Tentang penulis

RENI DESMIARTI mendapatkan gelar sarjana dari Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya tahun 1998 dan Magister Teknik dari Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung pada tahun 2001. Beliau memperoleh gelar *Doctor Engineering dari Mechanical and Civil Engineering of Gifu University, Japan* pada tahun 2009. Beliau adalah dosen tetap di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta Padang. Saat ini beliau menjabat sebagai Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta. Beliau memperoleh dana penelitian Ristekdikti tahun 2010 s/d 2021. Dana penelitian juga didapatkan dari PT. Pertamina, *Program Academic Recharging* (PAR C), Jasso Jepang dan Gifu University Jepang. Beliau juga sudah banyak mempublikasikan hasil penelitian melalui seminar dan jurnal baik ditingkat nasional maupun internasional di bidang pengolahan air dan limbah cair, aplikasi plasma, CO_2 utilization, dan pengolahan sumberdaya alam. Beberapa paten di bidang penelitian beliau juga sudah dalam status terdaftar yang merupakan kerjasama dengan Pertamina dan Universitas Andalas.

ARIADI HAZMI mendapatkan gelar sarjana dari Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya tahun 1998 dan Magister Teknik dari Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Bandung pada tahun 2001. Beliau memperoleh gelar *Doctor Engineering dari Electrical Engineering of Gifu University, Japan* pada tahun 2008. Saat ini beliau dosen di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Andalas Padang sejak tahun 1999. Beliau memperoleh dana penelitian Ristekdikti tahun 2010 s/d 2021. Dana penelitian juga didapatkan dari PT. Pertamina, *Program Academic Recharging* (PAR C), Jasso Jepang dan Gifu University Jepang. Beliau sudah banyak mempublikasikan hasil penelitian melalui seminar dan jurnal baik ditingkat nasional maupun internasional di bidang petir dan plasma. Beberapa paten di bidang penelitian beliau juga sudah dalam status terdaftar yang merupakan kerjasama dengan Pertamina dan Universitas Bung Hatta.

ISBN 978-623-5797-00-7

Prof. Dr. Eng. Reni Desmiarti, ST.,MT
Prof. Dr. Eng. Ariadi Hazmi, ST., MT

SISTEM PLASMA SEBAGAI TEKNOLOGI PENGOLAHAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT MENJADI BIOGAS

LPPM Universitas Bung Hatta

SISTEM PLASMA SEBAGAI TEKNOLOGI PENGOLAHAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT MENJADI BIOGAS

Prof. Dr. Eng. Reni Desmiarti, ST.,MT
Prof. Dr. Eng. Ariadi Hazmi, ST., MT

Buku ini merupakan bagian dari hasil hibah penelitian Kompetitif Nasional Skema Penelitian Terapan yang Dibiayai Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jendreral Penguatan Riset dan Pengembangan Kemeterian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi No.170/E4.1/AK.04.PT/2021 Tanggal 12 Juli 2021

LPPM Universitas Bung Hatta

SISTEM PLASMA

SEBAGAI TEKNOLOGI PENGOLAHAN

LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT

MENJADI BIOGAS

LPPM Universitas Bung Hatta

Sanksi pelanggaran pasal 44: Undang-undang No. 7 Tahun 1987 tentang Perubahan atas Undang-undang No. 6 Tahun 1982 tentang hak cipta.

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu dipidana dengan pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 100.000.000,- (seratus juta rupiah)
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta sebagaimana dimaksud dalam ayat 1 (satu), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (Iima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 50.000.000,- (lima puluh juta rupiah)

SISTEM PLASMA
SEBAGAI TEKNOLOGI PENGOLAHAN
LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT
MENJADI BIOGAS

RENI DESMIARTI

ARIADI HAZMI

Penerbit

LPPM Universitas Bung Hatta

2021

Judul : **SISTEM PLASMA SEBAGAI TEKNOLOGI PENGOLAHAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT MENJADI BIOGAS**

Penulis : **RENI DESMIARTI & ARIADI HAZMI**
Sampul : **RENI DESMIARTI & ARIADI HAZMI**

Perwajahan: LPPM Universitas Bung Hatta

Diterbitkan oleh LPPM Universitas Bung Hatta November 2021

Alamat Penerbit:

Badan Penerbit Universitas Bung Hatta

LPPM Universitas Bung Hatta Gedung Rektorat Lt.III

(LPPM) Universitas Bung Hatta

Jl. Sumatra Ulak Karang Padang, Sumbar, Indonesia

Telp.(0751) 7051678 Ext.323, Fax. (0751) 7055475

e-mail: lppm_bunghatta@yahoo.co.id

Hak Cipta dilindungi Undang-undang

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau

seluruhnya isi buku ini tanpa izin tertulis penerbit

Isi diluar tanggung jawab percetakan

Cetakan Pertama : November 2021

Perpustakaan Nasional RI: Katalog Dalam Terbitan (KDT)

SISTEM PLASMA SEBAGAI TEKNOLOGI PENGOLAHAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT MENJADI BIOGAS

Oleh : **RENI DESMIARTI & ARIADI HAZMI**, LPPM Universitas Bung Hatta, November 2021

85 Hlm + xii ; 18,2 cm

ISBN 978-623-5797-00-7

SAMBUTAN REKTOR
UNIVERSITAS BUNG HATTA

Visi Universitas Bung Hatta adalah menjadikan Universitas Bung Hatta Bermutu dan terkemuka dengan misi utamanya meningkatkan mutu sumberdaya manusia yang berada dalam jangkauan funsinya. Mencermati betapa beratnya tantangan universitas Bung Hatta terhadap dampak globalisasi, baik yang bersumber dari tuntutan internal dan eksternal dalam meningkatkan daya saing lulusan perguruan tinggi, maka upaya peningkatan kualitas lulusan universitas Bung Hatta adalah suatu hal yang harus dilakukan dengan terencana dan terukur. Untuk mewujudkan hal itu Universitas Bung Hatta melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat merancang program kerja dan memberikan dana kepada dosen untuk menulis buku, karena kompetensi seorang dosen tidak cukup hanya menguasai bidang ilmunya dengan kualaifikasi S2 dan S3, kita di tuntut untuk memahami elemen kompetensi yang bisa diaplikasi dalam proses pembelajaran. Melakukan riset dan menuangkan dalam bentuk buku.

Saya ingin menyampaikan penghargaan kepada Saudara dan saudari **RENI DESMIARTI & ARIADI HAZMI** yang telah menulis buku "**SISTEM PLASMA SEBAGAI TEKNOLOGI PENGOLAHAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT MENJADI BIOGAS**". Harapan saya buku ini akan tetap eksis sebagai wahana komunikasi bagi kelompok dosen dalam bidang ilmu "**Teknik Kimia dan Teknologi Plasma**" sehingga dapat dijadikan sebagai sumber bahan ajar untuk mata kuliah yang di ampu dan menambah kasanah ilmu pengetahuan mahasiswa.

Tantangan kedepan tentu lebih berat lagi, karena kendala yang sering di hadapi dalam penulisan buku ini adalah tidak di punyainya hasil-hasil riset yang bernas. Kesemuanya itu menjadi tantangan kita bersama terutama para dosen di universitas Bung Hatta.

Demikianlah sambutan saya, sekali lagi saya ucapkan selamat atas penerbitan buku ini. Semoga Tuhan Yang Maha Kuasa meridhoi segala upaya yang kita perbuat bagi memajukan pendidikan di Universitas Bung Hatta.

Padang, November 2021
Rektor

Prof. Dr. Tafdil Husni, SE, MBA.

KATA PENGANTAR

Kelapa sawit merupakan tanaman dengan nilai ekonomis yang cukup tinggi karena merupakan salah satu tanaman penghasil minyak nabati. Dalam industri pengolahan minyak kelapa sawit atau CPO (*Crued Palm Oil*) akan diperoleh limbah industri. Limbah ini digolongkan menjadi limbah padat,cair,dan gas. Limbah yang menjadi perhatian di Pabrik Kelapa Sawit adalah limbah cair atau dikenal dengan *Palm Oil Mill Effluent* (POME). POME memiliki potensi energi yang tinggi seperti memiliki kandungan organik yang tinggi, namun pada umumnya belum dimanfaatkan secara optimal. Oleh karena itu, diperlukan teknologi pemrosesan pada pengolahan POME agar dapat dimanfaatkan sebaik mungkin dan tidak menimbulkan kerusakan pada lingkungan.

Buku ajar ini mencoba membantu memahami tentang pengolahan limbah kelapa sawit atau POME menggunakan sistem plasma. Buku ajar ini membahas sumber dari limbah POME, Pengolahan limbah POME menggunakan sistem Elektrolisis dan Sistem *Dielectric Barrier Discharge* (DBD), Pemanfaatan sensor gas. Buku ajar ini lebih ditujukan kepada mahasiswa Teknik Kimia yang sedang mengambil mata kuliah Pengolahan Limbah. Buku ajar ini juga bisa digunakan oleh mahasiswa Teknik Elektro dan mahasiswa Teknik Lingkungan.

Akhirnya penulis tak lupa mengucapkan banyak terima kasih kepada PT Incasi Raya Group dan berbagai pihak yang telah membantu penulis dalam menyusun buku ajar ini. Mengingat ketidaksempurnaan buku ajar ini, penulis juga akan berterima kasih atas berbagai masukan dan kritikan demi kesempurnaan buku ajar ini dimasa datang.

Padang, 02 November 2021

Penulis

DAFTAR ISI

Hal.

SAMBUTAN REKTOR v

KATA PENGANTAR vii

DAFTAR ISI ix

PENDAHULUAN 1

BAB I

Sekilas Proses Pengolahan Kelapa Sawit dan Sumber Cair Kelapa Sawit di Industri 5

A. Potensi Minyak Kelapa Sawit di Indonesia 5

B. Pengolahan Minyak Kelapa Sawit 7

1. Transportasi TBS ke Pabrik 7

2. Stasiun Penerimaan TBS 9

3. Stasiun *Loading Ramp* 11

4. Stasiun Perebusan (*Sterilizer*) 12

5. Stasiun Bantingan (*Thresser*) 12

6. Stasiun Pelumat (*Digester*) 12

7. Stasiun Pengepresan (*Presser*) 12

8. Stasiun Klarifikasi (*Clarifier Station*) 12

9. Stasiun Kernel (*Kernel Plant*) 13

C. Sumber dan Karakteristik Limbah Cair Kelapa Sawit di Industri 14

D. Kesimpulan 16

E. Daftar Pustaka 16

BAB II

PENGOLAHAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT DI INDUSTRI 19

A. Proses Degradasi Senyawa Organik dengan Proses Biologis 19

B. Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit 20

C. Kesimpulan 27

D. Daftar Pustaka 27

BAB III
PEMANFAATAN SENSOR GAS UNTUK MONITORING PROSES 29
A. Prinsip Kerja Sensor Gas 29
B. Tipe Sensor Gas 30
C. Aplikasi Sensor Gas 38
D. Kesimpulan 38
E. Daftar Pustaka 39

BAB IV
PENGOLAHAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT MENJADI BIOGAS DENGAN SISTEM ELEKTROLISIS 41
A. Proses Elektrolisis 41
B. Profil Pengolahan Limbah Cair dengan Proses Elektrolisis 44
C. Kesimpulan 51
D. Daftar Pustaka 52

BAB V
PENGOLAHAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT MENJADI BIOGAS DENGAN SISTEM *DIELECTRIC BARRIER DISCHARGE* (DBD) 55
A. Proses Degradasi Senyawa Organik dengan Sistem Plasma 55
B. Proses *Dielectric Barrier Discharge* (DBD) 57
C. Profil Pengolahan Limbah Cair dengan *Dielectric Barrier Discharge* (DBD) 60
D. Profil Pengolahan Limbah Cair dengan Kombinasi Proses Aerobik dan *Dielectric Barrier Discharge* (DBD) 69
E. Kesimpulan 77
F. Daftar Pustaka 78
G. DAFTAR INDEX 81

DAFTAR INDEX

PENDAHULUAN

Sumber energi tidak terbaharui berasal dari minyak bumi, panas bumi dan batu bara, sedangkan sumber energi terbarukan berasal dari panas bumi, biomassa, matahari, angin, air dan gelombang. Saat ini pemakaian sumber energi dari minyak bumi dan batubara paling banyak digunakan dibandingkan dengan panas bumi. Proses pemanfaatan bahan baku sumber energi untuk bisa digunakan memerlukan teknologi yang tinggi. Pemakaian sumber energi tidak terbaharui secara terus menerus, menyebabkan sumber energi tersebut akan habis.

Peningkatan jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2020 adalah 270,2 juta jiwa dengan laju pertumbuhan penduduk tahun 2010-2020 sebesar 1,25 %. Persentase penduduk usia produktif (15-64 tahun) sebesar 70,72%. Meningkatnya jumlah penduduk akan meningkatkan pemakaian energi untuk kebutuhan bidang industri, transportasi, rumah tangga, dan bidang usaha lainnya. Berdasarkan *outlook energy* Indonesia tahun 2019, permintaan energi terbesar oleh sektor transportasi (35%) pada tahun 2025. Disamping itu untuk pemakaian sektor industri antara 37-42% pada tahun 2050. Keterbatasan sumber daya energi tak terbarukan, diperkirakan pada tahun 2033 diperkirakan Indonesia akan menjadi negara pengimpor energi karena konsumsi energi lebih tinggi dari total produksi.

Produksi bahan baku energi tak terbarukan seperti minyak bumi dan batu bara akan mengalami penurunan dan tidak bisa diimbangi oleh permintaan kebutuhan yang terus meningkat. Pemakaian batubara yang semakin meningkat untuk menghasilkan energi akan meningkatkan produksi emisi gas buang seperti CO_2, SO_x, NO_x, dan abu. Pemanfaatan energi terbarukan merupakan hal yang sangat penting untuk menjadi program strategis nasional untuk menjamin ketersediaan energi dimasa yang akan datang. Penggunaan energi terbarukan secara nasional meningkat dari 6,6% sampai 13,3 % pada tahun 2011 ke tahun 2030 yang didominasi oleh panas bumi, mikrohidro dan biomassa. Ketergantungan impor energi ini, dapat membahayakan ketahanan energi nasional,

karenanya upaya-upaya pemanfaatan energi terbarukan sangat diperlukan. Jumlah bahan baku energi yang berasal dari minyak bumi dan batu bara akan semakin menipis, karena tidak dapat diperbaharui. Hal ini memulai pengalihan pandangan peneliti menuju energi terbarukan yang dapat diregenerasi dari segi ketersediaan bahan baku.

Indonesia adalah penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia. Pada tahun 2020 tercatat sebesar 128,20 juta ton minyak per tahun dengan total kernel diperkirakan mencapai 11,5%. Minyak kelapa sawit merupakan salah satu minyak nabati yang bernilai ekonomis tinggi. Proses pengolahan minyak kelapa sawit menghasilkan limbah cair atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME) sebesar 0.5 - 0.7 m^3/ton tandan buah segar (TBS). Disamping itu juga menghasilkan limbah padat berupa tandan kosong sawit dan cangkang serta limbah dalam bentuk gas yaitu bau. POME mengandung *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) yang sangat tinggi, berbau, pH antara 4-4,5 dan mengandung total padatan tersuspensi (TSS) yang melebihi baku mutu lingkungan. POME akan menyebabkan pencemaran lingkungan sepeti meracuni makhluk hidup di perairan dan menimbulkan bau. Pengolahan POME sebelum dibuang ke lingkungan yang ada dilakukan oleh industri masih secara konvensional menggunakan proses biologi dengan memanfaatkan mikroorgnisme di kolam anaerobik dan aerobik.

Studi kasus pengolahan POME di industri menunjukkan bahwa proses pengolahan POME dengan menggunakan kolam anaerobik dan aerobik untuk untuk kapasitas produksi 30 ton TBS per jam, membutuhkan lahan sekitar 7 ha dan waktu pengolahan 120 hari. Selain itu, energi yang dibutuhkan untuk proses aerobik sangat besar dan lumpur yang dihasilkan banyak. Hal ini menyebabkan pendangkalan kolam yang mengakibatkan baku mutu limbah tidak dapat memenuhi baku mutu lingkungan. Pemanfaatan energi listrik untuk pengolahan POME merupakan alternatif pengolahan yang mempunyai prospek dimasa yang akan datang. Sistem ini dikenal dengan proses elektrolisis, *pulse high voltage* dan *Dielectric Barrier Discharge* (DBD). Ketiga proses tersebut akan menghasilkan spesies aktif

seperti OH^- (hidroksida), H^+ (hidrogen) dan senyawa aktif seperti O_3 (ozon) dan H_2O_2 (hidrogen peroksida) hasil dari pemecahan senyawa H_2O. Spesies dan senyawa aktif tersebut akan mendegradasi senyawa organik menjadi molekul yang lebih sederhana seperti biogas (H_2, CH_4, CO dan CO_2). Gas-gas ini bisa dipergunakan sebagai sumber energi terbarukan yang dapat diperbaharui. Keuntungan lain dari teknologi plasma adalah mengurangi pemakaian lahan yang diperlukan, memperpendek waktu pengolahan dan mengurangi bau. Masih mahalnya teknologi penyimpanan biogas dan peralatan plasma, akan menjadi tantangan untuk peneliti terus melakukan inovasi dan kreatif untuk bisa mengolah POME menjadi biogas dengan biaya yang kompetitif dan ekonomis.

