAN 70/2011. Penelitian dari Juliani dan Rahman (2015) menjelaskan bahwa penggunaan kompos pada *oil sludge* terbukti meningkatkan degradasi *Total Petroleum Hydrocarbons* (TPH) dengan pemberian dosis kompos 10% jauh lebih efektif dibandingkan dengan yang 5%. Keunggulan dari kulit nanas dalam mendegradasi kandungan minyak bumi juga dijelaskan oleh penelitian dari Pramesti dan Fitrihidajati (2022) bahwa kulit nanas berpengaruh besar terhadap penurunan kadar TPH. Hasil penelitian yaitu terdapat penurunan TPH dari 70,67% menjadi 60%.

Penelitian terkait pemanfaatan kulit nanas dengan spesifikasi dari *sludge* berasal dari perusahaan minyak bumi dan gas alam masih sangat minim. Hal ini juga didukung berdasarkan pemaparan dari penelitian sebelumnya, peneliti termotivasi untuk memanfaatkan *sludge* dibarengi dengan kulit nanas menjadi pupuk kompos. Parameter yang digunakan untuk mengukur potensinya adalah pH (derajat keasaman) dan temperatur. Penelitian ini juga beracuan dengan SNI 7763:2018 dan SNI 19-7030-2004.

Penelitian ini memiliki beberapa kebaruan dibandingkan penelitian sebelumnya: (1) Berbeda dengan Andhika dan Effendi (2018) yang hanya memanfaatkan *sludge* sebagai

pembenah tanah, penelitian ini mengombinasikan sludge dengan limbah kulit nanas untuk meningkatkan nutrisi (NPK) dan mendegradasi TPH (Rafidah et al., 2023; Pramesti-Fitrihidajati, 2022); (2) Sementara Juliani-Rahman (2015) berfokus pada degradasi TPH, penelitian ini mengevaluasi pH dan temperatur berdasarkan SNI 7763:2018 dan SNI 19-7030-2004 dengan variasi rasio sludge-tanah; (3) Berbeda dengan Witasari et al. (2021) yang menguji activated sludge bioetanol, penelitian ini menganalisis kinetika pH dan suhu sludge minyak bumi melalui regresi linear, suatu pendekatan yang masih jarang dalam studi sejenis.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini berjenis penelitian deskriptif-kuantitatif yang bertumpu pada data primer dari observasi dan eksperimen murni. Bahan utama pada penelitian yaitu sebagai berikut *sludge*, kulit nanas, tanah, larutan gula merah dan aktivator *Effective Microorganism 4*. *Sludge* diambil dari fasilitas IPAL pemboran minyak bumi, limbah kulit nanas didapatkan dari pedagang nanas di Kelurahan Simpang Tiga Pekanbaru dan tanah didapatkan dari pedagang tanaman hias di Kelurahan Simpang Tiga Pekanbaru.

Eksperimen dilakukan dengan empat perlakuan yaitu S_0 , S_1 , S_2 dan S_3 dengan masing-masing terdapat tiga perulangan. Kriteria S_0 adalah sebagai kontrol (8 kilogram tanah), kriteria S_1 adalah 2 kilogram *sludge* dan 6 kilogram tanah, kriteria S_2 adalah 4 kilogram *sludge* dan 4 kilogram tanah dan kriteria S_3 adalah 6 kilogram *sludge* dan 2 kilogram tanah. Pupuk kompos dibuat dengan menggabungkan seluruh material utama dan diuji perkembangannya setiap minggu. Data penelitian ini diambil pada minggu ke -0, -4, -8 dan -12. Tujuan dilakukan pengambilan data adalah untuk mengetahui potensi *sludge* menjadi pupuk kompos dengan parameter yang diujikan adalah pH dan temperatur. Pengukuran dilakukan menggunakan pH dan termometer digital. Analisis data menggunakan regresi linear sederhana dan dibandingkan nilai pH terhadap SNI 7763:2018 dan temperatur terhadap SNI 19-7030-2004.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Derajat Keasaman

Hasil uji derajat keasaman dibandingkan dengan SNI 7763:2018 yang dimana nilai pH yang memenuhi persyaratan adalah 4 sampai 9 sebagai pupuk kompos padat.

1. Hasil uji derajat keasaman minggu ke-0: hasil uji menunjukkan bahwa hanya Komposter S_2 dan S_3 yang memenuhi persyaratan.

