

**LAPORAN PENELITIAN**  
**PENGARUH PERLAKUAN AWAL KOAGULASI TERHADAP**  
**PRODUKSI BIOGAS DARI *PALM OIL MILL EFFLUENT***



Oleh

**Anellysha Putri Apriantika (3335190027)**

**Listiyani Nurwindya Sari (3335190046)**

**JURUSAN TEKNIK KIMIA – FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA**

**CILEGON – BANTEN**

**2023**

## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

**NAMA** : 1. Anellysha Putri Apriantika

: 2. Listiyani Nurwindya Sari

**NIM** : 1. 3335190027

: 2. 3335190046

**JURUSAN** : TEKNIK KIMIA

**JUDUL** : Pengaruh Perlakuan Awal Koagulasi Terhadap Produksi Biogas  
dari *Palm Oil Mill Effluent*

Bersedia

Dengan ini menyatakan bahwa penelitian dengan judul tersebut di atas adalah benarkarya saya sendiri dengan arahan dari pembimbing dan tidak ada duplikasi dengan karya orang lain kecuali yang telah disebutkan sumbernya.

Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam penelitian ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku.



(Anellysha Putri Apriantika)

Cilegon, 1 Agustus 2023

Handwritten signature of Listiyani Nurwindya Sari.

(Listiyani Nurwindya Sari)

## Laporan Penelitian

### PENGARUH PERLAKUAN AWAL KOAGULASI TERHADAP PRODUKSI BIOGAS DARI *PALM OIL MILL EFFLUENT*

Diajukan Oleh:

ANELLYSHA PUTRI APRIANTIKA      3335190027

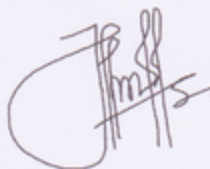
LISTIYANI NURWINDYA SARI      3335190046

Telah disetujui oleh Dosen Pembimbing dan telah dipertahankan di hadapan

Dosen Penguji

pada Tanggal 12 Januari 2023

**Dosen Pembimbing**



**Dr. Iqbal Syaichurrozi, S.T., M.T.**

NIP. 199003202014041001

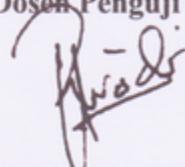
**Dosen Penguji I**



**Dr. Rahmayetty, S.T., M.T.**

NIP. 197410021999032000

**Dosen Penguji II**



**Rusdi, S.T., M.T.**

NIP. 196711252005011002

Mengetahui,  
**Ketua Jurusan Teknik Kimia**



**Dr. Javanudin, S.T., M.T.**  
NIP. 197808112005011003

## ABSTRACT

### THE EFFECT OF INITIAL COAGULATION TREATMENT ON BIOGAS PRODUCTION FROM PALM OIL MILL EFFLUENT

By:

Anellysha Putri Apriantika (3335190027)

Listiyani Nurwindya Sari (3335190046)

Palm Oil Mill Effluent (POME) is a by-product of the Crude Palm Oil (CPO) production process in the palm oil industry. POME has a high content of Chemical Oxygen Demand (COD), as well as oil and grease, and can disrupt aquatic biota ecosystems, so POME cannot be discharged directly into water bodies. This study combined the pre-treatment of coagulation and anaerobic digestion to obtain maximum methane. This study aims to study the effect of coagulant (alum) doses on changes in the characteristics of POME waste, study the effect of pre-coagulation treatment on the anaerobic digestion process in POME waste, and suppress cumulative methane production with the modified Gompertz model. The method used was coagulation using a 1 L beaker glass at room temperature with a stirring speed of 200 rpm for 2 hours and the precipitation process for 24 hours. The anaerobic digestion process was carried out using a digester with a volume of 500 mL in batch conditions at room temperature until the volume of biogas production was constant. The results of the study showed that the initial coagulation treatment with a coagulant dose of 6 g/L was able to reduce COD and TS levels to reach the optimal range of anaerobic digestion with COD values of 12,775 mg/L and TS 15,000 mg/L (15% w/v). This condition resulted in the highest biogas volume of 179.31 mL/g COD. In addition, the dose of 6 g/L also produced the highest cumulative prediction of methane using the Gompertz model, with kinetic parameters  $\lambda$  (2, 89 hari), A (185,23 mL/g COD), dan  $\mu$  (34,37 mL/g COD hari).

Keywords: CPO, Coagulation, Anaerobic digestion, POME, Gompertz

**ABSTRAK**  
**PENGARUH PERLAKUAN AWAL KOAGULASI TERHADAP**  
**PRODUKSI BIOGAS DARI *PALM OIL MILL EFFLUENT***

Oleh:

Anellysha Putri Apriantika (3335190027)

Listiyani Nurwindya Sari (3335190046)