BAB I
SEKILAS PROSES PENGOLAHAN KELAPA SAWIT DAN SUMBER CAIR KELAPA SAWIT DI INDUSTRI

A. Potensi Minyak Kelapa Sawit di Indonesia

Selama beberapa dekade terakhir, biomassa telah menjadi salah satu sumber energi yang paling menjanjikan sebagai alternatif yang memungkinkan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar konvensional,meningkatnya permintaan energi mendorong eksplorasi sumber energi alternatif [Striūgas dkk, 2020]. Sumber energi yang mulai dimanfaatkan masyarakat adalah biogas dari biomassa. Semakin maju teknologi menyebabkan pemanfaatan bahan bakar beralih ke bahan bakar fosil, seperti minyak, batu bara, dan gas alam [Kholiq, 2015]. Krisis minyak pernah mencapai puncak pada dekade 1970-an [Parinduri dkk, 2020]. Hal ini banyak menimbulkan pandangan peneliti untuk energi terbarukan yang dapat diregenerasi dari segi bahan baku.

Salah satu energi terbarukan dengan sumber terbanyak diantaranya yaitu biomassa [Sudaryanti dkk, 2017]. Biomassa merupakan sumber energi paling penting di setiap wilayah [Klein dkk, 2014]. Biomassa adalah bahan organik yang diperoleh melalui proses fotosintesis, berupa produk maupun buangan. Contoh biomassa yaitu pepohonan, rumput, tanaman, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja, dan kotoran ternak [Parinduri dkk, 2020]. Untuk aplikasi yang lebih luas dan pemanfaatan biomassa yang sering digunakan seperti biometana. Biometana dapat langsung digunakan sebagai bahan bakar transportasi atau disambungkan ke jaringan gas alam [Striūgas dkk, 2020].

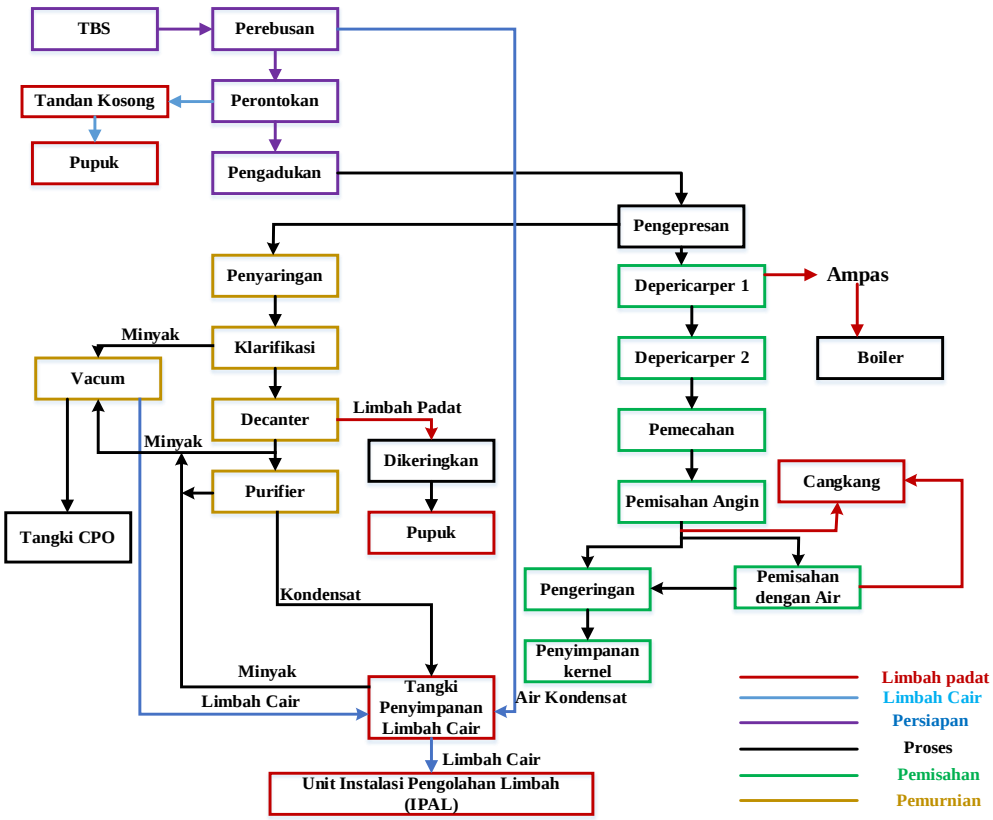
Sebagai produsen minyak kelapa sawit terbesar [Kementerian Pertanian, 2018], Indonesia telah menjadi pelopor dalam penyediaan keberagaman minyak kelapa sawit melalui serangkaian penelitian yang berkesinambungan [Hazmi dkk, 2016]. Pada tahun 2017 permintaan minyak kelapa sawit di indonesia diperkirakan mencapai 16,43 juta ton, sedangkan

jumlah penawaran minyak kelapa sawit Indonesia mencapai 45,56 juta ton [Napitupulu, dkk., 2019]. Penggunaan minyak kelapa sawit yang setiap tahun semakin meningkat disebabkan oleh penggunaannya yang beragam seperti pada industri makanan, *biofuel*, kosmetik dan *biogas* [Hansen SB dkk, 2015].

Pengolahan minyak kelapa sawit merupakan ekstraksi mekanis CPO dari tandan buah segar (TBS) kelapa sawit yang dilanjutkan dengan proses pemurnian. Seluruh proses pengolahan terdiri dari proses yang berbeda-beda dan saling terkait. Pengolahan minyak kelapa sawit menghasilkan berbagai macam limbah cair dan padat, limbah padat contohnya tandan kosong, cangkang dan serabut yang biasa dimanfatkan sebagai pupuk, limbah cair kelapa sawit/POME (*Palm Oil Mill Effluent*). 600-700 liter POME dihasilkan dari setiap 1 ton tandan buah segar (TBS) [PT. Incasi Raya Group]. Pada umumnya pengolahan limbah cair industri kelapa sawit menggunakan metode pengolahan limbah kombinasi. yaitu dengan sistem proses *anaerobik* dan *aerobik* namun proses tersebut menghasilkan biogas yang relatif sedikit dan memakan waktu yang sangat lama. Limbah cair kelapa sawit biasanya adalah sisa-sisa dari produk pengolahan tandan buah segar kelapa sawit, yang menghasilkan minyak sawit kasar dengan tingkat polutan yang sangat tinggi dan tidak dapat langsung di buang ke lingkungan [Permpool dkk, 2016]. Pada umumnya POME belum dimanfaatkan secara optimal walaupun memiliki potensi energi yang tinggi [L Parinduri, 2018]. POME memiliki kandungan BOD 30.000 mg/L dan COD 60.000 mg/L didalamnya sehingga pengaruhnya cukup besar terhadap lingkungan dan untuk standar baku mutu limbah cair kelapa sawit yaitu COD 350 mg/L dan BOD 100 mgL. Oleh karena itu, agar tidak menjadi sumber pencemaran lingkungan, limbah POME harus diolah dan dimanfaatkan semaksimal dan menghasilkan energi keterbaruan [Hasanudin dan Haryanto, 2017]

B. Pengolahan Minyak Kelapa Sawit

Proses pengolahan minyak kelapa sawit dan limbah yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 1.1 berikut :



Gambar 1.1 Proses pengolahan minyak kelapa sawit dan limbah yang dihasilkan

1. Transportasi TBS ke Pabrik

Untuk memenuhi kebutuhan produksi pengolahan kelapa sawit alat transportasi memiliki peranan penting dalam proses pengangkutan TBS. Pada perusahaan Sinar Mas Agribusiness and Food (SMAF), seluruh TBS yang dipanen dari kebun dikirimkan ke PKS dalam waktu 24 jam. Hal ini dilakukan untuk menghasilkan Tingkat Ekstraksi Minyak (TEM) dan kualitas

minyak sawit mentah (CPO) yang lebih tinggi. Jenis alat transportasi untuk pengangkutan TBS sebagai berikut:

A. *Dump Truck*

Pengangkutan TBS dapat menggunakan *dump truck*. Kapasitas yang dapat diangkut sebesar 6-8 ton. Kondisi perjalanan menuju pabrik yang ditempuh terkadang terdapat jalan yang beraspal dan berbatu. Adapun proses penganggkutan TBS menggunakan metode tenaga manusia.

Gambar 1.2. Kegiatan pengangkutan TBS dengan menggunakan transportasi *Dump Truck* [www.smart-tbk.com]

B. Kapal Tunda

Kapal tunda digunakan pada kondisi geografis yang terdapat sungai dekat dari perkebunan kelapa sawit mampu menuju ke pabrik. Kapal tunda mampu menarik 4-7 tongkang dan satu tongkang dapat mengangkut 10-15 ton TBS. Terdapat dua cara yang digunakan pengumpul TBS untuk memuat TBS ke atas tongkang:

a. Menggunakan tenaga manusia secara manual dengan menggunakan galah logam.
b. Menggunakan perahu *crane grabber,* metode ini menggunakan alat pengangkut yang mempermudah mengangkut kelapa sawit dalam kapasitas yang lebih besar disbandingkan dengan tenaga manusia.

Pada Gambar 1.3. dapat dilihat kegiatan pengangkutan TBS dengan menggunakan kapal tunda.

Gambar 1.3. Kegiatan pengangkutan TBS dengan menggunakan transportasi Kapal tunda [www.smart-tbk.com]

2. Stasiun Penerimaan TBS

Pada tahap ini berfungsi sebagai tempat penerimaan TBS dari kebun yang dimiliki perusahaan sendiri atau membelinya dari pihak ketiga. Pembelian bahan baku (TBS) bertujuan untuk memenuhi kapasitas produksi Crude Palm Oil (CPO). Berdasarkan Nusril, dkk [2014], terdapat alur penanganan penerimaan TBS:

a. Pengambilan Nomor Antrian

Tahap pertama yaitu pengambilan nomor antrian. Pemasok yang masuk harus menyerahkan kertas kepada petugas yang berisi nomor *delivery order*, asal TBS, dan data pengangkutan. Pemasok akan diberi nomor urut untuk memasuki TBS ke pabrik dengan diberi berupa cap sebagai tanda telah siap mengikut proses selanjutnya.

b. Pemanggilan Nomor Atrian

Pada tahap ini, sopir pengangkut TBS akan segera memberikan kertas yang *delivery order* pada pos pemanggilan nomor atrian. Disini akan menulis lengkap nomor antri, nomor polisi, nomor kontak, nama sopir, asal TBS, dan pemilik kontrak. Selanjutnya, pemasok diizinkan masuk ke tahapan berikutnya yaitu penimpangan dan sortasi bongkar muat.

c. Jembatan Timbang

Tahap ketiga adalah penimbangan angkutan TBS secara dua kali yaitu untuk berat angkutan tanpa sopir dan TBS serta pada saat keluar yaitu berat truk. Selisih timbangan ini dilakukan untuk mengetahui berat bersih

TBS yang masuk ke pabrik. Alat yang digunakan pada proses ini dinamakan jembatan timbang. Proses penimbangan membutuhkan waktu 2-5 menit, kemudian kendaraan dapat lanjut ke tahapan sortasi dan bongkar muat. Pada Gambar 1.4. merupakan kegiatan penimpangan angkutan yang membawa TBS.

Gambar 1.4. Proses penimbangan angkutan pada jembatan timbang

d. Sortasi

Tujuan sortasi dilakukan untuk mengetahui kualitas TBS dari setiap kendaraan yang masuk. Manfaat sortasi adalah dapat meningkatkan kualitas CPO dan mengurangi beban kerja mesin pabrik. Penentuan kualitas TBS dilakukan secara manual oleh *grader* yang telah berpengalaman. Setiap unit kendaraan diambil sampel untuk menentukan kualitas TBS yang memenuhi syarat akan diterima oleh pabrik, sedangkan yang tidak memenuhi syarat akan ditolak. Untuk mengetahui kualitas TBS digunakan indikator tingkat kematangan. Indeks kematangan TBS yaitu berupa warna, kekerasan, dan ukuran. Berdasarkan Fauzi dkk., [2007], tingkat kematangan dapat dibedakan atas beberapa fraksi yang ditentukan berdasarkan jumlah buah yang lepas dan perubahan warna yang dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1. Klarifikasi tingkat kematangan buah kelapa sawit [Fauzi, dkk., 2002]

Fraksi	Jumlah Brondolan	Keterangan
00	Tidak ada, buah berawrna hitam	Sangat mentah
0	1 – 12,5 % buah luar membrondol	Mentah
1	12,5 – 25 % buah luar membrondol	Kurang matang
2	25 – 50 % buah luar membrondol	Matang I
3	50 – 75 % buah luar membrondol	Matang II
4	75 – 100 % buah luar membrondol	Lewat matang I
5	Buah dalam juga membrondol, ada yang membusuk	Lewat matang I

3. Stasiun *Loading Ramp*

Selesai TBS ditimbang, selanjutnya dibawa ke *Loading Ramp* dan dimasukkan ke tiap – tiap *bays* dari *loading ramp*. TBS akan dimasukkan ke dalam lori – lori dengan kapasitas 9,5 ton TBS untuk kapasitas 50 ton TBS/jam dengan cara membuka pintu *bays* yang diatur dengan sistem pintu hidraulik. Lantai *loading ramp* dibuat berkisi – kisi dan miring sehingga saat pembongkaran TBS dari truk maupun pemasukan TBS ke lori, sebagian besar kotoran turun / keluar melalui kisi-kisi tersebut dan juga bertujuan untuk memisahkan kotoran – kotoran seperti pasir, kerikil dan sampah-sampah lain yang terikut. Fungsi loading ramp antara lain adalah:

a. Tempat menampung TBS dari kebun sebelum diproses
b. Mempermudah pemasukan TBS ke lori
c. Mengurangi kadar kotoran.

Pada Gambar 1.5. merupakan proses pengangkutan ke stasiun *Loading Ramp.*

Gambar 1.5. Kegiatan pada Stasiun *Loading Ramp*

4. Stasiun Perebusan (*Sterilizer*)

Proses perebusan merupakan proses perebusan tandan buah segar di dalam suatu bejana uap bertekanan (*sterilizer*). Perebusan dilakukan pada *sterilizer* yang berupa bejana uap bertekanan.

5. Stasiun Bantingan (*Thresser*)

Pada tahap ini, TBS akan dibanting sehingga brondolan lepas dari tandannya. *Screw conveyor* akan menampung brondolan yang keluar dari bagian bawah untuk dikirim ke bagian *digesting* dan *pressing*. Sedangkan, *elevator* akan menampung tandan kosong yang keluar dari bagian belakang.

6. Stasiun Pelumat (*Digester*)

Brondolan yang telah terpisah diangkut ke stasiun pelumat (*digester*). Proses pelumat berfungsi untuk mempersiapkan daging buah untuk proses *pressing* dengan dipanaskan dengan uap bersuhu 90-95 ^{o}C dan terdapat alat pemotong. Hal ini mempermudah pemisahan minyak dan daging buahnya dengan efisien.

7. Stasiun Pengepresan (*Presser*)

Proses pengepresan menggunakan mesin *screw press*. Minyak kasar akan didapatkan dari proses pelumatan dengan memeras brondolan yang telah dipotong dan dilumat dari *digester*.

8. Stasiun Pemurnian (*Clarifier Station*)

Stasiun terakhir dalam pengelolaan kelapa sawit menjadi CPO adalah stasiun Pemurnian. Tahap ini, minyak mentah yang telah didapatkan dari stasiun pengepresan akan dibersihkan dan dimurnikan, sehingga diperoleh minyak kelapa sawit murni. Terdapat beberapa alat-alat yang digunakan pada proses ini diantaranya yaitu:

a. *Sand Trap*

   Alat ini berfungsi untuk mengendapkan partikel-partikel pasir dan lumpur yang terdapat pada minyak.

b. Saringan Getar

Untuk menyaring atau memisahkan minyak mentah dari serabut atau pengotor lainnya yang dapat mengganggu proses pada pemisahan minyak.

c. *Vertical Clarifier Tank*

Alat ini untuk memisahkan minyak dan air secara gravitasi terhadap perbedaan berat jenis.

d. *Crude Oil Tank*

Berfungsi untuk pengendapan kotoran dan sebagai penampung sebelum minyak di pompa ke mesin *purifier*.

e. *Oil Purifier*

Berfungsi untuk mengurangi kadar kotoran dan air yang terdapat pada minyak. Prinsip pemisahan menggunakan perbedaan berat jenis.

f. *Vacuum Dryer*

Alat ini bertujuan untuk mengurangi kadar air dalam minyak.

g. *Storage Tank*

Alat ini berfungsi sebagai tempat penyimpanan pada minyak produksi.