Tabel 1. Hasil uji derajat keasaman minggu ke-0

No.	Nama Komposter	Uji Ulangan pH ke-			Rata-Rata pH
		I	II	III 7853	
1.	S_0	3.0	3.0	3.2	3.1
2.	S_1	3.9	3.3	3.1	3.43
3.	S_2	4.0	3.9	4.0	4.0

4.	S ₃	4.0	3.9	4.0	4.0
----	----------------	-----	-----	-----	-----

2. Hasil uji derajat keasaman minggu ke-4: hasil uji menunjukkan bahwa hanya Komposter S₁, S₂ dan S₃ yang memenuhi persyaratan.

Tabel 2. Hasil uji derajat keasaman minggu ke-4

No.	Nama Komposter	Uji Ulangan pH ke-			Rata-Rata pH
		I	II	III	
1.	S ₀	3.0	3.0	3.0	3.0
2.	S ₁	4.2	4.0	4.0	4.07
3.	S ₂	5.0	5.0	4.9	4.97
4.	S ₃	5.0	5.0	4.9	4.97

3. Hasil uji derajat keasaman minggu ke-8: hasil uji menunjukkan bahwa seluruh Komposter S₀, S₁, S₂ dan S₃ memenuhi persyaratan.

Tabel 3. Hasil uji derajat keasaman minggu ke-8

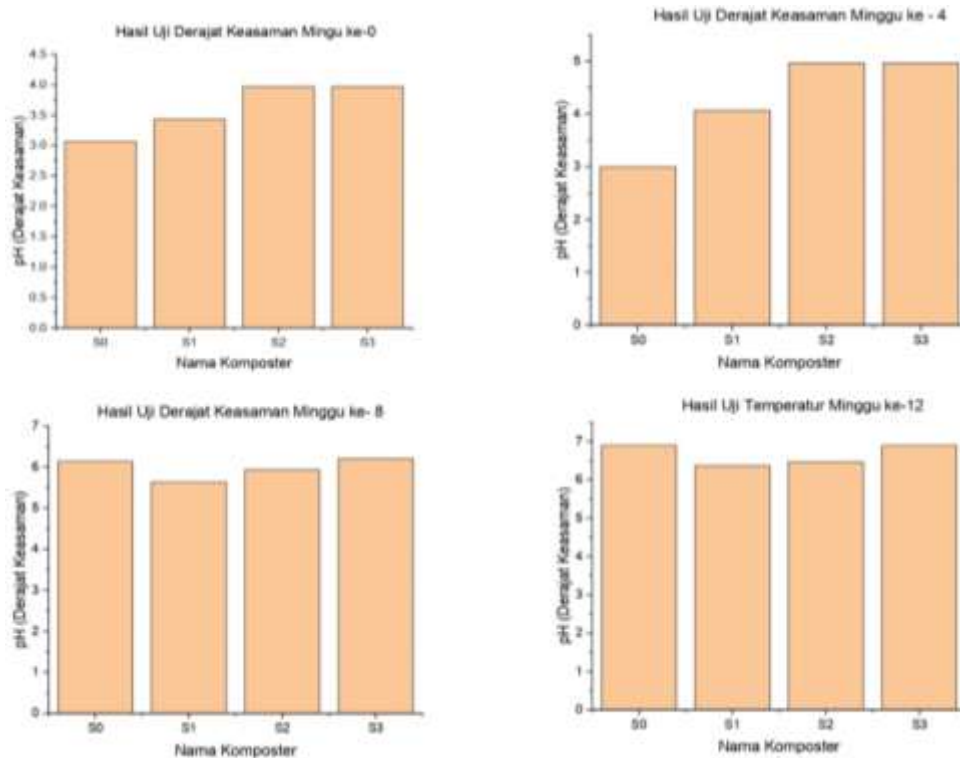
No.	Nama Komposter	Uji Ulangan pH ke-			Rata-Rata pH
		I	II	III	
1.	S ₀	6.0	6.2	6.2	6.13
2.	S ₁	5.5	5.5	5.9	5.63
3.	S ₂	5.9	5.9	6.0	5.93
4.	S ₃	6.2	6.2	6.2	6.2

4. Hasil uji derajat keasaman minggu ke-12: hasil uji menunjukkan bahwa seluruh Komposter S₀, S₁, S₂ dan S₃ memenuhi persyaratan.