*Palm Oil Mill Effluent* (POME) merupakan limbah cair hasil samping proses produksi *Crude Palm Oil* (CPO) pada industri kelapa sawit. POME memiliki kandungan *Chemical Oxygen Demand* (COD), serta minyak dan lemak yang tinggi dan dapat mengganggu ekosistem biota air, sehingga POME tidak dapat dibuang langsung ke badan air. Penelitian ini mengombinasikan perlakuan awal koagulasi dan pencernaan anaerob untuk mendapatkan metana yang maksimal. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh dosis koagulan (alum) terhadap perubahan karakteristik limbah POME, mempelajari pengaruh perlakuan awal koagulasi terhadap proses pencernaan anaerob pada limbah POME, dan memprediksi produksi kumulatif metana dengan model modifikasi Gompertz. Metode yang dilakukan, yaitu koagulasi dengan menggunakan *beaker glass* bervolume 1 L pada suhu kamar dengan kecepatan pengadukan 200 rpm selama 2 jam dan proses pengendapan selama 24 jam. Proses pencernaan anaerob dilakukan menggunakan digester bervolume 500 mL kondisi *batch* pada suhu kamar hingga volume produksi biogas konstan. Hasil dari penelitian menunjukkan, perlakuan awal koagulasi dengan dosis koagulan 6 g/L mampu menurunkan kadar COD dan TS mencapai rentang optimum pencernaan anaerob dengan nilai COD 12.775 mg/L dan TS 15.000 mg/L (15% w/v). Kondisi ini menghasilkan volume biogas tertinggi sebesar 179,31 mL/g COD. Selain itu, dosis 6 g/L juga menghasilkan prediksi kumulatif metana tertinggi menggunakan model Gompertz, dengan parameter kinetik  $\lambda$  (2, 89 hari), A (185,23 mL/g COD), dan  $\mu$  (34,37 mL/g COD hari).

Kata kunci: CPO, Koagulasi, Pencernaan anaerob, POME, Gompertz

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa. Atas rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan proposal penelitian yang berjudul "Pengaruh Perlakuan Awal Koagulasi terhadap Produksi Biogas dari *Palm Oil Mill Effluent*". Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan penelitian ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan do'a dan dukungan, baik secara material maupun moral.
2. Dr. Jayanudin, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Dr. Rahmayetty, S.T., M.T. selaku Koordinator Penelitian Jurusan Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
4. Dr. Iqbal Syaichurrozi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam menyusun laporan penelitian.
5. Teman-teman Teknik Kimia 2019 yang telah memberikan dukungan selama proses penyusunan laporan penelitian.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat untuk penulis dan pembaca, serta dapat membawa manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Cilegon, 08 Januari 2023

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1. 1 Latar Belakang .....	1
1. 2 Rumusan Masalah .....	5
1. 3 Tujuan.....	5
1. 4 Ruang Lingkup .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2. 1 Industri Kelapa Sawit .....	7
2. 2 Proses Produksi CPO dan Pembentukan POME.....	7
2. 3 <i>Palm Oil Mill Effluent (POME)</i> .....	8
2. 3. 1 <i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i> .....	9
2. 3. 2 <i>Biological Oxygen Demand (BOD)</i> .....	9
2. 3. 3 <i>Total Suspended Solid (TSS)</i> .....	9
2. 3. 4 Minyak dan Lemak .....	10
2. 4 Koagulasi.....	10
2. 4. 1 Pengertian Koagulasi .....	10
2. 4. 2 Mekanisme Koagulasi.....	10
2. 4. 3 Faktor yang Berpengaruh pada Koagulasi .....	12
2. 4. 4 Penelitian Terdahulu .....	14
2. 5 Pencernaan Anaerob .....	16
2. 5. 1 Pengertian Pencernaan Anaerob .....	16
2. 5. 2 Mekanisme Pencernaan Anaerob.....	16
2. 5. 3 Faktor yang Berpengaruh pada Pencernaan Anaerob .....	18
2. 5. 4 Penelitian Terdahulu .....	20
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3. 1 <i>Roadmap</i> Penelitian.....	25

3. 2	Alat dan Bahan .....	26
3. 3	Variabel Penelitian .....	27
3. 4	Prosedur Penelitian.....	28
3. 5	Analisis .....	29
3. 6	Model Produksi Metana .....	29
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Proses Koagulasi .....	31
4.1.1	Profil TS.....	31
4.1.2	Profil Warna.....	32
4.1.3	Profil COD.....	34
4.1.4	Profil pH .....	36
4.2	Pengaruh Koagulasi terhadap Produksi Metana.....	37
4.2.1	Produksi Kumulatif Metana.....	37
4.2.2	Profil TS.....	41
4.2.3	Profil COD.....	42
4.2.4	Profil pH .....	43
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
5. 1	Kesimpulan.....	46
5. 2	Saran .....	46
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		



## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Karakteristik POME.....	2
Tabel 1. 2 Baku mutu limbah cair.....	3
Tabel 1. 3 Metode pengolahan limbah POME.....	3
Tabel 2. 1 Perbandingan koagulan $Al_2(SO_4)_3$ dan $FeCl_3$ .....	14
Tabel 2. 2 Penelitian terdahulu pengolahan POME dengan koagulasi .....	14
Tabel 2. 3 Penelitian terdahulu pengolahan POME dengan pencernaan anaerob. 20	
Tabel 3. 1 Alat.....	26
Tabel 3. 2 Bahan .....	27
Tabel 3. 3 Variabel Penelitian .....	27
Tabel 4. 1 Perbandingan karakteristik POME dengan baku mutu .....	30
Tabel 4. 2 Perbandingan karakteristik POME dan supernatan koagulasi .....	37
Tabel 4. 3 Parameter prediksi model modifikasi Gompertz .....	40
Tabel 4. 4 Perbandingan efluen koagulasi dan pencernaan anaerob.....	45