9. Stasiun Kernel (*Kernel Plant*)

Campuran yang telah keluar dari proses pengepresan akan dilanjutkan ke stasiun kernel untuk diproses kembali untuk mendapatkan fiber dan cangkang yang akan digunakan untuk bahan bakar pada boiler. Adapun alat-alat yang digunakan diataranya yaitu:

a. *LTDS (Light Tenera Dust Separation*)

Alat ini berfungsi sebagai pemisahan cangkang dan inti dengan proses penekanan.

b. *Kernel Silo*

Untuk mengurangi kadar air yang terdapat pada minyak. Suhu yang digunakan pada proses ini terdiri dari tiga tingkatan yaitu pada bagian atas 60°C, bagian tengah70^{o}C, dan bagian bawah 80°C.

c. *Bunker*

Bunker berfungsi sebagai tempat penyimpanan produksi pada minyak yang akan dikirim ke pasar.

C. Sumber dan Karakteristik Limbah Cair Kelapa Sawit di Industri

Indonesia adalah negara dengan penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia. Limbah cair yang dihasilkan dari pabrik minyak kelapa sawit (PMKS) berkisar antara 550 sampai 670 kg/ton tandan buah segar (TBS) (Maryadi, 2006). Pengolahan minyak kelapa sawit menghasilkan berbagai macam limbah padat dan cair, limbah padat contohnya tandan kosong, cangkang dan serabut yang biasa dimanfatkan sebagai pupuk, limbah cair kelapa sawit (*Palm Oil Mill Effluent*) yang disebut POME. Limbah cair kelapa sawit mengandung bahan anorganik dan organik cukup tinggi. Seperti COD (*Chemical Oxygen Demand*). COD adalah oksigen (O_2) yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa organik secara kimawi, BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) yaitu suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik (Nuraini, dkk., 2019). TSS (*Total suspended solid*) merupakan padatan tersuspensi total merupakan residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimal 2µm atau lebih besar dari ukuran partikel koloid. Semua parameter atau kandungan limbah cair PMKS berada diatas ambang batas baku mutu limbah. Lingkungan akan terkena dampak negatif apabila tidak dilakukan pencegahan dan pengolahan limbah, dampak negatif yang akan ditimbulkan salah satunya pencemaran air yang dapat mengganggu bahkan meracuni biota perairan, menimbulkan bau, dan menghasilkan gas metan, gas karbon dioksida (CO_2) yang merupakan emisi gas penyebab efek rumah kaca yang berdampak bahaya bagi lingkungan. Kandungan yang terdapat dalam limbah cair kelapa sawit dan baku mutu yang diizinkan oleh pemerintah dapat dilihat pada Tabel 1.1 dan 1.2 sebagai berikut:

Tabel 1.1 *Kandungan Limbah Cair Kelapa Sawit* [Irvan, dkk., 2012; Desmiarti dkk., 2021]

No	Parameter	Satuan	Kisaran
1	*Biological Oxygen Demand* (BOD)	mg/L	20.000 - 30.000
2	*Chemical Oxygen Demand* (COD)	mg/L	40.000 - 60.000
3	*Total Suspended Solid* (TSS)	mg/L	15.000 - 40.000
4	*Total Solid* (TS)	mg/L	30.000 - 70.000
5	Minyak dan Lemak	mg/L	5.000 - 7.000
6	NH_3-N	mg/L	30 – 40
7	Total N	mg/L	500 – 800
8	Suhu	^oC	90 – 140

Tabel 1.2 Baku mutu limbah cair untuk industri minyak sawit [*Keputusan menteri negara dan lingkungan hidup No 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah]*

No	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum	Beban Pencemaran Maksimum (Kg/Ton)
1	COD	mg/L	350	0,88
2	BOD	mg/L	100	0,25
3	TSS	mg/L	250	0,63
4	pH	-	6 – 9	

POME memiliki pengaruh cukup besar terhadap lingkungan karena kandungan BOD 30.000 mg/L dan COD 60.000 mg/L didalamnya dan untuk standar baku mutu limbah cair kelapa sawit yaitu COD 350 mg/L dan BOD 100 mg/L. Oleh karena itu, POME harus diolah dan dimanfaatkan semaksimal mungkin agar tidak menjadi sumber pencemaran lingkungan dan menghasilkan energi keterbaruan (Hasanudin dan Haryanto, 2017) Untuk mencegah pencemaran lingkungan limbah cair yang dihasilkan harus dikelola dengan baik. agar tidak mengakibatkan pencemaran lingkungan.

D. Kesimpulan

POME memiliki potensi energi yang tinggi seperti memiliki kandungan organik yang tinggi, namun pemanfaatannya secara umum belum optimal. Oleh karena itu, diperlukan teknologi pemrosesan pada pengolahan POME agar dapat dimanfaatkan sebaik mungkin dan tidak menimbulkan kerusakan pada lingkungan.

E. Daftar Pustaka

Desmiarti R., Utami Nola T., Adios M., Sakti Ofta B., Saputra Dharma R., Hazmi, A., Rosadi Maulana Y., The Input Voltage and Reaction Time from Dielectric Barrier Discharge Treatment Affect the Biogas Production and the Reduction of Pollutants in Palm Oil Mill Effluent., 2nd International Symposium of Indonesian Chemical Engineering (ISIChem) (Submitted)

Fauzi .Y., Yustina. E.W. Iman. S. Rudi. H. 2002. Kelapa Sawit Budidaya Pemanfaatan Hasil dan Limbah Analisis Usaha dan Pemasaran.Penerbit Swadaya. Jakarta.

Hansen S B, Padfield R, Syayuti K, Evers S, Zakariah Z and Mastura S. (2015). Trends in global palm oil sustainability research. *J. Clean. Prod*, vol 100, pp 140–149

Hasanudin, U., & Haryanto, A. (2017). Karakteristik Pengolahan Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit Dalam Bioreaktor Cigar Semi Kontinu Characteristic of Palm Oil Mill Waste Water Treatment Using Semicontinue Anaerobic Cigar Bioreactor. *Teknik Pertanian Lampung*, *6*(2), 81–88.

Hazmi, A., Desmiarti R., Waldi Eka P., Emeraldi P., Preliminary study on treatment of palm oil mill effluent by sand filtration-dielectric barrier discharge system. *J. Eng. Technol. Sci.*, Vol. 48, No. 1, 2016, 21-30.

Irvan, Trisakti, B., Vincent, M., Tandean, M. 2012. Pengolahan Lanjut Limbah Cair Kelapa Sawit Secara Aerobik Menggunakan Effective Microorganism Guna Mengurangi Nilai Tss*. Jurnal Teknik Kimia*,Vol. 1,

No. 2, 27-30.

Kementerian Pertanian. (2018). *Statistik Perkebunan Indonesia 2017 – 2019*. Sekretariat Direktorat Jenderal Perkebunan.

Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 1995.

Kholiq Imam. (2015). Pemanfaatan energi alternatif sebagai energi terbarukan untuk mendukung subtitusi BBM. *Jurnal IPTEK*. Vol. 19 No. 2, Desember 2015.

Klein, D., Humpenöder, F., Bauer, N., Dietrich, J. P., Popp, A., Leon Bodirsky, B., Bonsch, M., & Lotze-Campen, H. (2014). The global economic long-term potential of modern biomass in a climate-constrained world. *Environmental Research Letters*, *9*(7), 074017.

Maryadi. (2006). *Analisis ekonomi pemanfaatan limbah cair di kebun sawit sei manding, riau*. *1*, 109–115.

Napitupulu T. S., Bakce D., Syahza A., Asmit B., Hadi S., (2019). Model penawaran dan permintaan minyak kelapa sawit indonesia di pasar internasional. *Jurnal Dinamika Pertanian,* Edisi Khusus Nomor 3 Desember 2019 (119 – 128).

Nuraini E., Fauziah T., Lestari F., (2019). Penentuan nilai BOD dan COD limbah cair inlet laboratorium pengujian fisis politeknik atk yogyakarta. *Integrated Lab Journal*. Vol. 07, No. 02, Oktober 2019.

Parinduri, L. (2018). Analisa Pemanfaatan Pome Untuk Sumber Pembangkit Listrik Tenaga Biogas Di Pabrik Kelapa Sawit. *JET (Journal of Electrical Technology)*, *1099*, 180–183. https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/jet/article/view/964

Parinduri, Luthfi, & Parinduri, T. (2020). Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *JET (Journal of Electrical Technology)*, *5*(2), 88–92.

Permpool, N., Bonnet, S., & Gheewala, S. H. (2016). Greenhouse gas emissions from land use change due to oil palm expansion in Thailand

for biodiesel production. *Journal of Cleaner Production*, *134*(Part B), 532–538. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.048

Striūgas, N., Tamošiūnas, A., Marcinauskas, L., Paulauskas, R., Zakarauskas, K., & Skvorčinskienė, R. (2020). A sustainable approach for plasma reforming of tail biogas for onsite syngas production during lean combustion operation. *Energy Conversion and Management*, *209*(February).

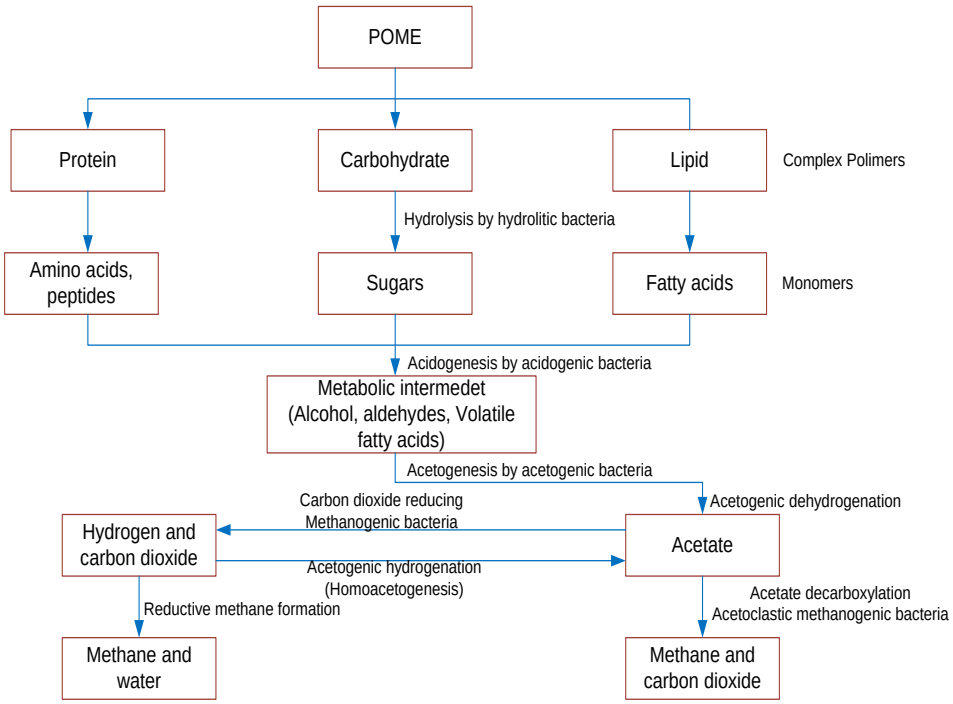
Sudaryanti, D. A., Fauzi, A., Dharmawan, A. H., & Putri, E. I. K. (2017). Bioenergi Dan Transformasi Sosial Ekonomi Pedesaan (Studi Kasus: Desa Talau Dan Desa Tanjung Beringin, Kabupaten Pelalawan, Provinsi Riau). *Sodality: Jurnal Sosiologi Pedesaan*, *5*(No 3), 191–200.

www.smart-tbk.com diakses pada tanggal 4 September 2021

BAB II
PENGOLAHAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT DI INDUSTRI

A. Proses Degradasi Senyawa Organik dengan Proses Biologis

Limbah cair kelapa sawit memiliki kandungan senyawa organik yang tinggi, seperti protein, karbohidrat, dan lemak. Karakteristik yang terdapat pada limbah cair kelapa sawit miliki potensi yang besar pada pencemaran lingkungan apabila dibuang secara langsung. Sehingga, potensi tersebut dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai sumber nutrisi untuk menghasilkan energi. Senyawa organik yang kompleks akan terurai menjadi senyawa yang lebih sederhana oleh mikroorganisme. Proses-proses yang digunakan secara aerob dan anaerob. Pengolahan limbah cair kelapa sawit (POME) di industri dilakukan secara konvensional yang bertujuan untuk menghasilkan biogas. Proses penguraian senyawa organik menjadi biogas dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut :



Gambar 2.1 Proses Penguraian POME menjadi biogas secara anaerobik
Sumber : (Ohimain & Izah, 2017)

Hidrolisis, asidogenesis, acetogenesis dan metanogenesis merupakan tahap utama dalam pembentukan gas metana melalui metabolisme anaerobik (Tchobanoglous dkk, 2003). Tahap hidrolisa senyawa organik kompleks yang terlarut ataupun yang tersuspensi dari berat molekul besar (polimer) menjadi senyawa organik sederhana (monomer). Enzim ekstraseluler seperti protase dan lipase digunakan dalam hidrolisis komplek (Widiatmini dkk., 2019).

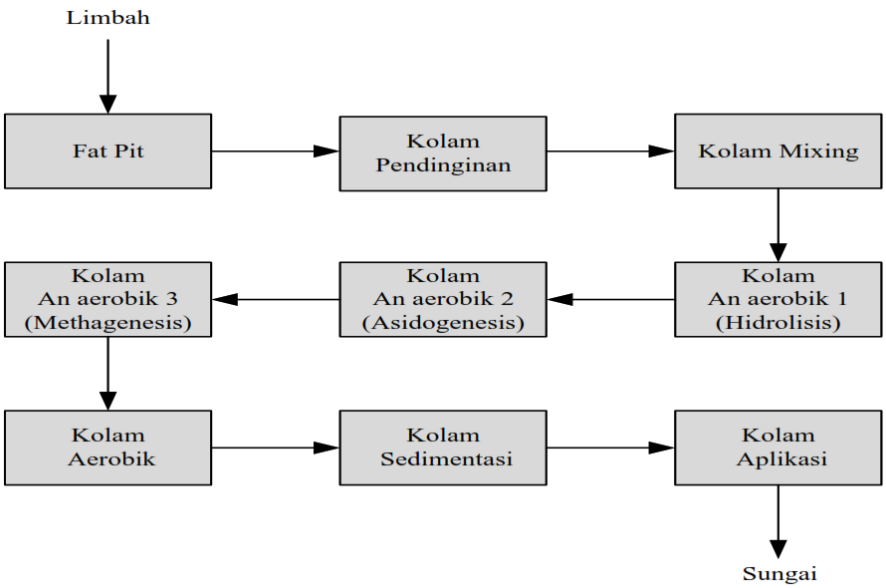
Tahap asidogenesis adalah pembentukan asam organik (asam asetat, propionat, butirat, laktat, format), alkohol, dan keton (etanol, metanol, gliserol dan aseton), CO_2 dan H_2 dari monomer-monomer hasil hidrolisa dengan melibatkan bakteri-bakteri penghasil asam seperti bakteri asetogenik. Bakteri yang berperan diantaranya bakteri obligat anaerob dan bakteri anaerob fakultatif. Produk utama dari proses ini adalah asam asetat disertai dengan pembentukan karbon dioksida atau hidrogen, tergantung kondisi oksidasi dari bahan organik aslinya. Tahap metaogenesis adalah pembentukan metana dengan melibatkan bakteri metanogen. Produksi metana menggunakan dua kelompok bakteri yaitu *aceticlastic methanogen* yang mengubah asetat menjadi gas metana dan karbon dioksida. Bakteri kedua yaitu metanogen dengan memanfaatkan hidrogen sebagai donor elektron dan CO_2 sebagai aseptor elektron untuk menghasilkan metana. Bakteri yang di gunakan pada proses anaerobik, yaitu bakteri acetogen dengan menggunakan CO_2 untuk melakukan proses oksidasi dan membentuk asam asetat. Asam asetat selanjutnya dikonversi menjadi metana. Sekitar 72% asam asetat dapat menghasilkan metana yang diproduksi dalam digester anaerobik.

B. Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit

Pengolahan limbah cair industri kelapa sawit pada umumnya menggunakan metode pengolahan limbah kombinasi. yaitu dengan sistem proses *anaerobik* dan *aerobik*. Pengolahan limbah secara anaerobik merupakan proses degradasi senyawa organik seperti karbohidrat, protein dan lemak yang terdapat dalam limbah cair oleh bakteri anaerobik tanpa kehadiran oksigen menjadi biogas yang terdiri dari CH_4, N_2, H_2, H_2S dalam

jumlah kecil dengan waktu tinggal selama 30 hari, setelah dilakukan proses pengolahan limbah cair secara *anaerobic* dilanjutkan dengan *aerobic* selama 15 hari untuk waktu proses. Pengolahan tandan buah segar (TBS) yang dilakukan pada pabrik pengolahan kelapa sawit menghasilkan produk samping berbentuk limbah padat berupa serabut, janjang kosong, dan cangkang serta limbah cair POME (*Palm Oil Mill Effluent*). Penelitian telah dilakukan oleh Yonas dkk., [2012] yairu proses pengolahan POME dilakukan dengan cara anaerobik, aerobik, serta menggunakan membran, dan evaporasi. Pada anaerobik memiliki keuntungan penggunaan minim energi dikarenakan tidak menggunakan aerasi, sistem anaerobik ini mempunyai kekurangan yaitu membutuhkan waktu yang lama dan *start up* yang lambat. Keuntungan pengolahan secara aerobik yaitu waktu proses pengolahan relatif lebih cepat dan efektif, tetapi kekuranganya memerlukan energi yang besar untuk aerasi.