Tabel 4. Hasil uji derajat keasaman minggu ke-12

No.	Nama Komposter	Uji Ulangan pH ke-			Rata-Rata pH
		I	II	III	
1.	S ₀	6.9	6.9	6.9	6.9
2.	S ₁	6.4	6.5	6.2	6.37
3.	S ₂	6.4	6.5	6.5	6.47
4.	S ₃	6.9	6.9	6.9	6.9

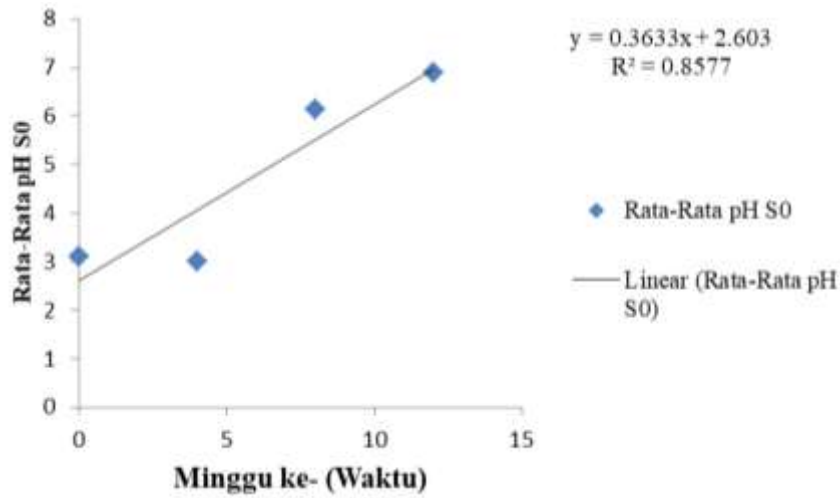
Pemanfaatan Limbah Lumpur (Sludge) Hasil Eksplorasi Minyak Bumi Sebagai Bahan Baku Pupuk Organik



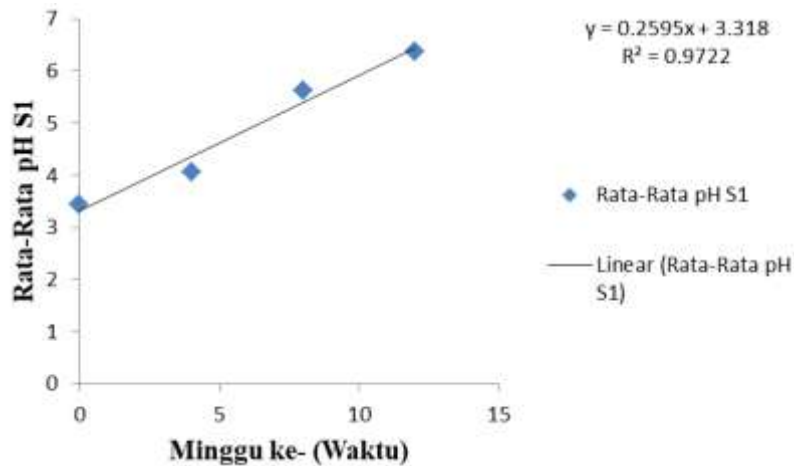
Gambar 1. Grafik hasil uji derajat keasaman pada minggu ke-0,-4,-8 dan -12

Jika ditinjau dari laju percepatan kenaikan nilai pH, maka dapat disimpulkan bahwa S₀ dan S₁ lebih lambat dibandingkan komposter lainnya. Penambahan *sludge* mempengaruhi kecepatan dari kenaikan derajat keasaman. Hal ini berelasi dengan penelitian dari Witasari *et al.* (2021) bahwa penambahan *sludge* dalam pengomposan dapat meningkatkan nilai pH. Penyebab terjadinya peningkatan nilai pH adalah aktivitas mikroorganisme yang berproses pada pH sedikit asam hingga netral. Selama proses penelitian berlangsung pada proses pembuatan pupuk kompos, peneliti melakukan pengadukan setiap minggu hingga pada minggu ke-12. Tujuan dari pengadukan ini adalah memberikan ketersediaan oksigen (aerasi) sehingga mikroorganisme dapat lebih mudah menguraikan bahan-bahan organik pada pupuk kompos (Zhang *et al.*, 2020).