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Neraca massa produksi CPO (Supranto, et al., 2014).....	8
Gambar 2. 2 Mekanisme koagulasi (Suopajärvi, 2015).....	12
Gambar 2. 3 Diagram tahapan proses pencernaan anaerob (Darwin, 2018).....	17
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian .....	25
Gambar 3. 2 Rangkaian alat proses pencernaan anaerob .....	26
Gambar 4. 1 Profil TS dan Efisiensi Penyisihan TS .....	31
Gambar 4. 2 Efisiensi penyisihan warna pada variasi dosis koagulan.....	33
Gambar 4. 3 Efisiensi penyisihan COD pada variasi dosis koagulan .....	35
Gambar 4. 4 pH efluen terhadap dosis koagulan .....	36
Gambar 4. 5 Produksi metana (a) Harian (b) Kumulatif.....	38
Gambar 4. 6 Prediksi model modifikasi Gompertz terhadap produksi metana ....	39
Gambar 4. 7 Profil TS selama pencernaan anaerob .....	41
Gambar 4. 8 Kadar dan penyisihan COD pada variasi substrat.....	43
Gambar 4. 9 Profil pH pencernaan anaerob .....	44

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Crude Palm Oil* (CPO) merupakan salah satu minyak nabati yang banyak diproduksi dan dikonsumsi di Indonesia. CPO adalah produk utama dari industri kelapa sawit. Selain produk utama, industri kelapa sawit menghasilkan produk samping berupa limbah padat, seperti tandan kosong, cangkang dan serat buah, batang kelapa sawit, serta pelepah kelapa sawit dan limbah cair, seperti *Palm Oil Mill Effluent* (POME). Produksi CPO di Indonesia dari tahun 2017-2021 mengalami peningkatan dengan jumlah produksi 37 juta, 42 juta, 47 juta, 48 juta, dan 49 juta ton (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2020). Diperkirakan jumlah produksi CPO akan mengalami peningkatan hingga 51,7 juta ton pada tahun 2025 (Qolbi, 2019). Oleh karena itu, seiring dengan meningkatnya produksi CPO, maka jumlah limbah padat maupun cair semakin meningkat. Pada produksi CPO dengan bahan baku 100 ton menghasilkan limbah padat 40 ton dan limbah cair 62,5 ton (Supranto, et al., 2014). Data ini menunjukkan bahwa limbah cair menjadi masalah yang lebih serius dibandingkan dengan limbah padat.

Pada umumnya, POME mengandung air 95 – 96% v/v, minyak dan lemak 4.000 – 9.065 mg/L, suhu keluaran proses berkisar 70 – 80 °C (Rahayu, et al., 2015), derajat keasaman (pH) sekitar 4,1 – 4,815, dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) 49.100 – 58.700 mg/L. Karakteristik POME disajikan pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Karakteristik POME

<b>Parameter</b>	<b>[1]</b>	<b>[2]</b>	<b>[3]</b>	<b>[4]</b>	<b>[5]</b>	<b>Rentang</b>
BOD	25.000	25.020	29.000	40.000	30.100	25.000 -30.100
COD	50.000	59.700	64.000	65.000	70.000	50.000 – 70.000
TSS	18.000	17.460	23.000	-	28.900	17.460 – 28.900
Minyak dan Lemak	4.000	-	7.000	1500	10.540	4.000 – 10.540
Total Nitrogen	70	707	1.200	945	980	70 – 1.200
pH	4,7	3,7	4,5	4,5	4,5	3,7 – 4,7

Keterangan:

Semua dalam satuan mg/L, kecuali pH,

[1] (A.L. & C.Y., 2009), [2] (Krishnan, et al., 2006), [3] (Ahmed, et al., 2014), [4] (Ahmad, et al., 2011), [5] (Chan, et al., 2011)

POME mempunyai pengaruh buruk terhadap lingkungan jika dibuang langsung ke badan air. Kandungan COD yang tinggi pada limbah dapat menurunkan konsentrasi oksigen terlarut pada air, sehingga biota air akan mengalami kekurangan oksigen dan dapat menyebabkan kematian. Selain itu, pH POME yang asam dapat menurunkan level pH badan air, sehingga mengganggu kehidupan biota air. Kandungan minyak dan lemak akan membentuk lapisan di atas permukaan air, sehingga mengurangi konsentrasi oksigen terlarut dalam air karena fiksasi oksigen bebas menjadi terhambat (Hardiana S. & Mukimin, 2014). Lapisan minyak serta tingkat kekeruhan yang tinggi dapat menghambat penetrasi sinar matahari masuk ke dalam air sehingga mengganggu keseimbangan rantai makanan dan proses fotosintesis. Oleh karena itu, pengolahan limbah POME perlu dilakukan untuk memenuhi baku mutu limbah cair, sehingga aman untuk dibuang ke badan air. Baku mutu limbah cair berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 ditampilkan pada Tabel 1.2.

Tabel 1. 2 Baku mutu limbah cair

Parameter	Unit	Baku Mutu
pH		6-9
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	30
Minyak dan Lemak	mg/L	5
Amoniak	mg/L	10

Berdasarkan penelitian sebelumnya, pengolahan limbah POME dilakukan dengan metode *ponding system*, *biological treatment*, *physicochemical treatment*, dan *thermochemical treatment* (Mohammad, S., et al., 2021). Kelebihan dan kekurangan setiap metode ditampilkan pada Tabel 1.3.