Pada umumnya proses pengolahan POME di industri sebagai berikut: Sistem pengolahan POME di industri ditampilkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Proses pengolahan limbah cair pada industri kelapa sawit

Kolam fat pit adalah tempat penampungan limbah cair dari pabrik kelapa sawit. Kolam fat pit ini digunakan untuk menampung limbah cair yang masih mengandung minyak yang berasal dari air kondesat dan stasiun klarifikasi. Pada kolam fat pit dilakukan pengutipan minyak menggunakan *skimmer* dan minyak yang di alirkan kembali ke unit proses pengolahan minyak sawit. Limbah dari kolam fat pit ini kemudian dialirkan ke kolam pendinginan.

Pada kolam pendinginan yang dapat dilihat pada Gambar 2.3., limbah cair dari kolam fat pit mempunyai suhu yang masih relatif tinggi yaitu sekitar 60-80°C. Pada kolam pendinginan suhu limbah cair diturunkan menjadi 40-45°C. Proses pendinginan ini dilakukan untuk memperbesar perbedaan berat jenis antara minyak dan air untuk proses pengendapan, agar kadar minyak dapat berkurang pada limbah cair. Selain untuk proses pengendapan, tujuan dilakukanya proses pendinginan adalah menghasilkan suhu yang sesuai pada proses berikutnya yaitu proses biologis yang menggunakan bakteri. Waktu pendinginan yang dibutuhkan sekitar 3 hari. Setelah dari kolam pendingin, limbah cair akan dialirkan ke kolam *mixing*.

Gambar 2.3 Kolam Pendinginan

Pada Gambar 2.4 dapat dilihat yaitu kolam *mixing*. Pada kolam ini limbah cair mengalami proses asidifikasi yaitu limbah cair akan dirombak menjadi *volatile fatty acid* (VFA), sehingga air limbah yang mengandung bahan organik lebih mudah mengalami biodegradasi. Dalam kolam ini pH limbah umumnya berkisar 3-4, kemudian pH nya naik setelah asam organik

terurai kembali oleh proses hidrolisa yang berlanjut. Setelah dari kolam mixing limbah cair dialirkan ke dalam kolam anaerobik.

Gambar 2.4. Kolam *Mixing*

Kolam anaerobik 1 yang dapat dilihat pada Gambar 2.5**.** Proses pada kolam anaerobik yaitu proses yang terjadi secara alami yang melibatkan beberapa jenis mikroorganisme. Pada kolam anaerobik 1 limbah cair mengalami proses hidrolisis. Karbonhidrat dihidrolisis menjadi glukosa, protein dihidrolis menjadi asam amino dan lemak dihidrolisis menjadi gliserol dengan bantuan mikroorganisme hidrolitik. Waktu hidrolisis pada kolam ini selama 40 hari. Setelah melalui kolam anaerobik 1, limbah cair dialirkan ke dalam kolam anaerobik 2.

Gambar 2.5*.* Kolam Anaerobik 1

Pada Kolam anaerobik 2 terjadi proses asidogenesis. Produk yang dihasilkan dari proses dihidrolisis dikonversi oleh bakteri *acidogenic* menjadi subtrast bagi bakteri *methanogenik*. Pada kolam ini glukosa, asam amino, dan gliserol terdegradasi menjadi asetat, karbondioksia dan hidrogen. Waktu proses asidogenesis selama 40 hari. Setelah dari kolam anaerobik 2 limbah

cair selanjutnya dialirkan ke dalam kolam anaerobik 3. Pada Gambar 2.6. merupakan Kolam Anerobik 2.

Gambar 2.6. Kolam An aerobik 2

Kolam anaerobik 3. terjadi proses methagenesis. Pada tahap ini terjadi degradasi lanjutan yakni pengubahan senyawa asam yang mudah menguap menjadi gas-gas seperti metana, karbon dioksida, hidrogen sulfida dan lain-lain. Gas metana (CH_4) dan gas karbon dioksida (CO_2) akan terbentuk, 70% dari gas metana yang terbentuk berasal dari asetat, sedangkan sisanya 30% terkonversi menjadi hidrogen (H_2) dan karbon dioksida (CO2). Waktu proses asidogenesis pada kolam ini selama 20 hari. Total hari keseluruhan proses kolam anaerobik yaitu 100 hari. Dalam kurun waktu tersebut proses perombakan sudah berlangsung secara optimal dan kadar BOD dapat diturunkan sebesar 80 %. Setelah dari kolam anaerobik 3 limbah cair selanjutnya dialirkan ke dalam kolam aerobik. Pada Gambar 2.7. merupakan Kolam Anerobik 3.

Gambar 2.7 Kolam Anaerobik 3.

Proses penguraian berikutnya terjadi secara aerobik, yaitu proses yang berlangsung dengan membutuhkan oksigen melalui udara. Oksigen diperlukan untuk pertumbuhan maupun untuk respirasi. Waktu penahanan pada kolam aerobik selama 15 hari. Dengan menggunakan aerator dan suplai oksigen yang cukup, maka angka BOD dapat ditekan. Efisiensi penguraian dengan cara oksidasi dapat mencapai > 95%. Setelah dari kolam aerobik limbah cair selanjutnya dialirkan ke dalam kolam sedimentasi. Pada Gambar 2.8. merupakan kolam aerobic.

Gambar 2.8. Kolam Aerobik

Kolam sedimentasi dapat dilihat pada Gambar 2.9. Kolam ini berfungsi untuk memisahkan cairan dari lumpur yaitu menggunakan *Backhoe PC*, dan zat kimia. Bahan kimia yang dicampurkan dalam kolam ini adalah, klorin/tawas. Waktu penahanan limbah cair pada kolam ini selama 4 hari. Setelah dari kolam sedimentasi limbah cair dialirkan ke kolam aplikasi.

Gambar 2.9. Kolam Sedimentasi

Kolam aplikasi merupakan tempat pembuangan terakhir limbah cair. Kolam ini hanya sebagai pengontrol yang mengalirkan limbah cair secara perlahan-lahan ke sungai. Pada Gambar 2.10. merupakan kolam aplikasi.

Gambar 2.10. Kolam Aplikasi

Adapun hasil akhir karakteristrik produk limbah cair setelah diolah pada pabrik PT. Incasi Raya Grup diperoleh nilai BOD 340 mg/l, nilai COD 500 mg/l, TSS 270 mg/l, dan pH 8,50. Produk akhir dapat dilihat pada Gambar 2.11

Gambar 2.11. Produk Akhir dan Bahan Baku Pengolahan POME

C. Kesimpulan

Pengolahan limbah cair kelapa sawit (POME) di industri dilakukan secara konvensional yang bertujuan untuk menghasilkan biogas. Proses-proses yang digunakan yaitu proses anaerobik dan aerobik yang mampu menurunkan COD dan BOD mencapai baku mutu limbah cair untuk industri minyak sawit. Namun, waktu proses yang dibutuhkan cukup lama yaitu ±115 hari. Oleh karena itu, diperlukan proses pengolahan yang efektif dan efisien, sehingga tidak memerlukan waktu yang lama pada proses pengolahan POME.

D. Daftar Pustaka

Desmiarti R., Utami Nola T., Adios M., Sakti Ofta B., Saputra Dharma R., Hazmi, A., Rosadi Maulana Y., The Input Voltage and Reaction Time from Dielectric Barrier Discharge Treatment Affect the Biogas Production and the Reduction of Pollutants in Palm Oil Mill Effluent., 2nd International Symposium of Indonesian Chemical Engineering (ISIChem) (Submitted)

https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.221

Iriani P., Suprianti Y., Yulistiani F. (2017). Fermentasi anaerobik biogas dua tahap dengan aklimatisasi dan pengkondisian pH fermentasi. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan.* 1 (1), 1-10.

Irianto Ketut. (2017). *Sistem teknologi pengolahan limbah*. ISBN: 978-602-1582-28-2. Fakultas Pertanian. Program Studi Agroteknologi. Universitas Warmadewa.

Kasipah C., Rismayani S., Ihsanawati, Nurachman Z. 2013. Isolasi dan karakterisasi bakteri penghasil enzim lipase ekstraseluler dari lumpur aktif instalasi pengolahan air limbah industri tekstil. *Jurnal Ilmiah Arena Tekstil.* Volume 28 No. 1- Juni 2013: 1-46.

Ohimain, E. I., & Izah, S. C. (2017). A review of biogas production from palm oil mill effluents using different configurations of bioreactors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *70* (November 2016),

242–253.

PT Incasi Raya Grup

Yonas, R., Irzandi, U., & Satriadi, H. (2012). *Pengolahan Limbah Pome (Palm Oil Mill Effluent) Dengan Menggunakan Mikroalga*. *1*(1), 7–13

BAB III
PEMANFAATAN SENSOR GAS UNTUK MONITORING PROSES

A. Prinsip Kerja Sensor Gas

Sensor gas adalah perangkat yang mampu mendeteksi keberadaan gas di suatu area. Jenis perangkat ini penting karena ada banyak gas yang dapat membahayakan kehidupan makhluk hidup, seperti manusia atau hewan. Sensor gas dapat digunakan untuk mendeteksi gas yang mudah terbakar dan beracun, serta penipisan oksigen. Jenis perangkat ini digunakan secara luas di industri dan dapat ditemukan di lokasi, seperti di pengeboran minyak, untuk memantau proses manufaktur dan teknologi baru seperti fotovoltaik. Sensor gas dapat digunakan dalam pemadaman kebakaran.

Deteksi kebocoran gas adalah proses mengidentifikasi kebocoran gas yang berpotensi berbahaya oleh sensor. Selain itu, identifikasi visual bisa jadi dilakukan dengan menggunakan kamera termal. Sensor ini biasanya menggunakan alarm bersuara untuk memperingatkan orang-orang ketika gas berbahaya telah terdeteksi.

Paparan gas beracun juga dapat terjadi dalam operasi seperti pengecatan, pengasapan, pengisian bahan bakar, konstruksi, penggalian tanah yang terkontaminasi, operasi TPA, memasuki ruang terbatas, dan sebagainya. Sensor umum termasuk sensor gas yang mudah terbakar seperti sensor fotoionisasi, sensor titik inframerah, sensor ultrasonik, sensor gas elektrokimia, dan sensor semikonduktor oksida logam (sensor MOS). Sensor yang terbaru adalah sensor pencitraan inframerah yang mulai digunakan. Semua sensor ini digunakan untuk berbagai aplikasi dan dapat ditemukan di pabrik industri, kilang minyak, pabrik farmasi, fasilitas pengasapan, pabrik bubur kertas, fasilitas pesawat dan pembuatan kapal, operasi hazmat, fasilitas pengolahan air limbah, kendaraan, pengujian kualitas udara dalam ruangan dan rumah.

B. Tipe Sensor Gas

1. Tipe metal-oxide-semiconductor (MOS)

Ketika partikel semikonduktor (biasanya timah dioksida) dipanaskan di udara pada suhu tinggi, oksigen teradsorpsi pada permukaan partikel dengan menangkap elektron bebas. Lapisan penipisan yang terbentuk sangat bergantung pada jari-jari partikel semikonduktor yang digunakan. Jika yang digunakan secara konvensional dalam sensor gas (puluhan nano-meter), penipisan dapat meluas ke seluruh area setiap partikel (penipisan volume, sensitif tinggi). Sebaliknya, jika ukurannya jauh lebih besar, penipisan terjadi secara konvensional di pinggiran setiap partikel (penipisan regional, sensitif rendah).

Pada Gambar 3.1 menunjukkan bagaimana struktur pita energi dan distribusi elektron konduksi berubah dengan meningkatnya tekanan parsial oksigen dari nol (keadaan pita datar) ke keadaan I (penipisan regional), II (batas) dan III (penipisan volume). Sampai batas tercapai, kesetimbangan adsorpsi dicapai dengan meningkatkan ketebalan lapisan penipisan. Kemudian (penipisan volume), bagaimanapun, tingkat Fermi diturunkan oleh p kT dari II ke III sementara ketebalan lapisan dijaga konstan.

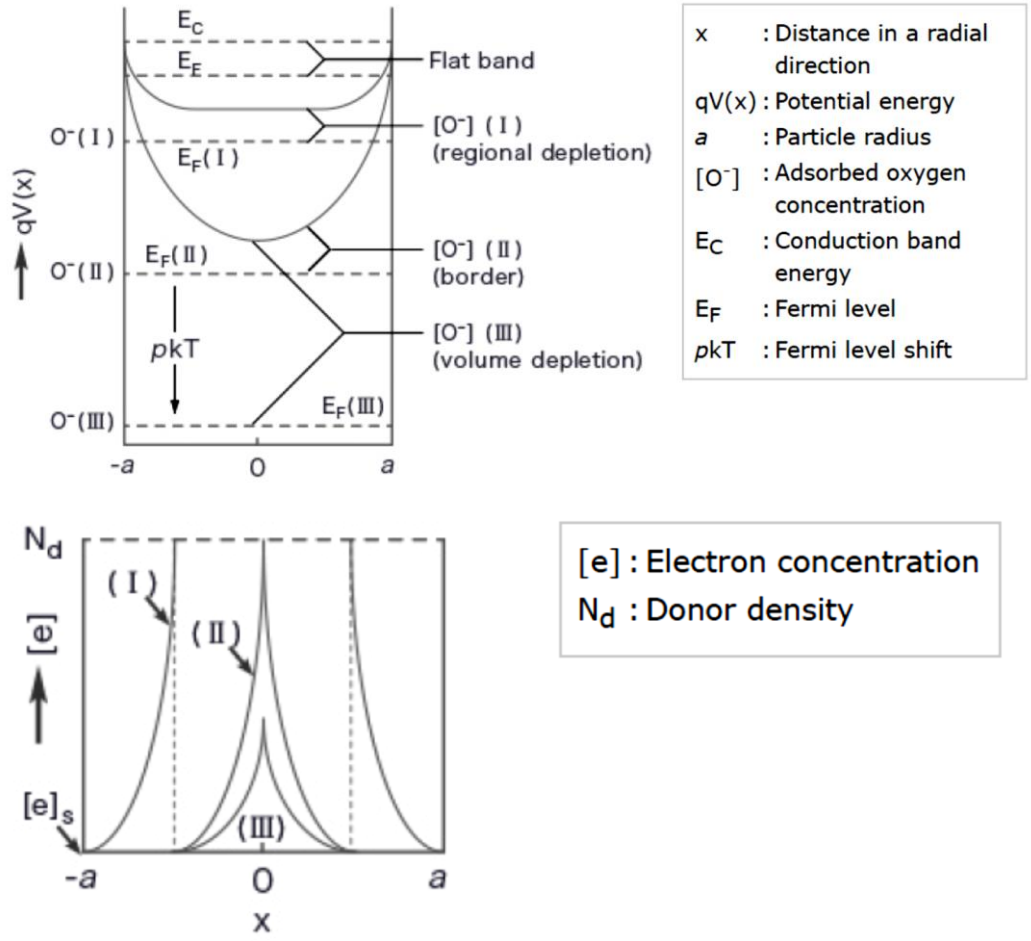
Pada Gambar 3.1, struktur pita energi (atas) dan distribusi elektron konduksi (bawah) untuk partikel semikonduktor yang berkorelasi dengan peningkatan konsentrasi oksigen yang teradsorpsi. Dalam tahap ini, dua persamaan penting diturunkan secara teoritis untuk perangkat sensor yang terdiri dari partikel bola, sebagai berikut.

$$[e]_S = N_d \exp\{-(1/6)(a/L_D)^2 - p\} \quad (1)$$

$$R/R_0 = N_d/[e]_S \quad (2)$$

Di sini $[e]_S$ adalah konsentrasi elektron permukaan partikel dan L_D adalah panjang Debye. R dan R_0 masing-masing adalah resistansi sensor pada kondisi steady state dan flat band. Untuk simbol lainnya, lihat keterangan Gambar 3.1. Ketika bahan sensor dipilih, N_d, a, L_D dan R_0 ditetapkan, sedangkan p tergantung pada kondisi gas yang sebenarnya.

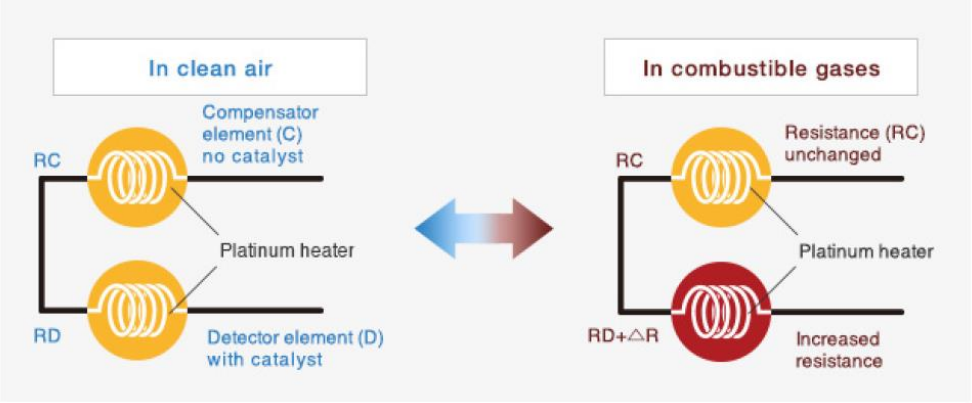
Seperti dijelaskan di atas, sensor gas jenis MOS mengubah resistansi (R) sebagai akibat dari perubahan konsentrasi oksigen yang teradsorpsi. Jika ini digunakan secara memadai, seseorang dapat mendeteksi gas pereduksi seperti karbon monoksida. Oksigen teradsorpsi yang terbentuk di udara bersih akan dikonsumsi saat kontak dengan karbon monoksida, penurunan R yang dihasilkan digunakan untuk memperkirakan konsentrasi karbon monoksida. Sensor memulihkan tingkat resistansi awal saat karbon monoksida mati. Mekanisme deteksi semacam itu bekerja dalam sensor gas berbasis timah dioksida.