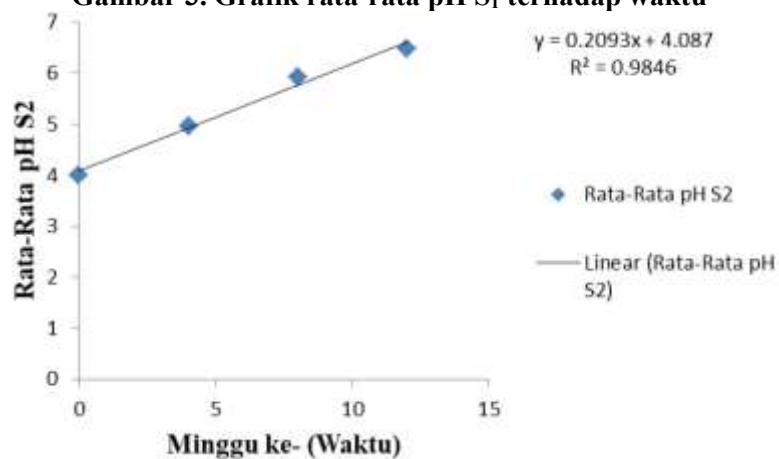
5. Hasil uji regresi linear sederhana pada rata-rata pH



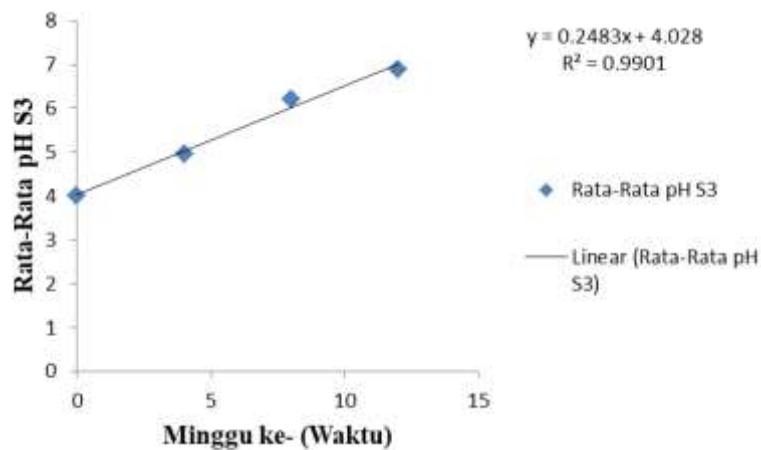
Gambar 2. Grafik rata-rata pH S₀ terhadap waktu



Gambar 3. Grafik rata-rata pH S₁ terhadap waktu



Gambar 4. Grafik rata-rata pH S₂ terhadap waktu



Gambar 5. Grafik rata-rata pH S₃ terhadap waktu

Berdasarkan nilai yang didapatkan dari hasil uji derajat keasaman bahwa seluruh komposter mengalami kenaikan pH seiring dengan waktu proses pengomposan setiap empat minggu. Kenaikan pH seiring dengan tingkat kematangan dari pupuk kompos. Hasil penelitian ini berelasi dengan penjelasan dari penelitian Kaswinarni dan Nugraha (2022) bahwa nilai pH dari rentang 6,3 hingga 7,0 sudah memenuhi nilai SNI. Penelitian pada minggu ke-12 sudah dapat dinyatakan bahwa pupuk kompos mengalami kematangan paling optimal karena seluruh komposter yang sudah memenuhi persyaratan.

Hasil uji regresi linear sederhana menunjukkan bahwa pada Gambar 2 grafik rata-rata pH S₀ terhadap waktu memiliki titik-titik data yang masih berjauhan dari garis regresi linear. Jika ditinjau, bahwa rata-rata pH S₀ terhadap waktu memiliki nilai yang belum dekat dengan nilai aktualnya. Perbedaan signifikan ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5 bahwa titik-titik data mendekati garis regresi linear. Hal ini dapat diartikan bahwa prediksi dari model regresi mendekati nilai sebenarnya dan memiliki residual (*error*) yang kecil. Nilai koefisien R² semakin mendekati nilai 1, maka grafik semakin layak menunjukkan hubungan antara variabel.