Tabel 1. 3 Metode pengolahan limbah POME

Metode	Kelebihan	Kekurangan	Referensi
<i>Ponding system</i>	Metode yang paling banyak digunakan untuk mengolah limbah POME karena lebih ekonomis dan prosesnya sederhana.	Membutuhkan waktu retensi hidrolis yang lama, sehingga membutuhkan area lahan yang luas	(Hayawin, et al., 2018)
<i>Thermochemical treatment</i>	Mengubah limbah POME menjadi gas sintesis atau <i>syngas</i>	Membutuhkan energi yang besar untuk menghasilkan <i>syngas</i> .	(Choong, et al., 2018)
<i>Physicochemical treatment</i>	Metode sederhana dengan menambahkan zat adsorben untuk mengurangi kandungan minyak, COD, BOD, dan TSS dari limbah POME.	Hanya mengubah polutan organik menjadi bentuk lain tanpa memineralsifikannya dan juga metode ini cenderung mahal karena penggunaan bahan kimia dan harus melakukan pengolahan lanjut untuk kelebihan lumpur	(Fujihira, et al., 2018)

<i>Biological treatment</i>	Proses anaerobik tidak membutuhkan energi untuk aerasi, sehingga mengurangi biaya pada proses pengolahannya, lumpur atau sludge yang dihasilkan lebih sedikit dari proses aerobik, Bahan pencemar berupa bahan organik yang dapat terbiodegradasi hampir semuanya dikonversi ke bentuk biogas (gas metana) yang mempunyai nilai kalor tinggi dan dapat digunakan sebagai substitusi sumber energi	Waktu yang lama untuk stabilisasi kultur mikroba di dalam reaktor, memerlukan pemantauan konstan terhadap parameter utama, seperti pH, suhu, laju umpan, dan produksi inhibitor, untuk bahan kompleks memerlukan perlakuan awal.	(G. Náthia, et al., 2018)
-----------------------------	---	--	---------------------------

Pada penelitian (Hamzah, et al., 2020) pengolahan POME dengan pencernaan anaerobik pada kondisi mesofilik menghasilkan biogas sebesar  $0,17 \pm 0,01$  LCH<sub>4</sub>/gCOD. Sedangkan jumlah biogas yang dihasilkan pada pencernaan anaerob secara teoritik sebesar  $0,35$  LCH<sub>4</sub>/gCOD (Zhang, et al., 2017). Kurangnya kadar biogas yang dihasilkan pada penelitian tersebut disebabkan oleh kandungan COD dan minyak yang tinggi sehingga menghambat pencernaan anaerobik. Batas maksimal COD 19.000 mg/L (Moujanni, et al., 2018), TS 5-15% (Wang et al, 2020), dan pH 7-7,5 (Cerón-Vivas et al, 2019), sehingga diperlukan perlakuan awal untuk mengurangi kadar COD dan minyak. Koagulasi dapat digunakan sebagai metode perlakuan awal karena prosesnya sederhana, serta mampu menurunkan kadar COD dan minyak. Pada penelitian (Jagaba, et al., 2020), koagulasi pada POME dapat menurunkan COD hingga 75,01% dan minyak hingga 98,32%. Oleh karena itu, dilakukan penelitian terhadap pengaruh perlakuan awal dan pencernaan anaerob pada limbah POME dengan variasi dosis koagulan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan Tabel 1.1, limbah POME berpotensi untuk menjadi bahan baku produksi biogas karena memiliki kandungan bahan organik, sehingga dapat dijadikan substrat. Namun, kandungan bahan organik pada POME masih terlalu tinggi dari kondisi optimalnya, kandungan COD lebih dari 19 g/L pada pencernaan anaerob menyebabkan *Volatile Fatty Acid* (VFA) mudah terbentuk. Akumulasi VFA yang terlalu tinggi dapat bersifat *toxic* bagi bakteri pembentuk VFA, sehingga produksi biogas tidak maksimal. Selain itu, kandungan minyak lebih dari 1,6 g/L akan menghambat pertumbuhan mikroba dalam *digester*. Oleh karena itu, diperlukan perlakuan awal pada limbah POME agar bisa menghasilkan biogas yang optimal. Untuk menurunkan kadar COD, minyak, dan padatan dalam limbah POME dilakukan perlakuan awal koagulasi. Proses koagulasi berpotensi sebagai metode perlakuan awal karena mampu menurunkan kadar COD, minyak, dan padatan tersuspensi dalam limbah POME (Huzir, et al., 2019; Yee Shak & Yeong Wu, 2015; Yang Teh, et al., 2014). Dengan demikian, dilakukan penelitian untuk mengolah limbah POME menjadi biogas dengan perlakuan awal koagulasi pada kondisi dosis koagulan yang divariasikan.

## 1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mempelajari pengaruh dosis koagulan (alum) pada proses koagulasi terhadap perubahan karakteristik limbah POME.
2. Mempelajari pengaruh perlakuan awal koagulasi terhadap proses pencernaan anerob pada limbah POME.
3. Menentukan produksi kumulatif metana dengan model modifikasi Gompertz.

## 1.4 Ruang Lingkup

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pengolahan dan Konversi Energi, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penelitian ini menggunakan bahan utama POME, alum, NaOH teknis, dan

inokulum. Limbah POME diperoleh dari PT Perkebunan Nusantara VIII (PTPN VIII), Pandeglang, Banten. Metode pengolahan limbah POME yang dipelajari pada penelitian ini adalah proses koagulasi dan pencernaan anaerobik.