Gambar 3.1. Struktur pita energi dan distribusi elektron konduksi [Yamazoe dkk, 2011].

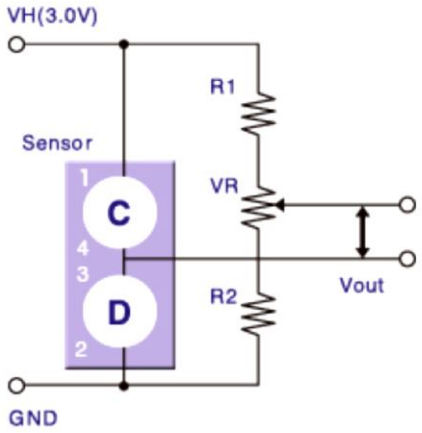
2. Tipe Katalis

Sensor gas tipe katalitik terdiri dari dua elemen: elemen detektor (D) yang mengandung bahan katalitik dan sensitif terhadap gas yang mudah terbakar, dan elemen kompensator (C) yang bersifat inert. Gas yang mudah terbakar hanya akan terbakar pada elemen detektor, yang menyebabkan kenaikan suhunya dan, sebagai konsekuensinya, resistensinya meningkat. Gas yang mudah terbakar tidak akan terbakar pada kompensator suhu dan resistansinya tetap tidak berubah jika ada gas yang mudah terbakar (Gambar 3.2).

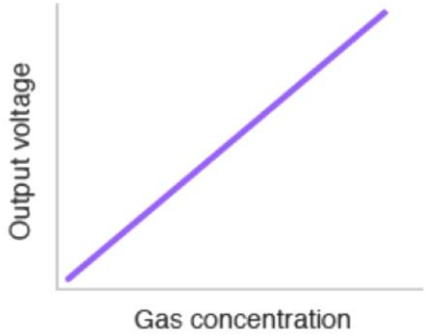


Gambar 3.2. Rangkaian pengukuran dasar [Figaro, 2021].

Biasanya rangkaian jembatan Wheatstone dibentuk dengan kedua elemen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 Sebuah resistor variabel (VR) disesuaikan untuk mempertahankan keadaan keseimbangan rangkaian jembatan di udara bersih yang bebas dari gas yang mudah terbakar. Ketika ada gas yang mudah terbakar, hanya resistansi elemen detektor yang akan naik, menyebabkan ketidakseimbangan di rangkaian jembatan, sehingga menghasilkan sinyal tegangan keluaran (Vout). Sinyal tegangan keluaran sebanding dengan konsentrasi gas yang mudah terbakar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 Konsentrasi gas dapat ditentukan dengan mengukur tegangan keluaran.



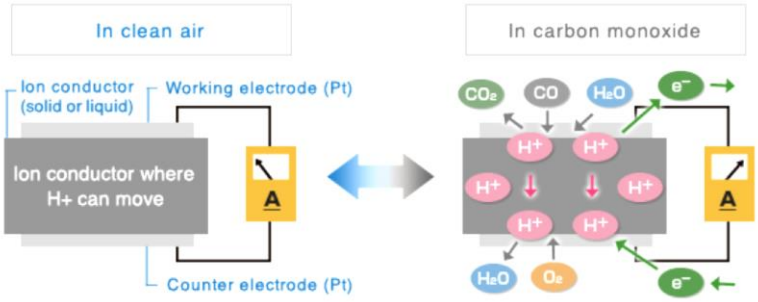
Gambar 3.3 Rangkaian Jembatan Wheatstone [Figaro, 2021]



Gambar 3.4 Hubungan antara konsentrasi gas dan tegangan output [Figaro, 2021].

3. Tipe Elektrokimia

Sensor gas tipe Elektrokimia adalah sel bahan bakar amperometri dengan dua elektroda. Komponen dasar dari dua sensor gas elektroda adalah elektroda kerja (penginderaan), elektroda penghitung, dan konduktor ion di antaranya pada Gambar 3.5 Ketika gas beracun seperti karbon monoksida (CO) bersentuhan dengan elektroda kerja, oksidasi gas CO akan terjadi pada elektroda kerja melalui reaksi kimia dengan molekul air di udara (lihat Persamaan 3).



Gambar 3.5 Prinsip kerja elektroda dengan reaksi kimia [Figaro, 2021].

$$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + 2H^+ + 2e^- \quad \ldots (3)$$

Menghubungkan elektroda kerja dan elektroda penghitung melalui korsleting akan memungkinkan proton (H^+) yang dihasilkan pada elektroda kerja mengalir menuju elektroda penghitung melalui konduktor ion. Selain itu, elektron yang dihasilkan pindah ke elektroda lawan melalui kabel eksternal. Reaksi dengan oksigen di udara akan terjadi pada elektroda counter (lihat Persamaan 4).

$$(1/2)\ O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O \qquad (4)$$

Reaksi keseluruhan ditunjukkan pada Persamaan 5. Sensor gas jenis elektrokimia beroperasi seperti baterai dengan gas menjadi bahan aktif untuk reaksi baterai secara keseluruhan.

$$CO + (1/2)\ O_2 \rightarrow CO_2 \qquad (5)$$

Dengan mengukur arus antara elektroda kerja dan elektroda counter, sel elektrokimia ini dapat dimanfaatkan sebagai sensor gas.

Persamaan Teoritis untuk Deteksi CO

Untuk mengukur arus keluaran sensor, itu harus dihubungkan ke sirkuit eksternal. Dengan mengontrol aliran gas menuju elektroda kerja dengan film difusi, arus keluaran yang mengalir melintasi rangkaian luar akan sebanding dengan konsentrasi gas (lihat Persamaan 6 dan bagan di sebelah kanan). Hubungan linier konsentrasi gas ke keluaran sensor

menjadikan teknologi ini ideal untuk aplikasi penginderaan gas pada Gambar 3.6

$$I = F \times (A/\sigma) \times D \times C \times n \ldots (6)$$

dimana:

I: Keluaran sensor

F: Konstanta Faraday

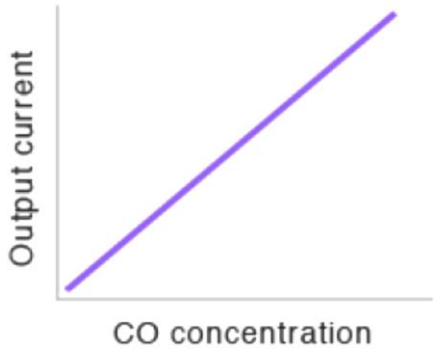
A: Luas permukaan film difusi

σ: Ketebalan film difusi

D: Koefisien difusi gas

C: Konsentrasi gas

n: Jumlah elektron reaksi



Gambar 3.6 Hubungan antara konsentrasi CO dan arus output [Figaro, 2021]

Fitur

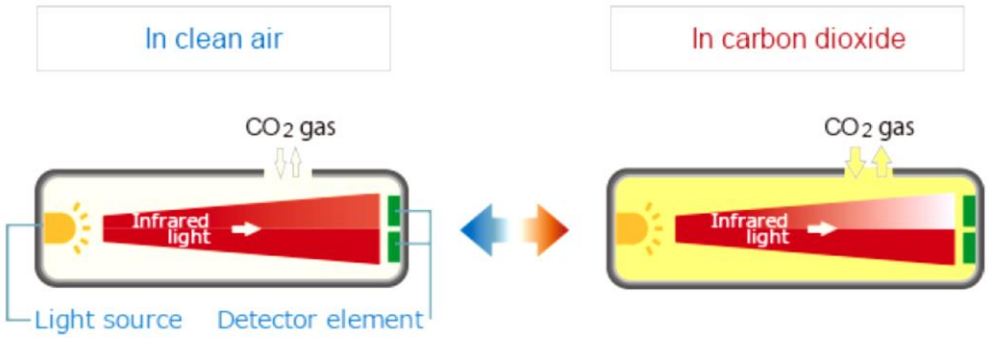
Potensial oksidasi gas CO (seperti yang dinyatakan dalam Persamaan 3) lebih rendah daripada potensial oksidasi elektroda ($2H^+ + 2e^- \Leftrightarrow H_2$), yaitu oksidasi CO memiliki potensi mulia yang lebih rendah daripada deoksidasi. Karena reaksi ini terjadi dengan mudah, tidak ada energi eksternal yang diperlukan untuk merangsang reaksi kimia sensor, tidak seperti sensor jenis tiga elektroda. Hasilnya, sensor tipe dua elektroda ini menawarkan karakteristik yang unggul untuk ketahanan interferensi, pengulangan, dan konsumsi daya.

4. Tipe *Non-Dispersive Infrared* (NDIR)

Struktur Sensor Gas NDIR

Ketika radiasi infra merah berinteraksi dengan molekul gas, cahaya infra merah diserap oleh molekul gas pada panjang gelombang tertentu, menyebabkan getaran pada molekul gas. Sensor gas NDIR (Non-Dispersive Infrared) mendeteksi penurunan cahaya infra merah yang ditransmisikan yang sebanding dengan konsentrasi gas. Transmisi ini, rasio energi radiasi yang ditransmisikan dengan energi insiden, bergantung pada konsentrasi gas target.

Sensor gas NDIR terdiri dari sumber infra merah, detektor, filter optik, sel gas, dan elektronik untuk pemrosesan sinyal. Sumber cahaya tunggal, sensor gas tipe panjang gelombang ganda memiliki dua detektor dan dua filter optik dengan panjang gelombang berbeda yang ditempatkan di depan setiap detektor. Cahaya infra merah yang diserap oleh gas target melewati filter aktif dengan bandwidth tertentu untuk mendeteksi gas target. Cahaya inframerah yang tidak berinteraksi dengan gas target melewati filter referensi. Perbedaan antara intensitas cahaya yang ditransmisikan dalam dua bandwidth ini diubah menjadi konsentrasi gas. Sensor panjang gelombang ganda memastikan pengukuran yang stabil untuk operasi jangka panjang karena efek penuaan sumber cahaya atau sel gas secara otomatis dikompensasi oleh sinyal keluaran pada panjang gelombang referensi.



Gambar 3.7 Prinsip kerja sensor tipe NIDR [Figaro, 2021]

Prinsip Operasi

Radiasi infra merah tengah melalui gas sampel menyebabkan resonansi molekul gas pada frekuensi alaminya dengan cahaya infra merah di wilayah spektrum di mana tingkat energi inframerah setara dengan frekuensi alami molekul gas, sehingga terjadi penyerapan inframerah oleh molekul gas di bentuk getaran molekuler pada Gambar 8.

Hubungan antara transmisi infra merah dan konsentrasi gas diekspresikan oleh hukum Lambert-Beer:

$$T = I / I_0 = \mathrm{e}^{-\varepsilon c d}$$

Dimana T adalah transmitansi, I adalah intensitas cahaya yang melewati sampel gas dan filter optik, I_0 adalah intensitas cahaya awal yang dipancarkan dari sumber, ε adalah koefisien atenuasi molar, c adalah konsentrasi gas, dan d adalah panjang jalur cahaya. Karena ε dari gas target dan panjang lintasan cahaya d ditetapkan dengan sensor NDIR, konsentrasi gas dapat diukur dengan mengukur transmitansi dalam wilayah spektrum energi yang diserap (panjang gelombang) oleh gas target.

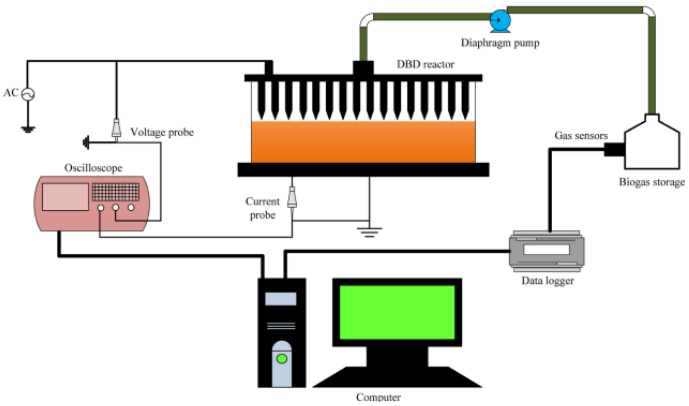
Intensitas cahaya awal yang dipancarkan dari sumber cahaya I_0 diatur sebelumnya dengan kalibrasi menggunakan gas nol yang tidak menyerap cahaya inframerah. Nilai awal koefisien kepunahan molar ε ditentukan dengan kalibrasi menggunakan gas kalibrasi dengan konsentrasi yang diketahui.

Fitur

Penyerapan cahaya inframerah terjadi pada energi IR (yaitu panjang gelombang) khusus untuk gas target, yang berarti selektivitas tinggi untuk gas tertentu. Ini adalah fitur paling khas dari sensor gas NDIR. Fitur lainnya adalah bahwa paparan gas target konsentrasi tinggi untuk waktu yang lama tidak akan mengakibatkan penyimpangan sensitivitas ireversibel pada prinsipnya.

C. Aplikasi Sensor Gas

Pemanfaatan sensor gas telah banyak digunakan untuk pengukuran pada konsentrasi pada gas tertentu, seperti CH_4, CO_2, dan H_2. Beberapa penelitian yang telah menggunakan sensor gas untuk mengukur konsentrasi gas diantaranya yaitu Hazmi A dkk. [2017] mengenai produksi biogas menggunakan metode *Dielectric Barrier Discharge* (DBD) plasma pada POME untuk mengukur konsentrasi gas CH_4 dan H_2. Pada penelitian ini menggunakan sensor gas tipe MQ-8 dan MQ-4 buatan dari Hanwei China. Pada penelitian Desmiarti dkk. [2021] telah dilakukan penelitian menyelidiki evaluasi pemrosesan pada POME menggunakan DBD untuk mengukur yield pada gas CH_4 dan H_2. Sensor yang digunakan yaitu tipe sensor TGS-816 dan TGS-821 buatan dari Figaro, Jepang INC. Data konsentrasi gas yang didapatkan akan disimpan dalam sebuah computer menggunakan sebuah penyimpanan data yaitu Pico ADC24. Pada Gambar 3.8 merupakan diagram skematik eksperimen yang telah dilakukan oleh Desmiarti [2021].



Gambar 3.8 Diagram skema eksperiman [Desmiarti, dkk., 2021]

D. Kesimpulan

Pengaruh pemanfaatan sensor gas telah banyak digunakan untuk mengetahui konsentrasi pembentukan gas CH_4, CO_2, CO, dan H_2 yang dihasilkan dari POME. Selain itu, data konsentrasi gas yang didapatkan lebih akurat dan presisi terhadap waktu yang telah ditentukan.

E. Daftar Pustaka

Desmiarti Reni., Maulana Yusup Rosadi, Primas Emeraldi, Ariadi Hazmi. (2021). Integrated evaluation of POME treatment by dielectric barrier discharge based on yield of H_2 and CH_4, EEM and removal of COD. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, Vol. 54, No. 5, pp. 255 – 259, 2021.

Hazmi A. Desmiarti Reni, Emeraldi Primas, Hamid, Muhammad Imran, Edwardo, Waldi Eka Putra. (2017). Preliminary study on biogas production from POME by DBD plasma. *TELKOMNIKA*. Vol. 15, No. 2, June 2017, pp. 554-559.

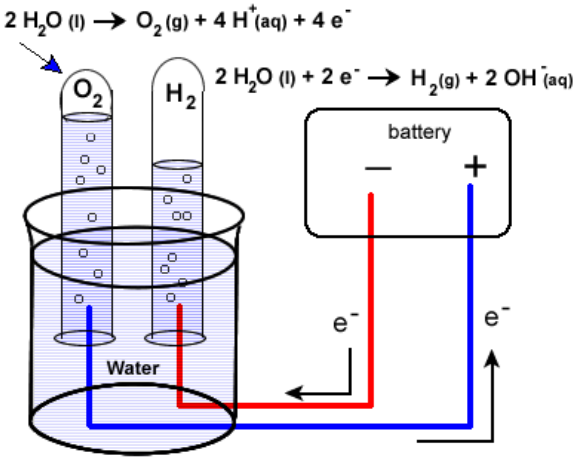
https://www.figaro.co.jp/en/technicalinfo/principle/mos-type.html

Noboru Yamazoe; Kengo Shimanoe (2011). Basic approach to the transducer function of oxide semiconductor gas sensors, 160(1), 1352–1362. doi:10.1016/j.snb.2011.09.075

BAB IV
PENGOLAHAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT MENJADI BIOGAS DENGAN SISTEM ELEKTROLISIS

A. Proses Elektrolisis

Sel Elektrolisis adalah sel yang menggunakan arus listrik untuk menghasilkan reaksi reduksi-oksidasi. Baterai aki yang dapat diisi ulang merupakan salah satu contoh aplikasi sel elektrolisis dalam kehidupan sehari-hari. Berikut adalah Gambar komponen sel elektrolisis :



Gambar 4.1 Komponen Sel elektrolisis

Pada Gambar 4.1 menjelaskan komponen sel elektrolisis, secara umum sel elektrolisis terdiri dari:

1. Sumber listrik, menyuplai arus listrik searah (DC) contohnya baterai.
2. Katode, elektrode di mana reaksi reduksi terjadi. Karena elektron didorong oleh kutub negatif dari sumber listrik, maka katode menjadi bermuatan negatif.
3. Anode, elektrode di mana rekasi oksidasi terjadi. Karena elektron dari anode ditarik oleh kutub positif dari sumber listrik, maka anode bermuatan positif.
4. Elektrolit, zat yang dapat menghantar listrik yang akan diurai dalam sel elektrolisis.