Hasil Uji Temperatur

Hasil uji temperatur dibandingkan dengan SNI 19-7030-2004 yang dimana nilai temperatur yang memenuhi persyaratan adalah berada pada suhu air tanah dengan satuan derajat celcius. Suhu air tanah berpatokan pada penelitian sebelumnya yaitu Sejati dan Panji (2024) yang mengungkapkan bahwa kisaran suhu air tanah dengan pengukuran kedalaman tanah kurang dari 3,5 meter adalah 25–28,5°C. Melalui interval temperatur ini, maka dibandingkan dengan hasil eksperimen dari uji temperatur pupuk kompos

- 1. Hasil uji temperatur minggu ke-0:** hasil uji menunjukkan bahwa tidak ada satupun komposter yang memenuhi persyaratan. Hal ini disebabkan karena pada minggu ke-0 dengan hari yang sama dalam pembuatan pupuk kompos belum ada terjadi proses pematangan. Proses dekomposisi baru dimulai pada fase ini yang dimana berhubungan dengan penjelasan dari penelitian sebelumnya yaitu Kusuma dan Silitonga (2013) bahwa pada hari pertama aktivitas mikroorganisme belum mampu menguraikan bahan-bahan organik pada pupuk kompos.

Tabel 5. Hasil uji temperatur minggu ke-0

No.	Nama Komposter	Uji Ulangan Temperatur ke-			Rata-Rata Temperatur
		I	II	III	
1.	S ₀	29.7	30.0	30.1	29.90
2.	S ₁	30.1	30.5	30.5	30.37
3.	S ₂	29.9	30.6	30.3	30.3
4.	S ₃	29.7	29.6	29.5	29.60

2. **Hasil uji temperatur minggu ke-4:** hasil uji menunjukkan bahwa seluruh komposter memenuhi persyaratan.

Tabel 6. Hasil uji temperatur minggu ke-4

No.	Nama Komposter	Uji Ulangan Temperatur ke-			Rata-Rata Temperatur
		I	II	III	
1.	S ₀	27.40	27.10	27.30	27.27
2.	S ₁	27.30	27.30	27.30	27.30
3.	S ₂	27.20	27.40	27.40	27.33
4.	S ₃	27.60	27.30	27.30	27.40

3. **Hasil uji temperatur minggu ke-8:** hasil uji menunjukkan bahwa seluruh komposter memenuhi persyaratan.

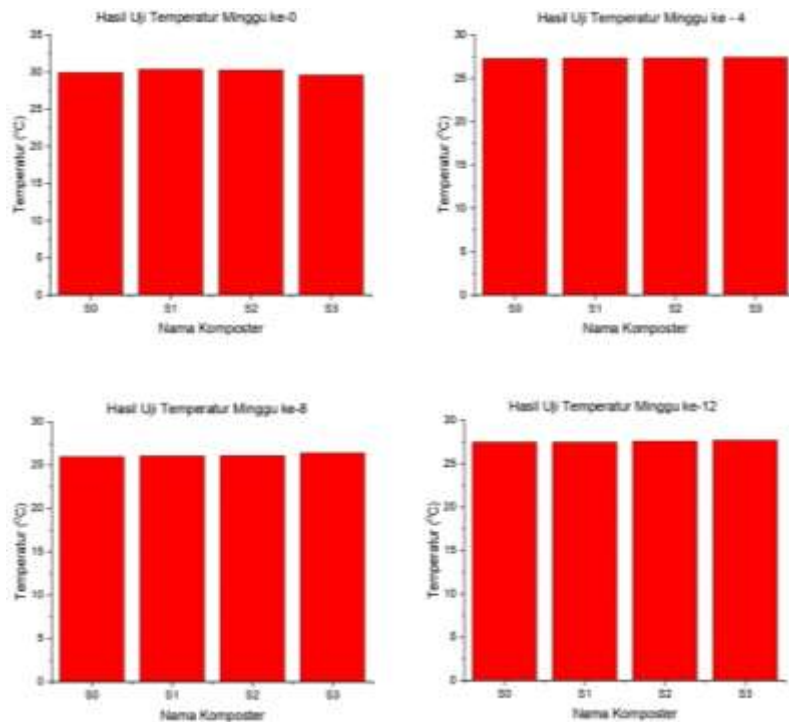
Tabel 7. Hasil uji temperatur minggu ke-8

No.	Nama Komposter	Uji Ulangan Temperatur ke-			Rata-Rata Temperatur
		I	II	III	
1.	S ₀	25.90	26.00	26.00	25.97
2.	S ₁	26.00	26.10	26.10	26.07
3.	S ₂	26.00	26.10	26.20	26.10
4.	S ₃	26.40	26.30	26.50	26.40

4. **Hasil uji temperatur minggu ke-12:** hasil uji menunjukkan bahwa seluruh kompoter memenuhi persyaratan.