## DAFTAR PUSTAKA

- A.L., A. & C.Y., C., 2009. Sustainability of palm oil industries. *J. Applied Sci*, Volume 9, pp. 3074-3079.
- A. A. W. W., 2011. *Water quality & treatment: a handbook on drinking water, 6th ed.*. New York: McGraw-Hill.
- Abbasi, t., Tauseef, S. & Abbasi, S., 2012. Anaerobic digestion for global warming control and energy generation—An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews 16*, pp. 3228-3242.
- Abdelgadir, A. et al., 2013. Characteristics, Process Parameters, and Inner Components of Anaerobic Bioreactors. *BioMed Research International*.
- Achouri, O. et al., 2017. Effect of chemical coagulation pretreatment on anaerobic digestion of tannery wastewater. *Journal of environment engineering*.
- Ahmad, A., Ghufuran, R. & Wahid, Z. A., 2011. Role of calcium oxide in sludge granulation and methanogenesis for the treatment of palm oil mill effluent using UASB reactor. *Journal of Hazardous Materials*, pp. 40-48.
- Ahmed H. Birima, A. T. A. M. J. M. M. N. L. M. S. Z. C. M. & L. S. W., 2015. Application of salt extracted peanut seeds in the pretreatment of palm oil mill effluent (POME). *Desalination and Water Treatment*, p. 2196–2200.
- Ahmed, Y., Yakoob, Z., Akhtar, P. & Sopian, K., 2014. Production of biogas and performance evaluation of existing treatment processes in palm oil mill effluent (POME). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p. 1260–1278.
- Aktas, T. et al., 2012. Influence Of Velocity Gradient And Rapid Mixing Time On Floccs Formed By Polysilica Iron (PSI) And Polyaluminum Chloride (PACl).. *Journal Desalination And Water Treatment. Departement Of Civil And Environmental Engineering*.
- Al-Mutairi, N., Hamoda, M. & Al-Ghusain, I., 2004. Coagulant selection and sludge conditioning in a slaughterhouse wastewater treatment plant. *Biores Technol*, pp. 115-119.
- Anggraini, S., Armedi Pinem, J. & Saputra, E., 2016. PENGARUH KECEPATAN PENGADUKAN DAN TEKANAN PEMOMPAAN PADA KOMBINASI PROSES KOAGULASI DAN MEMBRAN ULTRAFILTRASI DALAM PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI KARET. *Jom FTEKNIK*.

- Bagi, Z. et al., 2007. Intoksikasi bioteknologi produksi biogas. *Appl Mikrobiol Bioteknol*, pp. 473-482.
- Bahira, B. Y., Baki, A. S. & Bello, A., 2018. Effect of Varying pH on Biogas Generation using Cow Dung. *Direct Research Journal of Biology and Biotechnology*, pp. 28-33.
- Bahrodin, M. B. et al., 2021. Recent Advances on Coagulation-Based Treatment of Wastewater: Transition from Chemical to Natural Coagulant. *Springer Nature Switzerland AG*, pp. 1-14.
- Balavinayagamani, G., Inthurekha, C. & Paulraj, P., 2018. Decolorizing Palm Oil Mill Effluent (POME) Using Plant Polysaccharide Degrading Microorganisms Isolated from Soil. Decolorizing Palm Oil Mill Effluent (POME) Using Plant Polysaccharide Degrading Microorganisms Isolated from Soil. *Pol. J. Environ.*, pp. 629-636.
- Bolto, B. & Gregory, J., 2007. Organic polyelectrolytes in water treatment. *Water Res* 41, p. 2301– 2324.
- Boyd, C. E., 1990. Water Quality in Ponds for Aquaculture. *Alabama Agricultural Experiment Station*, p. 482.
- Bratby, J., 2006. *Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment, Second edition*. London, UK: IWA Publishing.
- Ceron-Vivas, A., Cáceres-Cáceres, K. T., Rincón-Pérez, A. & Cajigas, A. A., 2019. Influence of pH and the C/N ratio on the biogas production of wastewater. *Revista Facultad de Ingeniería*, pp. 88-95.
- Chan, Y. et al., 2020. Pre-commercialized integrated anaerobic-aerobic bioreactor (IAAB) for. *J. Oil Palm Environ. Health*, pp. 57-66.
- Chan, Y. J., Chong, M. F. & Law, C. L., 2011. An integrated anaerobic–aerobic bioreactor (IAAB) for the treatment of palm oil mill effluent (POME): Start-up and steady state performance. *Process Biochemistry*, pp. 485-495.
- Cheng, J., 2010. *Biomass to Renewable Energy Process*. USA: CRC Press.
- Chin Yap, C. et al., 2021. Synergistic effect of anaerobic co-digestion of palm oil mill effluent (POME) with *Moringa oleifera* extract. *Biomass and Bioenergy*.
- Choong, Y. Y., Weng Chou, K. & Norli, I., 2018. Strategies for improving biogas production of palm oil mill effluent (POME) anaerobic digestion: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 2993-3006.