Elektrolisis air adalah peristiwa penguraian senyawa air (H_2O) menjadi oksigen (O_2) dan hidrogen (H_2) dengan menggunakan arus listrik yang melalui air tersebut. Pada katode, dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron, tereduksi menjadi gas H_2 dan ion hidrokida (OH^-). Sementara itu pada anode, dua molekul air lain terurai menjadi gas oksigen (O_2), melepaskan 4 ion H^+ serta mengalirkan elektron ke katode. Ion H^+ dan OH^- mengalami netralisasi sehingga terbentuk kembali beberapa molekul air.

Rangkaian sel elektrolisis hampir menyerupai sel volta, yang membedakan sel elektrolisis dari sel volta adalah pada sel elektrolisis, komponen voltmeter diganti dengan sumber arus (umumnya baterai). Larutan atau lelehan yang ingin di elektrolisis, ditempatkan dalam suatu wadah. Selanjutnya, elektroda dicelupkan ke dalam larutan maupun lelehan elektrolit yang ingin dielektrolisis. Elektroda yang digunakan umumnya merupakan elektroda *inert*, seperti *Grafit* (C), Platina (Pt), dan Emas (Au). Elektroda berperan sebagai tempat berlangsungnya reaksi. Reaksi reduksi berlangsung di katoda, sedangkan reaksi oksidasi berlangsung di anoda. Kutub negatif sumber arus mengarah pada katoda (sebab memerlukan elektron) dan kutub positif sumber arus tentunya mengarah pada anoda. Akibatnya, katoda bermuatan negatif dan menarik kation-kation yang akan tereduksi menjadi endapan logam. Sebaliknya, anoda bermuatan positif dan menarik anion-anion yang akan teroksidasi menjadi gas. Terlihat jelas bahwa tujuan elektrolisis adalah untuk mendapatkan endapan logam di katoda dan gas di anoda.

Faktor yang mempengaruhi elektrolisis

Faktor yang mempengaruhi elektrolisis antara lain adalah:

1. Penggunaan katalisator

Katalis yang bersifat asam seperti H2SO4 dan KOH berfungsi untuk mempermudah proses penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen karena ion-ion katalisator mampu mempengaruhi kesetabilan molekul air menjadi

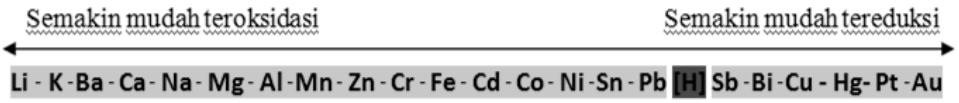
ion H^+ dan OH^- yang lebih mudah di elektrolisis karena terjadi penurunan energi pengaktifan.

2. Luas permukaan tercelup

Semakin luas permukaan tercelup maka semakin mempermudah suatu elektrolit untuk mentransfer elektronnya. Sehingga terjadi hubungan sebanding jika luasan yang tercelup sedikit maka semakin mempersulit elektrolit untuk melepaskan elektron dikarenakan sedikitnya luas penampang penghantar yang menyentuh elektrolit.

3. Sifat logam bahan elektroda

Penggunaan medan listrik pada logam dapat menyebabkan seluruh elektron bebas bergerak dalam metal, sejajar, dan berlawanan arah dengan arah medan listrik. Konduktifitas listrik didefinisikan sebagai ratio rapat arus terhadap kuat medan listrik. Konduktifitas listrik dapat dilihat pada deret volta seperti berikut:



Gambar 4.2 Deret Volta

Larutan Elektrolit

Elektrolit adalah suatu zat yang larut atau terurai ke dalam bentuk ion-ion dan selanjutnya larutan menjadi konduktor elektrik, ion-ion merupakan atom-atom bermuatan elektrik. Elektrolit bisa berupa air, asam, basa atau berupa senyawa kimia lainnya. Elektrolit umumnya bersifat asam, basa atau garam. Beberapa gas tertentu dapat berfungsi sebagai elektrolit pada kondisi tertentu misalnya pada suhu tinggi atau tekanan rendah. Elektrolit kuat identik dengan asam, basa, dan garam kuat. Elektrolit merupakan senyawa yang berikatan ion dan kovalen polar. Sebagian besar senyawa yang berikatan ion merupakan elektrolit sebagai contoh ikatan ion NaCl yang merupakan salah satu jenis garam yakni garam dapur. NaCl dapat menjadi elektrolit dalam bentuk larutan dan lelehan. Sedangkan dalam bentuk padatan senyawa ion tidak dapat berfungsi sebagai elektrolit. Bila

larutan elektrolit dialiri arus listrik, ion-ion dalam larutan akan bergerak menuju elektroda dengan muatan yang berlawanan, melalui cara ini arus listrik akan mengalir dan ion bertindak sebagai penghantar, sehingga dapat menghantarkan arus listrik.

Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non-logam dari sebuah sirkuit (misal semi konduktor, elektrolit atau vakum). Ungkapan kata ini diciptakan oleh ilmuwan Michael Faraday dari bahasa Yunani elektron (berarti amber, dan hodos sebuah cara). Pada Elektroda dapat dibagi menadi elektroda positif dan negatif [Harahap, 2016]. Elektroda (+) disebut anoda sedangkan elektroda negatif (-) adalah katoda. Reaksi kimia yang terjadi pada elektroda selama terjadinya konduksi listrik disebut elektrolisis dan alat yang digunakan untuk reaksi ini disebut sel elektrolisis.

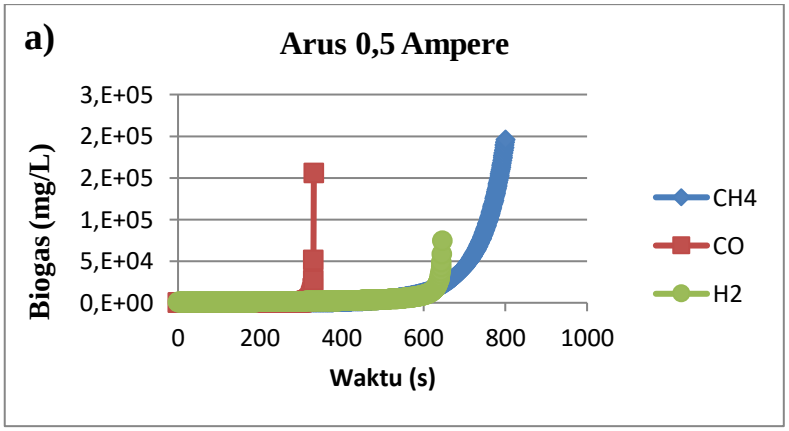
B. Profil Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit dengan Proses Elektrolisis

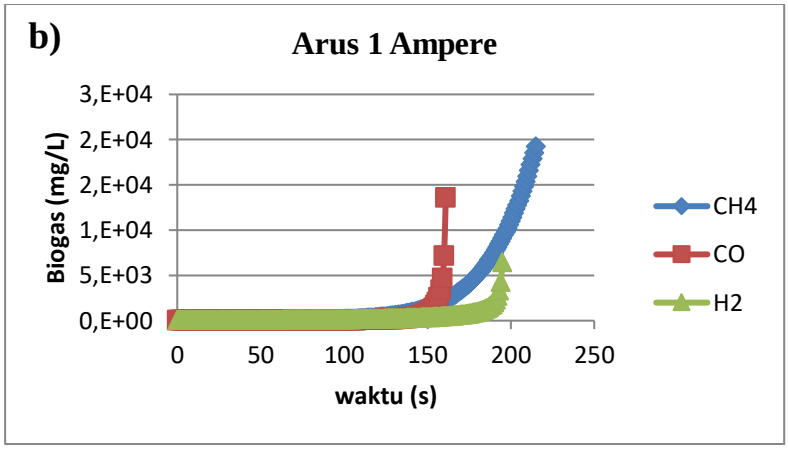
Limbah cair kelapa sawit atau POME yang memiliki kandungan COD dan BOD secara berturut-turut yaitu 40.000 – 60.000 mg/L dan 20.000 – 30.000 mg/L. apabila dibuang tanpa pemurnian, maka akan mengakibatkan kondisi perairan menjadi rusak. Oleh karena itu salah satu metode yang dapat mengurangi COD dan BOD pada POME adalah menggunakan metode Elektrolisis. Dalam sel elektrolisis terjadi perubahan energi listrik menjadi energi kimia dimana adanya arus listrik yang dapat memicu terjadinya reaksi kimia. Hubungan kuantitatif antara jumlah muatan listrik yang digunakan dan jumlah zat yang terlibat dalam reaksi telah dirumuskan oleh Faraday. Hal ini dapat terjadi karena melibatkan reaksi reduksi-oksidasi yang mengandalkan peran partikel bermuatan sebagai penghantar muatan listrik [Isana, 2010]. Elektrolisis juga dapat menghasilkan biogas apabila digunakan pada media yang dalam bentuk cairan.

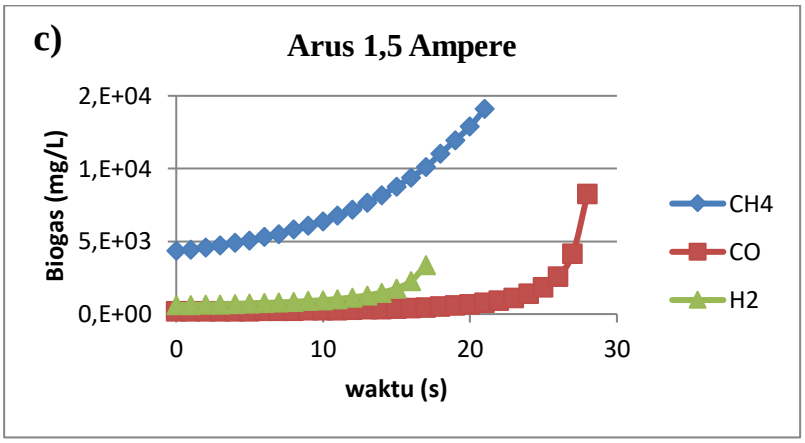
Beberapa penelitian telah menyelidiki pemanfaatan metode elektrolisis diantaranya yaitu percobaan elektrolisis dengan menggunakan substrat air yang dicampur garam yang dapat menghasilkan gas hidrogen, serta telah dilakukan penelitian mengenai Recovery dan elektrolisa Amonia dari limbah menghasilkan hidrogen [Lan, 2013]. Pada penelitian Desmiarti, dkk., [2019] meneliti mengenai pembentukan biogas dari POME volume 800 ml dengan memvariasikan arus elektrolisis yaitu 0,5 – 2 A selama 1 jam. Hasil penelitian dirincikan sebagai berikut:

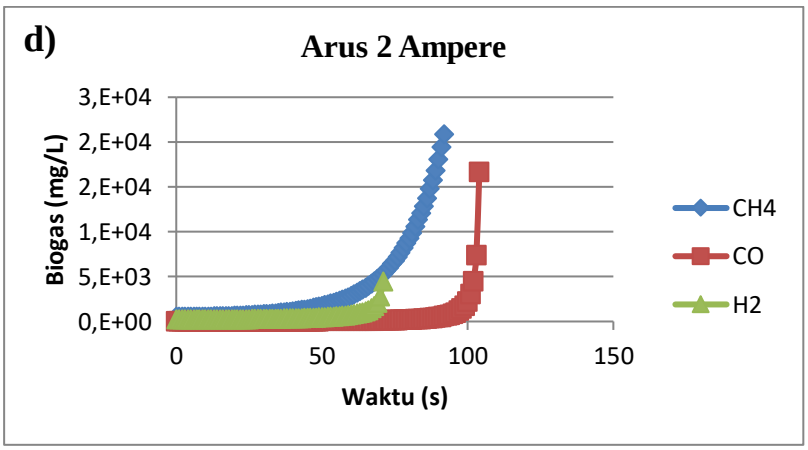
1. Pengaruh Perbedaan Waktu terhadap Pembentukan Biogas

Proses produksi biogas dari POME dengan metode elektrolisis dilakukan dengan memvariasikan arus yaitu 0,5 A, 1 A, 1,5 A dan 2 A. Hasil yang didapat berupa keluaran tegangan yang dipantau melalui data logging sistem menggunakan perangkat data logger dimana data tersimpan secara otomatis pada *personal computer* (PC) selama satu jam. Profil biogas yang dihasilkan terhadap waktu ditampilkan pada Gambar 4.3a-d sebagai berikut :









Gambar 4.3 Profil biogas terhadap waktu

Berdasarkan Gambar 4.3a-d dapat dilihat bahwa biogas yang dihasilan yaitu gas metana (CH_4), karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H_2). Semakin lama waktu operasi maka reaksi gas yang dihasilkan semakin

banyak, pada arus 0,5 A dan waktu 70 detik, gas metana (CH_4) yang dihasilkan sebanyak 16 mg/L, kemudian gas Karbon monoksida (CO) yang dihasilkan sebanyak 10,79 mg/L, dan gas hidrogen yang dihasilkan sebanyak 62,53 mg/L. Jika arus dinaikkan menjadi 1 A, pembentukan gas semakin cepat yaitu pada waktu 70 detik gas CH_4 yang terbentuk sebanyak 87,38 mg/L, gas CO yang terbentuk sebanyak 30,9 mg/L, dan H_2 yang terbentuk sebanyak 136,7 mg/L. Pada arus 1,5 A dan waktu 70 detik gas CH_4 yang terbentuk sebanyak 1010,49 mg/L, gas CO yang terbentuk sebanyak 47,06 mg/L dan gas H_2 yang terbentuk sebanyak 385,7 mg/L. Sedangkan pada arus 2 A dan waktu 70 detik gas CH_4 yang terbentuk sebanyak 5038,1 mg/L, gas CO yang terbentuk sebanyak 124,29 mg/L, dan gas H_2 yang terbentuk sebanyak 2831,8 mg/L.

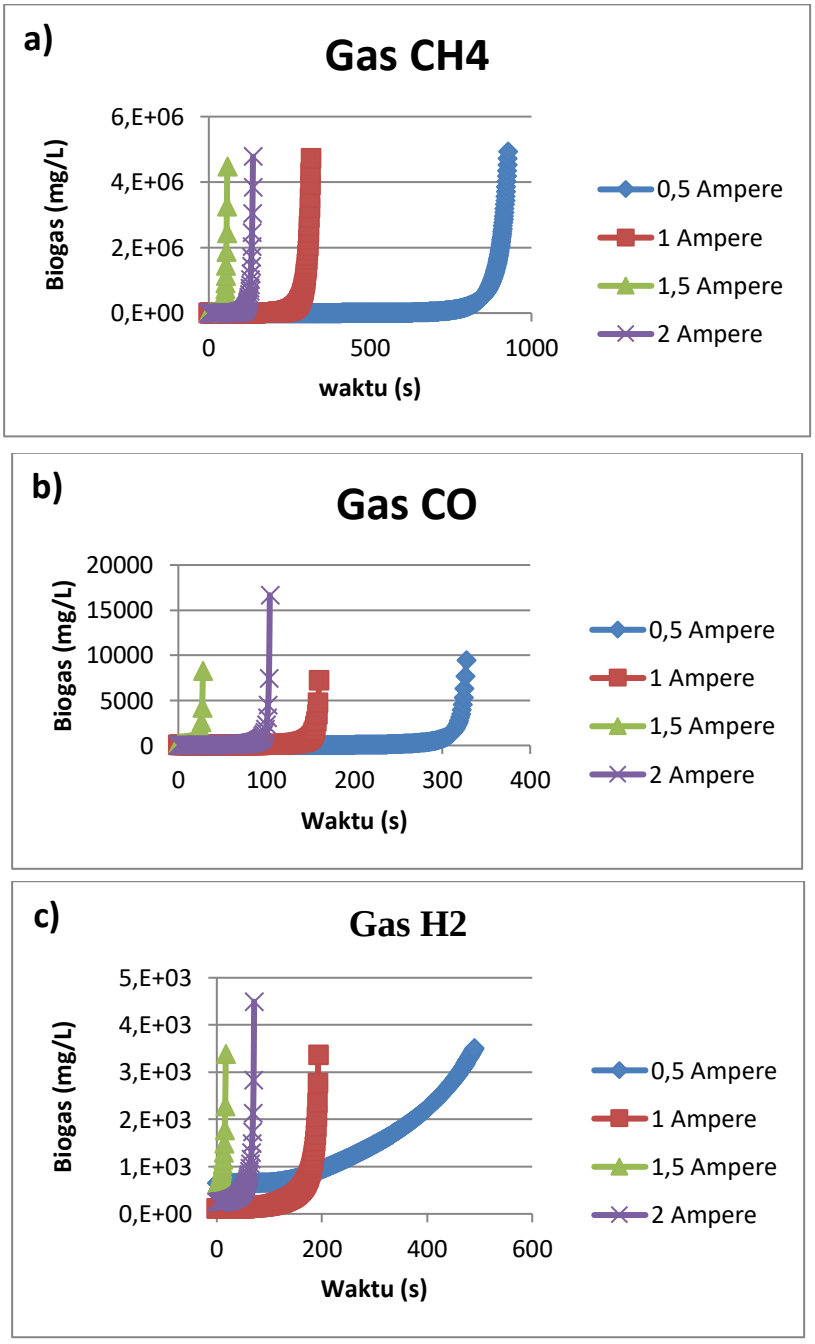
Hasil penelitian menggunakan metode elektrolisis menunjukkan semakin lama waktu reaksi maka biogas yang dihasilkan semakin banyak, hal ini telah sesuai dengan hasil penelitian [De Gioannis dkk, 2009] bahwa laju produksi biogas akan meningkat secara eksponensial dengan peningkatan waktu.