Tabel 8. Hasil uji temperatur minggu ke-12

No.	Nama Komposter	Uji Ulangan Temperatur ke-			Rata-Rata Temperatur
		I	II	III	
1.	S ₀	27.70	27.60	27.50	27.50
2.	S ₁	27.50	27.50	27.50	27.50
3.	S ₂	27.60	27.60	27.60	27.60
4.	S ₃	27.70	27.70	27.70	27.70



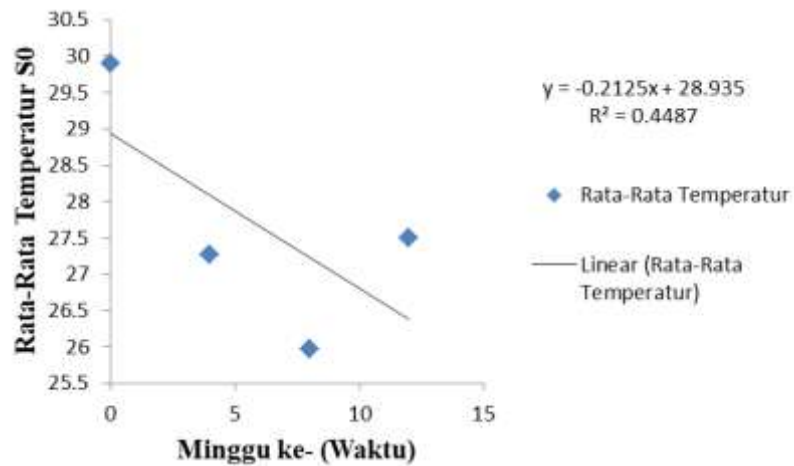
Gambar 6. Grafik hasil uji temperatur pada minggu ke-0,-4,-8 dan -12

Berdasarkan hasil eksperimen bahwa pada minggu ke-4, -8 dan -12 sudah memenuhi persyaratan, namun indikator temperatur saja tidak cukup menjadi patokan untuk mengukur tingkat kematangan pada pupuk kompos. Oleh sebab itu, peneliti membutuhkan uji derajat keasaman juga sebagai patokan untuk mengukur kematangan pupuk kompos. Data eksperimen juga tidak menunjukkan fase-fase termofilik. Hal ini dikarenakan pada penelitian, fase termofilik terjadi pada hari ke-2 dan hari ke-3 pada proses pengomposan. Penelitian dari Madrini dan Sulastri (2019) menjelaskan bahwa fase termofilik tercapai ketika pada proses pengomposan di hari ke-2 yang dimana suhu optimal yang dapat dicapai adalah 55°C

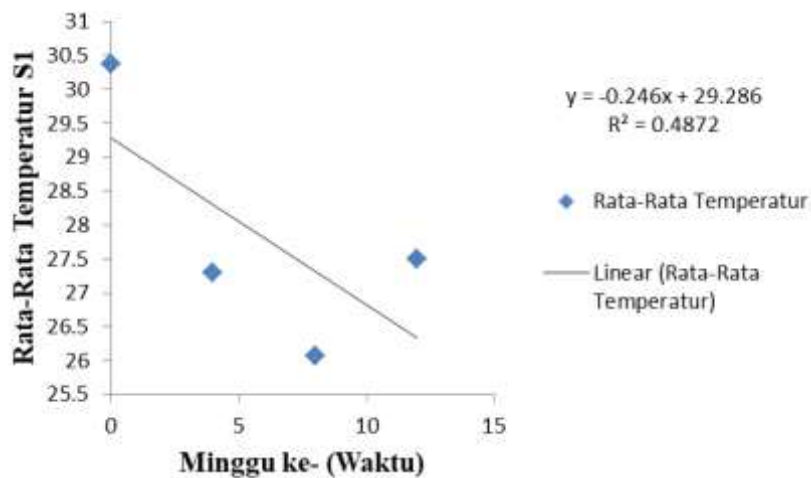
5. Hasil uji regresi linear sederhana pada rata-rata temperatur

Hasil uji regresi linear sederhana pada rata-rata temperatur menunjukkan bahwa terjadi penurunan temperatur pada masing-masing komposter. Hal ini dikarenakan adanya perubahan fase dari termofilik ke fase mesofilik. Fase ini lumrah terjadi pada proses pengomposan, terlebih lagi ketika sudah melewati hari ke-2 dan hari ke-3 (fase