- Cordoba, V., Fernandez, M. & Santalla, E., 2016. The effect of different inoculums on anaerobic digestion of swine wastewater. *J Environ Chem Eng*, pp. 115-122.
- Daroini, T. A. & Arisandi, A., 2020. ANALISIS BOD (BIOLOGICAL OXYGEN DEMAND) DI PERAIRAN DESA PRANCAK KECAMATAN SEPULU, BANGKALAN. *Juvenil*, Volume 1, pp. 558-556.
- Darwin, 2018. *Prinsip dan Aplikasi Teknologi Anaerobik Digesti*. Yogyakarta: Deepublish.
- D. J. P., 2020. *STATISTIK PERKEBUNAN UNGGULAN NASIONAL 2019-2021*. s.l.:Direktorat Jenderal Perkebunan.
- Fargues, C. & Turchiuli, C., 2003. STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF FLOCS IN RELATION TO THEIR SETTLING PERFORMANCES. *Institution of Chemical Engineers*, Volume 81, pp. 1171-1178.
- Freitas, T. K. F. S. et al., 2015. Optimization of coagulation-flocculation process for treatment of industrial textile wastewater using okra (*A. esculentus*) mucilage as natural coagulant. *Industrial Crops and Products*, p. 538–544.
- Fujihira, T. et al., 2018. High-rate anaerobic treatment system for solid/lipid-rich. *Bioresour. Technol.* 2, p. 263.
- G. Náthia, N. et al., 2018. Anaerobic digestion process: technological aspects and recent developments. *International Journal of Environmental Science and Technology*, p. 2033–2046.
- Gebbie, P., 2005. A Dummy's Guide to Coagulants. *68th Annual Water Industry Engineers and Operators*.
- Halim, L., 2015. *Peningkatan Produksi Biogas dari Stillage dengan Imobilisasi Bakteri Anaerobik pada Media Padatan Berpori [Tesis]*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Hamzah, M. A. F. et al., 2020. Performance of Anaerobic Digestion of Acidified Palm Oil Mill Effluent under Various Organic Loading Rates and Temperatures. *Water*.
- Hardiana S., S. & Mukimin, A., 2014. PENGEMBANGAN METODE ANALISIS PARAMETER MINYAK DAN LEMAK PADA CONTOH UJI AIR.
- Hayawin, Z. et al., 2018. Reduction of POME final discharge residual using activated bioadsorbent from oil palm kernel shell.. *Journal Clean Prod.*, p. 182.

- Huzir, N. M. et al., 2019. Optimization of coagulation-flocculation process for the palm oil mill effluent treatment by using rice husk ash. *Industrial Crops & Product*, p. 111482.
- Iswanto, B., W., R. S. & Winarni, 2009. PENGARUH pH PADA PROSES KOAGULASI DENGAN KOAGULAN ALUMINUM SULFAT DAN FERRI KLOORIDA. *Jurnal Teknik Lingkungan*, pp. Vol. 5 No. 2 (40-45).
- Jagaba, A. et al., 2020. Sustainable use of natural and chemical coagulants for contaminants removal from palm oil mill effluent: A comparative analysis. *Ain Shams Engineering Journal*, p. 951–960.
- James, P. C. & C. Jeffrey, S., 2007. Microbial Classification. *xPharm: The Comprehensive Pharmacology Reference*, pp. 1-4.
- Ji, C. et al., 2013. Biogas from palm oil mill effluent (POME): opportunities and challenges from Malaysia's perspective. *Renewable Sustainable Energy Rev.*, Volume 26, pp. 717-726.
- Jijai, S., Muleng, S. & Siripatana, C., 2017. Effect of Dilution and Ash Supplement on the Bio-methane Potential of Palm Oil Mill Effluent (POME). *The 4th International Conference on Research, Implementation, and Education of Mathematics and Science (4th ICRIEMS)*.
- Khadaroo, S. N. et al., 2020. Enhancing the biogas production and the treated effluent quality via an alternative Palm Oil Mill Effluent (POME) treatment process: Integration of thermal pretreatment and dewatering. *Biomass and Bioenergy*.
- Kramanandita, R., Bantacut, T., Romli, M. & Makmoen, M., 2014. Utilizations of Palm Oil Mills Wastes as Source of Energy and Water in the Production Process of Crude Palm Oil. *Chemistry and Materials Research*, Volume 6.
- Krishnan, V., Ahmad, D. & Endut, E. M., 2006. Effect of coagulation on palm oil mill effluent and subsequent treatment of coagulated sludge by anaerobic digestion. *Journal Of Chemical Biotechnol.*
- Lestari, T. & Siska, 2016. Keefektifan Penambahan Dosis Tawas Dalam Menurunkan Kadar TSS (Total Suspended Solid) Pada Limbah Cair Rumah Makan.. *Diss. Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- Liew, Y. X. et al., 2015. Enzymatic Pre-treatment of Palm Oil Mill Effluent (POME) For Enhanced Anaerobic Digestion. *APPCCHE Congress incorporating Chemeca*.
- Lin, J., J.R, P. & C, H., 2013. Enhanced Particle Destabilization And Aggregation By Flash-mixing Coagulation For Drinking Water Treatment. *Journal Separation and Purification Technology*.