Hal ini didukung dengan hasil penelitian [Chakik F dkk, 2017] dengan menggunakan metode elektrolisis dengan sampel air (H_2O), yang mendapatkan perolehan biogas berjenis hidrogen (H_2) sebesar 6 ml dalam waktu ± 250 detik dengan voltase 5 V dan arus 0,3 A, kemudian dalam waktu kurang dari 200 detik pada voltase 5 V dan arus 0,5 A [Chakik F dkk, 2017].

Akan tetapi produksi biogas dari limbah POME dan metode elektrolisis ini perolehan biogas yang didapatkan lebih banyak dari pada penelitian yang dilakukan oleh [Chakik dkk, 2017] yaitu dengan waktu 100 detik dan arus 2 A biogas yang dihasilkan yaitu metana (CH_4) sebanyak 60,40 ml/ml POME, karbon monoksida (CO) sebanyak 7,42 ml/ml POME dan hidrogen (H_2) sebanyak 4,5 ml/ml POME.

2. Pengaruh Arus terhadap Biogas yang Dihasilkan

Pengaruh variasi arus yang diberikan terhadap perolehan hasil biogas dapat dilihat pada Gambar 4.4a-c



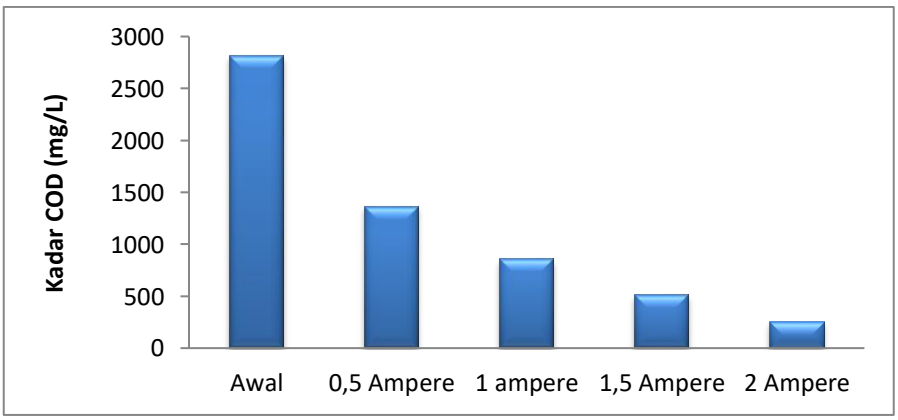
Gambar 4.4 Pengaruh arus terhadap konsentrasi gas yang di hasilkan

Berdasarkan Gambar 4.4a-c dapat dilihat bahwa semakin besar arus yang diberikan, maka waktu pembentukan biogas semakin cepat. pembentukan gas methane (CH_4) dalam waktu 70 detik, pada arus 0,5 A sebanyak 16 mg/L, pada arus 1 A sebanyak 87,38 mg/L, pada arus 1,5 A sebanyak 1010,49 mg/L, dan pada arus 2 A sebanyak 5038,1 mg/L. Kemudian pembentukan gas karbon monoksida (CO) dalam waktu 70 detik, pada arus 0,5 A sebanyak 10,79 mg/L, pada arus 1 A sebanyak 30,9 mg/L, pada arus 1,5 A sebanyak 47,06 mg/L, dan pada arus 2 A sebanyak 124,29 mg/L. Sedangkan gas hidrogen (H_2) yang terbentuk dalam waktu 70 detik, pada arus 0,5 A sebanyak 62,53 mg/L, pada arus 1 A sebanyak 136,7 mg/L, pada arus 1,5 A sebanyak 385,7 mg/L, dan pada arus 2 A adalah sebanyak 2831,8 mg/L.

Hasil penelitian menunjukkan semakin besar arus yang diberikan maka biogas yang dihasilkan semakin banyak. Hal ini telah sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [Chakik dkk, 2017] bahwa volume hidrogen yang dihasilkan meningkat terus menerus dengan meningkatnya arus yang diterapkan, hal ini terutama disebabkan oleh perbedaan tingkatan muatan listrik, karena semakin tinggi arus mengalir maka semakin banyak elektron yang di transfer per satuan waktu [Chakik dkk, 2017].

3. Pengaruh Arus terhadap Penurunan Kadar COD

Pengaruh arus yang diberikan terhadap penurunan kadar COD dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Pengaruh arus terhadap kadar COD

Berdasarkan Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa semakin besar arus yang diberikan maka penurunan kadar COD semakin besar, COD awal sampel sebelum pengolahan adalah 2816 mg/L, kemudian setelah di berikan arus 0,5 A, 1 A, 1,5 A, dan 2 A, nilai COD menurun berturut-turut menjadi 1365,333 mg/L, 853 mg/L, 512 mg/L dan 256 mg/L. Hal ini disebabkan karena apabila arus diperbesar maka reaksi reduksi dan oksidasi (redoks) yang terjadi didalam reaktor elektrolisis tersebut akan semakin cepat terjadi. Semakin cepat reaksi redoks maka jumlah senyawa organik yang teroksidasi juga akan semakin banyak. Indikator banyaknya senyawa organik yang teroksidasi adalah semakin besar penurunan nilai konsentrasi COD [Suyata, dkk., 2015]. Studi lain menunjukkan bahwa penurunan COD diikuti oleh pembentukan gas hidrogen dan metana [Hazmi A dkk, 2016]. Selain gas hidrogen dan metana kemungkinan juga terbentuk asam organik seperti asam amino, fatty acid,asam asetat, aldehid dan lain-lain.

Akan tetapi kadar COD POME pada arus 0,5 A, 1 A dan 1,5 A masih tinggi dan belum sesuai dengan Permen–LH No.5 tahun 2014 tentang standar baku mutu limbah cair kelapa sawit yang di buang ke lingkungan, jika limbah tersebut dibuang ke perairan akan merusak biota yang hidup di air dan mencemari lingkungan sekitarnya. Kemudian untuk arus 2 A, kadar COD sudah memenuhi standard baku mutu, waktu pemrosesan yang diperlukan jauh lebih pendek daripada untuk sistem anaerob-aerob, yang membutuhkan waktu 40-65 hari. Akan tetapi perlu adanya peninjauan kembali terhadap parameter lainnya seperti BOD, TSS, minyak dan lemak, dan kandungan asam- asam organik lainnya yang terbentuk selama proses reaksi.

Perbandingan Biogas yang dihasilkan dengan Metode Elektrolisis dan metode lainnya

Perbandingan perolehan biogas yang di dapatkan dengan metode elektrolisis dan metode DBD plasma sistem dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Perbandingan perolehan biogas

Metode	Substrat	Parameter	waktu (menit)	Biogas (ml/ml sampel)			
				CH_4	CO	H_2	Referensi
Elektrolisis	POME	0.5 A	1,67	0,03	9,40	3,50	Penelitian
		1 A	1,67	0,30	7,17	3,36	
		1.5 A	1,67	14,93	8,25	3,39	
		2 A	1,67	60,40	7,42	4,49	
Fermentasi *Batch*	POME	-	14400	-	-	5,99	Norfadhila dkk. (2016)
Elektrolisis	Air (H_2O)	5 V, 0.3A	4,167	-	-	6	Chakik dkk. (2017)
Pirolisis	Arang aktif	-	1	0,044	0,1325	0,0192	Larson dkk. (2013)

Berdasarkan Tabel 4.1 menunjukkan perbandingan biogas yang dihasilkan dengan berbagai proses dan substrat. Waktu pemrosesan dalam penelitian ini dengan menggunakan metode elektrolisis lebih cepat dari pada metode lainnya. Produksi biogas menggunakan proses fermentasi tergantung pada konsentrasi substrat, volume inokulum dan pH [Wahyudi dkk, 2015]. Proses fermentasi juga membutuhkan lebih banyak waktu untuk mendegradasi substrat menggunakan mikroorganisme dan menghasilkan biogas setelah hidrolisis, acidognesis dan methanogenesis [Igoni dkk, 2008].

Perolehan biogas dengan metode elektrolisis dengan arus 2 A dan waktu 100 detik didapatkan gas metana (CH_4) sebanyak 60,40 ml/ ml POME, karbon monoksida (CO) sebanyak 7,42 ml/ml POME dan hidrogen sebanyak 4,49 ml/ml POME. Berdasarkan data tersebut biogas yang dihasilkan dengan metode elektrolisis lebih banyak dari pada dengan metode DBD plasma dan metode lainnya.

C. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Dengan menggunakan metode Elektrolisis semakin lama waktu reaksi dan semakin besar arus yang di berikan proses pembentukan biogas semakin cepat dan biogas yang dihasilkan semakin banyak.

2. Dengan menggunakan metode *Dielectric Barrier Discharge* (DBD) Plasma Sistem semakin lama waktu reaksi dan semakin besar tegangan yang di berikan proses pembentukan biogas semakin cepat dan biogas yang dihasilkan semakin banyak.
3. Penurunan COD diikuti oleh pembentukan gas hidrogen dan methana, serta kemungkinan terbentuk asam organik seperti asam amino, fatty acid,asam asetat, aldehid dan lain-lain.
4. Metode Elektrolisis merupakan metode yang paling efektif dalam produksi biogas dari limbah cair kelapa sawit (POME).

D. Daftar Pustaka

A.H. Igoni, M.F.N. Abowei, M.J. Ayotamuno and C.L. Eze. (2008). Effect of Total Solids Concentration of Municipal Solid Waste on the Biogas produced in an Anaerobic Continuous Digester. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript EE 07 010. Vol. X. September, 2008.

Chakik F., E., Mohammed K., Mohammed M. (2017). Effect of operating parameters on hydrogen production by electrolysis of water. *International journal of hydrogen energy*. 42 (2017) 25550 – 25557.

De Gioannis G, Muntoni A, Cappai G, Milia S. (2009) Landfill gas generation after mechanical biological treatment of municipal solid waste. Estimation of gas generation rate constants. Waste Manage., 29, 1026–1034.

Harahap M., R. (2016). Sel elektrokimia: karakteristik dan aplikasi. *Circuit,* Vol. 2, No. 1, Juli 2016.

Hazmi A., Desmiarti R., Waldi E. P., Emeraldi P., (2016), *Preliminary Study on Treatment of Palm Oil Mill Effluent by Sand Filtration-Dielectric Barrier Discharge System*, Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 48, No. 1, hal. 21-30.

Lan R., John T. S. Irvine., Shanwen Too. (2013). Synthesis of ammonia directly from air and water at ambient temperature and pressure. *Scientific reports*. 3: 1145.

Larson Marten., Marting Gorling., Stefan Gronkvist., Per Alvfors. (2013). Bio-methane upgrading of pyrolysis gas from charcoal production. *Sustainable energy technologies and assesments 3 (2013) 66-73*.

Norfadilah, N., A. Raheem, R. Harun and F. R. Ahmadun. (2016). Bio-hydrogen Production from Palm Oil Mill Effluent (POME): A Preliminary Study. *Int. J. Hydrog. Energy*, 41, 11960–11964.

PERMEN-LH No.1815. "Baku Mutu Air Limbah" Menteri Lingkungan Hidup. 2014

Suyata, Irmanto, Undri Rastuti. (2015). Penerapan metode elektrokimia untuk penurunan chemical oxygen demand (COD) dan total suspended solid (TSS) limbah cair industri tahu. *Molekul*. Vol. 10. No. 1. Mei, 2015: 74 – 81.

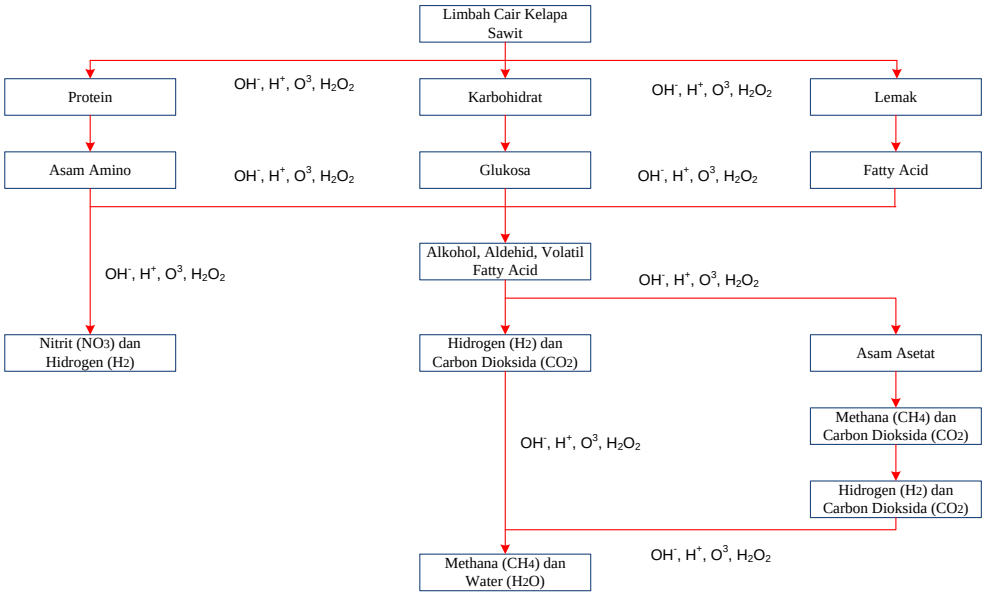
SYL Isana. 2010. Perilaku Sel Elektrolisi Air dengan Elektroda Stainless Steel. Jurusan Pendidikan Kimia FMIPA. UNY

Wahyudi Jatmiko., Tb. Benito A. K., Joy Clancy. (2015). Biogas production in dairy farming in indonesia: a challenge for sustainability. *Int. Journal of Renewable Energy Development.* 4 (3) 2015:219 – 226.

BAB V
PENGOLAHAN LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT MENJADI BIOGAS DENGAN SISTEM *DIELECTRIC BARRIER DISCHARGE* (DBD)

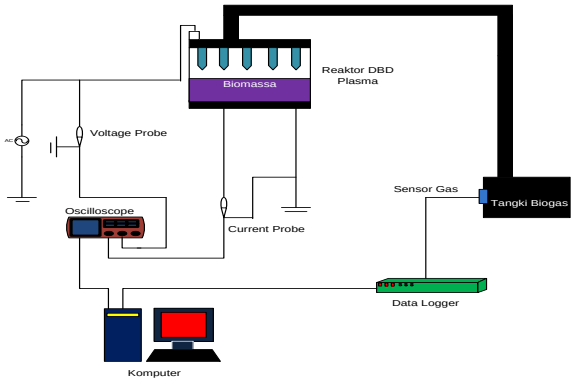
A. Proses Degradasi Senyawa Organik dengan Sistem Plasma

Proses penguraian POME menjadi biogas dengan metode DBD plasma sistem dapat dilihat pada gambar 5.1 dibawah ini :



Gambar 5.1 Proses penguraian POME dengan metode

Proses *Dielectric Barrier Discharge* (DBD) plasma system merupakan suatu terobosan baru dalam bidang ilmu keteknikan dalan menghasilkan energi bebas emisi. Bentuk proses dari bidang ini dapat dilihat pada gambar 5.2.