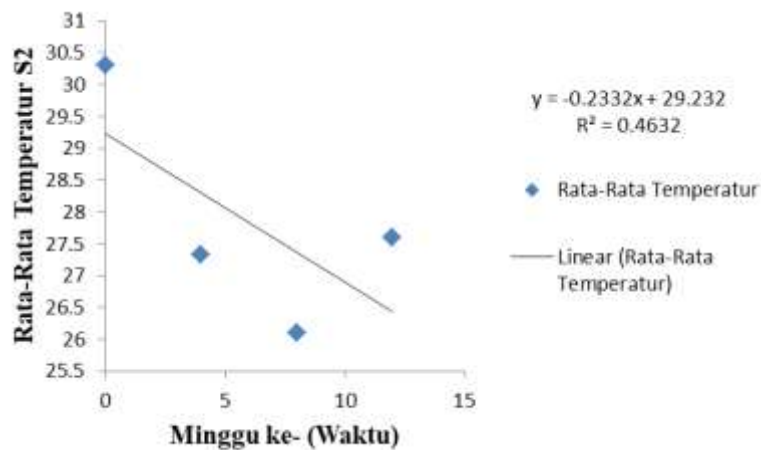
termofilik pada penelitian). Grafik regresi linear pada uji temperatur memiliki titik-titik data yang berjauhan dengan garis regresi, sehingga model regresi linearnya belum representatif terhadap hubungan variabel waktu dan rata-rata temperatur. Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai temperatur dari pupuk kompos adalah penggunaan aktivator, jenis material organik pada kompos dan sistem aerasi yang terjadi selama proses pengomposan.



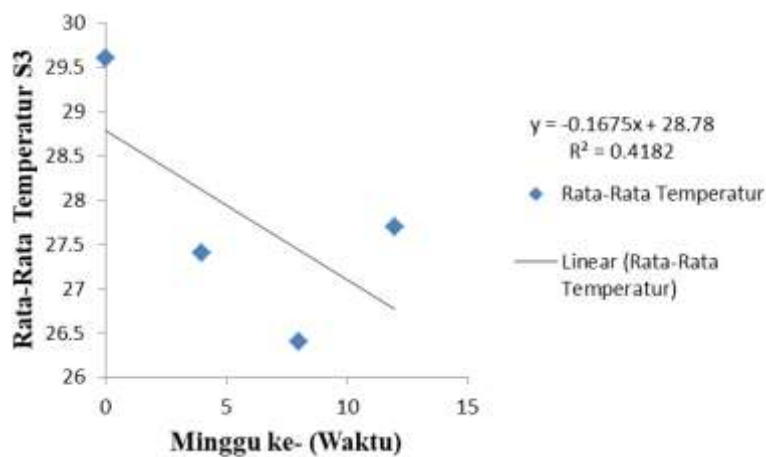
Gambar 7. Grafik rata-rata temperatur S_0 terhadap waktu