- Li, T. et al., 2006. Characterization of floc size, strength and structure under various coagulation mechanisms. *Powder Technology* 168, pp. 104-110.
- Mahmoud Elsayed, Y. A. W. B. A. G. A. A., 2016. Effect of VS organic loads and buckwheat husk on methane production by anaerobic co-digestion of primary sludge and wheat straw. *Energy Conversion and Management*, p. 538–547.
- Mao, C., Feng, Y., Wang, X. & Ren, G., 2015. REview on research achievement of biogas from anaerobic digestion. *Renew Sustain energy*, pp. 540-555.
- Mao, et al., 2017. Process performance and methane production optimizing of anaerobic co-digestion of swine manure and corn straw. *Scientific Reports*.
- Maulana, L., Suprayogi, A. & W., A. P., 2015. ANALISIS PENGARUH TOTAL SUSPENDED SOLID DALAM PENENTUAN KEDALAMAN LAUT DANGKAL DENGAN METODE ALGORITMA VAN HENGEL DAN SPITZER. *Jurnal Geodesi Undip*, pp. Volume 4, Nomor 2 (ISSN : 2337-845X).
- M. & E., 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, Third Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Menkiti, M., Nwoye, C. I., Onyechi, C. A. & Onukwuli, O. D., 2011. Factorial Optimization and Kinetics of Coal Washery Effluent Coag-Flocculation by Moringa Oleifera Seed biomass. *Advances in Chemical Engineering and Science*, pp. 125-132.
- Mohammad, S. et al., 2021. Palm Oil Mill Effluent Treatment Processes—A Review. *Processes*, pp. 9, 739.
- Moujanni, A.-e., Qarraey, I. & Ouattmane, A., 2018. Anaerobic codigestion of urban solid waste fresh leachate and domestic wastewaters: Biogas production potential and kinetic. *Environmental Engineering Research*, pp. 38-44.
- Narra, M. et al., 2016. Enhanced biogas production from rice straw by selective micronutrients under solid state anaerobic digestion. *Biosource Technology*.
- Park, J., Park, S. & Kim, M., 2014. Anaerobic degradation of amino acids generated from the hydrolysis of sewage sludge. *Environ Technol*, Volume 35, pp. 9-12.
- Pi, K. X. M. Y., X., W. P., Chen, S. Y. M. & Gerson, A. R., 2015. Optimization of COD decrease from tobacco wastewater by Ca/Mg/Al coagulant using RSM. *Journal of Water Process Engineering*, pp. 166-171.

- Qolbi, N., 2019. *KONTAN.CO.ID.* [Online] Available at: <https://amp.kontan.co.id/news/cpo-diprediksi-oversupply-pada-2030-begini-cara-emiten-mengantisipasi> [Diakses Desember 2021].
- Quintero, M. et al., 2012. Enhancement of starting up anaerobic digestion of lignocellulosic substrate: fique's bagasse as an example. *Bioresour Technol*, pp. 8-13.
- Rahayu, A. S. et al., 2015. *Buku Panduan : Konversi POME Menjadi Biogas Pengembangan Proyek di Indonesia*. Jakarta: Winrock International.
- Ramadhan, L., Damayanti, S., Sudiby, H. & Budhijanto, W., 2018. Kinetics of Anaerobic Digestion of Palm Oil Mill Effluent (POME) in Double-Stage Batch Bioreactor with Recirculation and Fluidization of Microbial Immobilization Media. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*.
- Risdianto, 2007. OPTIMISASI PROSES KOAGULASI FLOKULASI UNTUK PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI JAMU (STUDI KASUS PT. SIDO MUNCUL). *Tesis Universitas Diponegoro*.
- Rizal, T. A., Mahidin & Ayyub, M., 2015. Pengembangan Anaerobic Digester Untuk Produksi Biogas Dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. *Jurnal Ilmiah JURUTERA*, pp. 008-019.
- Rusdi, Sidi, T. B. P. & Pratama, R., 2014. Pengaruh Konsentrasi dan Waktu Pengendapan Biji Kelor terhadap pH, Kekeruhan, dan Warna Air Waduk Krenceng.. *Jurnal Integrasi Proses*, pp. 46-50.
- Saifuddin, N. & Dinara, S., 2011. Pretreatment of Palm Oil Mill Effluent (POME) Using Magnetic Chitosan. *E-Journal of Chemistry*, pp. S67-S78.
- Saifuddin, N. & Fazlili, S. A., 2009. Effect of Microwave and Ultrasonic Pretreatments on Biogas Production from Anaerobic Digestion of Palm Oil Mill Effluent. *American J. of Engineering and Applied Sciences 2*, Volume 1, pp. 139-146.
- Sangeetha, T., Rajneesh, C. P. & Yan, W.-M., 2020. Integration of microbial electrolysis cells with anaerobic digestion to treat beer industry wastewater. *Integrated Microbial Fuel Cells for Wastewater Treatment*, pp. 313-346.
- Saritha, V., Srinivas, N. & Srikanth Vuppala, N., 2017. Analysis and optimization of coagulation and flocculation process. *Appl Water Sci*, pp. 451-460.
- Sharma, B., Dhuldhoya, N. & Merchant, U. C., 2006. Flocculants—An Ecofriendly Approach. *J. Polym. Environ.*, pp. 195-202.