Gambar 8. Grafik rata-rata temperatur S_1 terhadap waktu



Gambar 9. Grafik rata-rata temperatur S₂ terhadap waktu



Gambar 10. Grafik rata-rata temperatur S₃ terhadap waktu

KESIMPULAN

Sludge dari fasilitas IPAL pemboran minyak bumi berpotensi sebagai bahan pengganti tanah dalam pembuatan pupuk kompos, tetapi memerlukan aplikasi yang tepat untuk meningkatkan nutrisi dan mendegradasi bahan pencemar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada minggu ke-8 dan ke-12, semua variasi komposter telah memenuhi standar pH (SNI 7763:2018), di mana sludge terbukti mempercepat kenaikan pH dan suhu (sesuai SNI 19-7030-2004 pada minggu ke-4, -8, dan -12). Untuk penelitian selanjutnya, disarankan: (1) optimasi komposisi sludge dengan bahan organik lain (limbah pertanian, kotoran hewan, atau biochar) dan penambahan mikroorganisme decomposer; (2) analisis kualitas kompos (logam berat, C-organik, uji fitotoksitas, dan uji agronomis); (3) studi kinetika dan pemodelan proses pengomposan; (4) pra-perlakuan sludge (pencucian, aerasi, atau adsorben alami) untuk mengurangi polutan; (5) uji skala pilot dan aplikasi lapangan; (6) analisis kelayakan ekonomi dan regulasi (AMDAL); serta (7) integrasi teknologi seperti vermicomposting atau bioremediasi. Dengan demikian, penelitian mendatang dapat menyempurnakan proses, menjamin keamanan lingkungan, dan meningkatkan nilai aplikasi sludge sebagai bahan baku kompos.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, D. A., Effendi, H., & Krisanti, M. (2019). Uji toksisitas akut (LC50) limbah pengeboran minyak bumi terhadap *Daphnia magna*. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (Journal of Environmental Sustainability Management)*. <https://doi.org/10.36813/jplb.3.1.272-284>
- Andhika, S., & Effendi, A. J. (2018). Pemanfaatan hasil pengolahan sludge produced water industri LNG sebagai fertiliser atau pembenah tanah. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 24(2), 93–100.
- Batool, F., Kurniawan, T. A., Mohyuddin, A., Othman, M. H. D., Aziz, F., Al-Hazmi, H. E., Goh, H. H., & Anouzla, A. (2024). Environmental impacts of food waste management technologies: A critical review of life cycle assessment (LCA) studies. *Trends in Food Science and Technology*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104287>
- Fatra, F., & Suwignyo, J. (2020). Analisa pengaruh penambahan asam tartrat terhadap pembentukan kerak di dalam pipa pengeboran minyak bumi. *Journal of Automotive Technology Vocational Education*, 1(2). <https://doi.org/10.31316/jatve.v1i2.991>
- Juliani, A., & Rahman, F. (2015). Bioremediasi lumpur minyak (oil sludge) dengan penambahan kompos sebagai bulking agent dan sumber nutrisi tambahan. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 3(1), 1–7.
- Kaswinarni, F., & Nugraha, A. A. S. (2022). Kadar fosfor, kalium dan sifat fisik pupuk kompos sampah organik pasar dengan penambahan starter EM4, kotoran sapi dan kotoran ayam. *Titian Ilmu: Jurnal Ilmiah Multi Sciences*, 12(1), 1–10.
- Kusuma, M. E., & Silitonga, L. (2013). Pengaruh lama proses pembuatan pupuk kompos berbahan limbah kotoran ternak sapi terhadap kualitas pupuk kompos. *Jurnal Ilmiah Agri Peat Faperta UNPAR*, 14(1), 1–10.
- Madrini, I. A. B., & Sulastri, N. N. (2019). Dinamika suhu pengomposan sampah organik rumah tangga dengan keranjang bio komposter. *Jurnal BETA (Biosistem dan Teknik Pertanian)*, 7(1), 204–207.
- Nursamsi, R., Amin, B., & Anita, S. (2022). Penggunaan bakteri Ecoplus sebagai alternatif teknologi pengolahan limbah lumpur pengeboran di CMTF Kotabatak. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 13(1), 1–15.
- Pramessti, A. D., & Fitrihidajati, H. (2022). Utilization of baglog waste and pineapple peel compost in bioremediation of oil waste contaminated soil. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 11(3), 536–544.
- Rafidah, Apriliyanti, A., Hidayat, & Zaenab. (2023). Pemanfaatan limbah ikan sebagai pupuk organik cair (POC) dengan penambahan kulit buah nanas dan air cucian beras. *Jurnal Sulolipu: Media Komunikasi Sivitas Akademika dan Masyarakat*, 23(2), 261–273.
- Said, L. B., & Syafei, I. (2022). Kajian karakteristik pergerakan arus lalu lintas dan kinerja simpang bersinyal: Studi kasus Jl. Basuki Rahmat–Jl. Sungai Maruni, Kota Sorong, Papua Barat. *Jurnal Konstruksi: Teknik, Infrastruktur dan ...*, 1(5). (Catatan: Mohon lengkapi nama jurnal secara penuh jika memungkinkan.)
- Sejati, S. P., & Panji, P. (2024). Geovisualisasi kondisi air tanah pada akuifer tidak tertekan di Kecamatan Ngemplak Kabupaten Sleman. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, 12(1), 1–16.

- Witasari, W. S., Sa'diyah, K., & Hidayatulloh, M. (2021). Pengaruh jenis komposter dan waktu pengomposan terhadap pembuatan pupuk kompos dari activated sludge limbah industri bioetanol. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 5(1), 31–40.
- Zheng, X., Aborisade, M. A., Liu, S., Lu, S., Oba, B. T., Xu, X., Cheng, X., He, M., Song, Y., & Ding, H. (2020). The history and prediction of composting technology: A patent mining. *Journal of Cleaner Production*, 276. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124232>