- Singh, S., Sai Kaushik, K., Prashanth, B. & Kumar Nayak, S., 2018. Factors affecting anaerobic digestion of organic. *International Journal of Engineering Research in Mechanical and Civil Engineering*, 3(2).
- Sitorus, B., Sukandar & Panjaitan, S. D., 2013. Biogas recovery from anaerobic digestion process of mixed fruit -vegetable wastes. *International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application*, pp. 176-182.
- Speece, R., 1996. *Anaerobic Tachnology for Industrial Wastewaters*. USA: Archae Press.
- Suopajarvi, T., 2015. *Functionalized nanocelluloses in wastewater treatment applications*. Oulu, Finlandia: JUVENES PRINT.
- Supranto, S., Tawfiequrrahman, A., Yunanto, D. E. & Kurniawan, I., 2014. Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber Conversion to High Refined Cellulose using Nitric Acid and Sodium Hydroxide as the Delignificating Agents. *AUN/SEED-Net Regional Conference on Chemical Engineering*, pp. 1-16.
- Teh, C., Wu, T. & Juan, J., 2014. Potential Use of Rice Starch in Coagulation-Flocculation Process of Agro-Industrial Wastewater: Treatment Performance and Flocs Characterization.. *Ecological Engineering 71*, pp. 509-519.
- Tri, W., Anwar, H., Prajitno, D. H. & Pujiastuti, L., 2016. Effect OFEM (Effective Microorganism) Addition on the Quality of Methane Production from Rice Straw. *International Journal of ChemTech Research*, pp. 520-528.
- T, T. & BR, D., 2006. Flocculation: a new way to treat the waste water. *J Phys Sci 10*, pp. 93-127.
- Wang, Z. et al., 2020. mpact of total solids content on anaerobic co-digestion of pig manure and food waste: Insights into shifting of the methanogenic pathway. *Waste Management*, pp. 96-106.
- Wardani, R. S., Iswanto, B. & W., 2009. PENGARUH pH PADA PROSES KOAGULASI DENGAN KOAGULAN ALUMINUM SULFAT DAN FERRI KLORIDA. *JTL*, Volume 5, pp. 40-45.
- Wardani, R. S., Iswanto, B. & Winarni, 2009. Pengaruh pH pada Proses Koagulasi dengan Koagulan Alumunium Sulfat dan Ferri Klorida. *JTL*, Volume 5, pp. 40-45.
- Wicheisa, F. V., H., Y. & A., N., 2018. PENURUNAN KADAR CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD) PADA LIMBAH CAIR LAUNDRY ORENS TEMBALANG DENGAN BERBAGAI VARIASI DOSIS KARBON

AKTIF TEMPURUNG KELAPA. *JURNAL KESEHATAN MASYARAKAT*, pp. Volume 6, Nomor 6 (ISSN: 2356-3346).

- Wirandani, M. Y., Sudarno & Purwono, 2017. Pengolahan Lindi Menggunakan Metode Koagulasi Flokulasi Dengan Koagulan Fecl<sub>3</sub> (Ferric Chloride) Dan Aops (Advanced Oxidation Process) Dengan Fe-h<sub>2</sub>o<sub>2</sub> Studi Kasus : Tpa Jatibarang. *Jurnal Teknik Lingkungan*, pp. 1-17.
- Wongfaed, N., Kongjan, P., Prasertsan, P. & O-Thong, S., 2019. Effect of oil and derivative in palm oil mill effluent on the process imbalance of biogas. *Journal of Cleaner Production*.
- Wong, Pei, T. & T.T, N. N., 2007. Efficiency of the Coagulation-Flocculation Method for the Treatment of Dye Mixtures Containing Disperse and Reactive Dye.. *Water Quality Research Journal of Canada*, pp. 54-62.
- Yang Teh, C., Yeong Wu, T. & Juan, J. C., 2014. Optimization of agro-industrial wastewater treatment using unmodified rice starch as a natural coagulant. *Industrial Crops & Product*, p. 17–26.
- Yang, Z. L., G., B. Y., Y. & Q. Y., W. Y., 2010. Effect of pH on the coagulation performance of Al-based coagulants and residual aluminum speciation during the treatment of humic acid–kaolin synthetic water.. *Journal of Hazardous Materials*, pp. 596-603.
- Yee Shak, K. P. & Yeong Wu, T., 2015. Optimized use of alum together with unmodified *Cassia obtusifolia* seed gum as a coagulant aid in treatment of palm oil mill effluent under natural pH of wastewater. *Industrial Crops & Product*, p. 1169–1178.
- Yi, J., Bin, D., Jingwei, J. & Xiaohu, D., 2014. Effect of Increasing Total Solids Contents on Anaerobic Digestion of Food Waste under Mesophilic Conditions: Performance and Microbial Characteristics Analysis. *PLoS ONE* 9(7): e102548, pp. 1-10.
- Yi, J., Dong, B., Jin, J. & Dai, X., 2014. Effect of Increasing Total Solids Contents on Anaerobic Digestion of Food Waste under Mesophilic Conditions: Performance and Microbial Characteristics Analysis. *PLoS ONE*.
- Zhang, C. et al., 2017. Effect of Parameters on Anaerobic Digestion EGSB Reactor for Producing Biogas. *Procedia Engineering* 205, pp. 3749-3754.
- Zheng, H. et al., 2010. Investigations of coagulation–flocculation process by performance optimization, model prediction and fractal structure of flocs. *Desalination*, pp. 148-156.



Zinatizadeh, A. et al., 2005. Kinetic evaluation of palm oil mill effluent digestion in a high rate up-flow anaerobic sludge fixed film bioreactor. *Process Biochemistry*, pp. 1038-1046.

Zuliyana, 2015. *Peningkatan produksi biogas dari fraksi organik sampah kota dalam reaktor batch dengan pengaturan kadar total solid dan rasio C/N [Tesis]*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.