Gambar 5.2 Diagram skematik percobaan (*Sumber: Hazmi Ariadi, dkk 2017)*

Gambar 5.2 merupakan pengaplikasian *Dielectric Barrier Discharge* (DBD) pada studi awal pembuatan biogas dari limbah pabrik kelapa sawit. Dari diagram gambar 5.2 didapatkan proses, dimana elektroda jarum bagian atas dan elektroda bidang yang lebih rendah dihubungkan ketegangan tinggi dengan sistem frekuensi dan ground. Tegangan dan arus keluaran yang diterapkan dicatat melalui probe tegangan tinggi dan probe arus.Lalu DBD reaktor dialiri dengan listrik bertegangan tinggi. Gas produksi dari reaktor kemudian di alirkan ke penyimpanan gas. Konsentrasi gas hidrogen dan metana dideteksi oleh sensor gas. Selain itu, sensor tekanan udara (BMP 180 Bosch) digunakan untuk mendeteksi perubahan tekanan udara pada wadah. Semua sensor dihubungkan ke data logger untuk dicatat perubahan konduktivitas yang terkait dengan sinyal keluaran listrik dari konsentrasi gas dalam wadah penyimpanan yang dikendalikan oleh komputer pribadi (PC). Prinsip kerja DBD menghasilkankan hidrogen dimana reaktor plasma DBD memiliki konfigurasi anular. Gas dialirkan kedalam celah berukuran milimeter antara voltase tinggi yang dilapisi dengan bahan non konduktif dengan *outer shell* yang menjadi *ground electrode*. Proses ini digunakan untuk membentuk hidrogen dan sintesis hidrokarbon (C1, C2, dan C4) dengan metana sebagai umpan (Wang Weizong. Dkk, 2018).

Proses *Dielectric Barrier Discharge* plasma sistem merupakan suatu terobosan baru dalam bidang ilmu keteknikan dalan menghasilkan energi bebas emisi. Pada proses pembentukan hidrogen dari biomassa, yang akan

digunakan sebagai sumber hidrogen adalah karbohidrat pada biomassa tersebut

Reaksi yang terjadi adalah:

Reaksi 1 :

$$(C_6H_{12}O_6)_{8(aq)} \rightarrow 8C_4H_8O_{2(aq)} + 16CO_{2(g)} + 16H_{2(g)} \qquad \Delta H = -7855{,}52\ Kj/mol$$

Reaksi 2 :

$$8C_4H_8O_{2(aq)} \rightarrow 16H_2O_{(l)} + 8CH_{4(g)} + 24C_{(s)} \qquad \Delta H = -2344{,}72\ Kj/mol$$

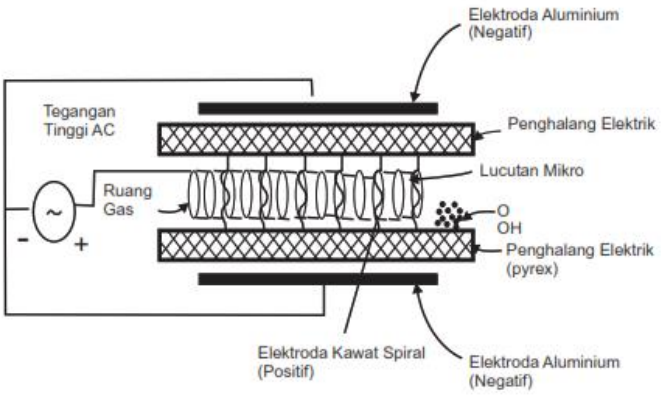
Reaksi yang terjadi pada metode DBD (*Dielectric Barrier Discharge*) plasma sistem adalah reaksi pemutusan ikatan rangkap pada polimer yang terkandung di dalam pome (karbohidrat, lemak dan protein) menjadi monomer- monomernya yang selanjutnya di proses menjadi asam-asam organik dan membentuk produk akhir berupa hidrogen.

B. Proses *Dielectric Barrier Discharge* (DBD)

Dielectric Barrier Discharge (DBD) merupakan peluahan listrik pada dua elektroda terpisah dengan isolator dielektrik. *DBD* dapat dibuat dengan beberapa metode seperti tipe planar menggunakan plat paralel terpisah dengan sebuah dielektrik silinder, dan planar plat koaksial menggunakan dielektrik tabung pada keduanya. Elektroda positif yaitu elektroda jarum dan elektroda negatif berupa logam bentuk tabung dan *dielectric* berupa tabung berbahan kaca pyrex yang digunakan sebagai pengambat *discharge*.

Jarak antara elektroda dengan reaktor DBD sangat mepengaruhi kualitas pada proses pengolahan limbah cair [Khoiriyah dkk, 2012]. Dimana plasma didekatkan ke permukaan cairan sehingga spesies aktif diharapkan bisa lebih berinteraksi dengan cairan. Kontak antara plasma dengan cairan menghasilkan peluahan dengan cairan itu sendiri dan metode ini sangat

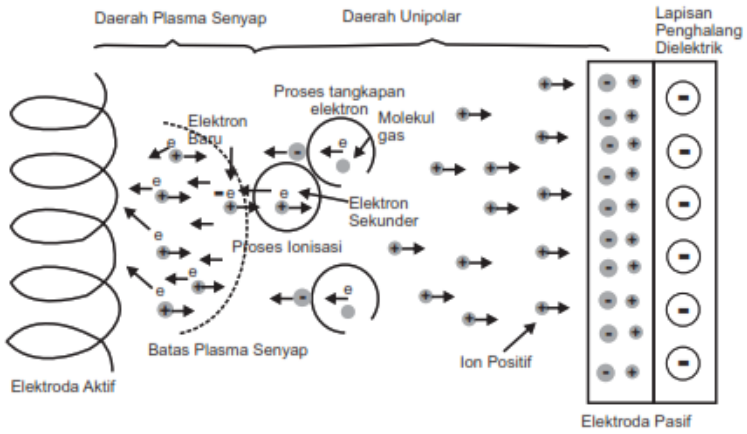
cepat (Brugmann, P., dkk., 2009). Adapun reaktor ini ditunjukan pada Gambar 5.3 berikut:



Gambar 5.3 Geometri dari lucutan plasma penghalang dielektrik sehingga terbentuk lucutan mikro.
(Sumber: McClellan, 2003)

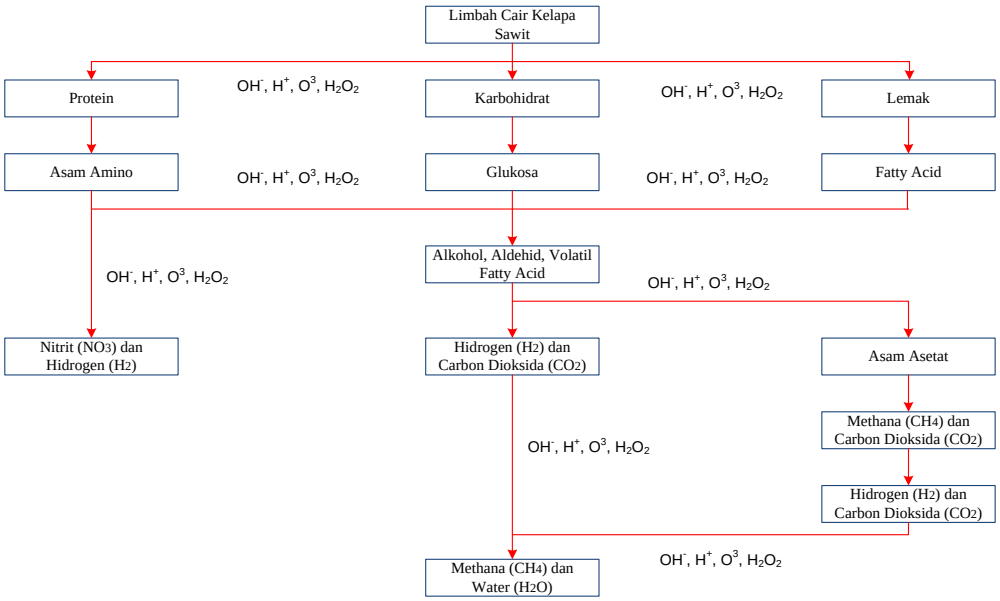
Ketika gas berada dalam pengaruh medan listrik yang mampu menimbulkan pergerakan spesies gas, elektron yang berenergi akan mentransferkan energinya pada molekul gas melalui tumbukan, eksitasi molekul, tangkapan elektron, disosiasi dan ionisasi. Spesies aktif utama yang dihasilkan dari proses transfer energi elektron adalah ion, radikal dan atom tereksitasi.

Lucutan plasma dengan penghalang dielektrik terbentuk di dalam medan listrik yang tak seragam, yang terjadi di daerah sekitar elektroda aktif yang dapat memungkinkan terjadinya ionisasi dan pembentukan elektron berenergi tinggi di daerah tersebut. Gambar 5.4 menunjukkan elektron-elektron yang bergerak di daerah tinggi



Gambar 5.4 Ilustrasi lucutan plasma penghalang dielektrik.
(Sumber: Chen, 2002)

Proses penguraian POME menjadi biogas dengan metode DBD plasma sistem dapat dilihat pada Gambar 5.5 dibawah ini:



Gambar 5.5 Proses penguraian POME dengan metode DBD plasma sistem

C. Profil Pengolahan Limbah Cair dengan *Dieclectric Barrier Discharge* (DBD)

1. Pendahuluan

POME diklasifikasikan sebagai air limbah yang sangat tercemar dengan nilai kebutuhan oksigen biokimia (BOD) dan kebutuhan oksigen kimiawi (COD) masing-masing dalam kisaran 2.500–5.000 mg/L dan 17.995–18.995 mg/L [Hazmi dkk, 2017]. Pengolahan biologis dengan penguraian anaerobik merupakan proses yang umum digunakan di industri pabrik kelapa sawit karena biayanya yang rendah dibandingkan dengan proses lainnya, seperti kolam penguapan dan penerapan perlakuan termal atau fisikokimia. Produksi biogas dengan fermentasi telah dipelajari dengan menggunakan palm oil mill effluent (POME).

Dalam pengolahan biologis, rasio BOD/COD harus lebih besar dari 0,5. Zainal dkk. [2018] melaporkan bahwa efisiensi penyisihan COD adalah 21,9% dengan suhu reaksi 50° C dan waktu reaksi 8 jam pada studi batch anaerob menggunakan POME. Selain itu, POME dapat menghasilkan sekitar 28 m^3 biogas per ton [Mao dkk, 2018]. Air limbah POME merupakan sumber yang sangat prospektif untuk produksi biogas sebagai sumber energi alternatif terbarukan. Untuk mengurangi waktu reaksi dalam menghasilkan biogas, digunakan *dielectric barrier discharge* (DBD) plasma dalam penelitian ini. Plasma DBD dihasilkan oleh pelepasan listrik dalam cairan, menghasilkan ion dan spesies aktif yang mengoksidasi radikal (H dan • OH) dan molekul (H_2O_2 dan O_3) untuk meningkatkan laju kinetik kimia. Reaktan spesies dan molekul ini efektif dalam mendegradasi senyawa organik di POME [Budiman dkk, 2016; Hazmi dkk, 2017]. Zeng dkk. [2018] telah meneliti kombinasi plasma DBD dengan katalis Ni-/Al_2O_3 pada suhu 160°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi DBD plasma dengan katalis berbasis Ni meningkatkan konversi metana, rendemen hidrogen dan efisiensi energi.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengolah POME dan air limbah lainnya dalam hal pembuangan BOD dan COD serta produksi biogas menggunakan plasma DBD [Budiman dkk, 2016; Hazmi dkk, 2017; Zeng

dkk, 2018; Ma dkk , 2020] dan umumnya kromatografi gas digunakan untuk mengidentifikasi spesies kimia tertentu dalam campuran gas kompleks. Namun, proses pengukuran memakan waktu lama. Untuk mengatasi masalah ini, sensor gas dengan sistem hidung elektronik digunakan dalam percobaan ini. Keunggulan sensor gas adalah perolehan data secara real time, batas deteksi pada beberapa ppm, dan sensitivitas tinggi. Selain itu, efek plasma DBD pada penghilangan bahan organik yang dinilai dengan matriks eksitasi-emisi fluoresensi (EEM) diteliti. Bahan organik fluoresensi dapat dilacak sebagai polusi sekunder yang dihasilkan bersama dengan POME. Oleh karena itu, penilaian bahan organik penting dilakukan untuk mengevaluasi kinerja plasma DBD.

2. Konfigurasi Eksperimen

a. POME

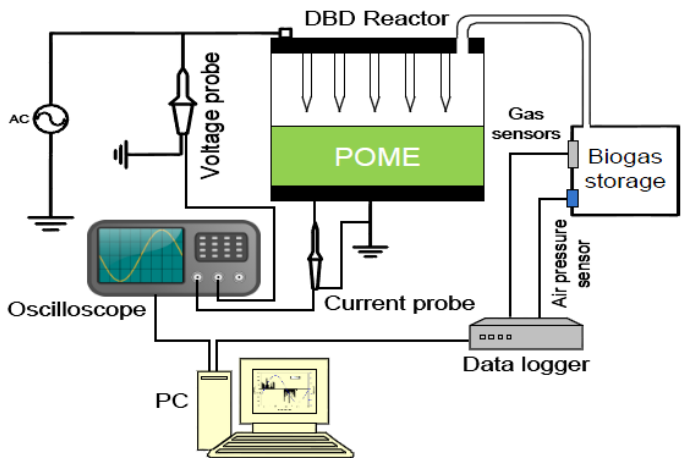
POME yang digunakan dalam penelitian ini sama dengan yang digunakan oleh Hazmi dkk [2017]. POME dibeli dari sebuah perusahaan kelapa sawit di PT. Tranco Energi Utama Incasi Raya Group di Indrapura, Kabupaten Pesisir Selatan, Provinsi Sumatera Barat, Indonesia. Jarak perusahaan dari Jurusan Teknik Kimia Universitas Bung Hatta Kota Padang adalah 202 km. POME dikumpulkan dari tangki sedimentasi awal, kemudian disaring menggunakan kain untuk menghilangkan kotoran, sisa-sisa sel tanaman, serat dan padatan lainnya. Karakteristik POME setelah filtrasi adalah: COD pada 17,995-18,995 mg/L, BOD pada 3,200–4,000 mg/L, pH 4–4,5, dan total padatan tersuspensi (TSS) pada 4,000–5,200 mg/L. Komposisi dari POME mentah ditampilkan pada Tabel 1 (Salihu dan Alam, 2012).

Tabel 5.1 Komposisi POME

Konstituen utama	Komposisi [%]
Kelembaban	6.99±0.14
Protein mentah	12.8±1.30
Lipid kasar	10.2±1.24
Abu	14.9±1.35
Karbohidrat	29.6±2.44
Ekstrak bebas nitrogen	26.4±2.33
Total karoten	0.02±0.00

b. Skema Eksperimen

Skema sistem plasma untuk produksi biogas ditunjukkan pada Gambar 1. Reaktor DBD terbuat dari kaca dan memiliki volume 3.500 mL. Volume kerja POME cair adalah 800 mL. Sistem dioperasikan pada suhu kamar (27-30° C) dan tekanan atmosfer (1 atm). Kenaikan suhu selama pengoperasian tidak terlalu signifikan.



Gambar 5.6. Sistem produksi biogas dari POME [Hazmi dkk, 2017].

Sistem ini mencakup elektroda bidang jarum, dengan elektroda jarum terhubung ke sumber arus bolak-balik (AC) tegangan tinggi dengan sistem frekuensi 50 Hz, sedangkan elektroda bidang terhubung ke ground. Jarak antara jarum dan permukaan POME adalah 5 mm. Tegangan 15, 20

dan 25 kV diterapkan ke sumber AC dan direkam dengan probe tegangan tinggi Tektronix P6015A. Arus pelepasan direkam menggunakan osiloskop Tektronix TDS5104 melalui probe arus P6021A. Selanjutnya digunakan wadah akrilik dengan volume sekitar 1.500 mL untuk penyimpanan gas. Sebuah pompa diafragma kecil digunakan untuk meningkatkan aliran gas dari reaktor DBD ke penyimpanan gas. Metana (CH_4) dan hidrogen (H_2) dideteksi oleh sensor-sensor gas yang terpasang pada tabung penyimpanan gas. Komputer merekam perubahan sinyal keluaran listrik dari semua sensor gas untuk mengukur konsentrasi gas dalam tabung penyimpanan selama satu jam menggunakan pencatat data (Pico ADC24).

3. Analisa dan Pembahasan

COD, pH dan BOD diukur dengan prosedur yang dijelaskan dalam metode standar APHA. Air limbah yang diolah disaring menggunakan filter membran selulosa asetat 0,2 μm yang diproduksi oleh ADVANTEC Corporation. Absorbansi UV dari POME yang difilter dianalisis pada 260 nm menggunakan spektrofotometer U-3210, diproduksi oleh Hitachi Co., Ltd. Total karbon organik terlarut (DOC) dianalisis menggunakan TOC-V, penganalisis yang diproduksi oleh Shimadzu. Spektroskopi EEM tiga dimensi (3D-EEM) (spektrofluorometer RF-5300 PC, Shimadzu) digunakan untuk membedakan berbagai jenis dan sumber bahan organik alami. Dengan menentukan panjang gelombang emisi (Em), intensitas fluoresensi dan panjang gelombang eksitasi (Ex), dimungkinkan untuk mendapatkan sidik jari yang akurat dari sampel air limbah yang diolah, karena panjang gelombang eksitasi-emisi (Ex / Em) tertentu dapat dikorelasikan dengan struktur molekul tertentu. Jumlah gas CH4 dan H2 ditentukan dengan menggunakan sensor gas. Hasil biogas dihitung menggunakan konstanta gas universal teoritis.

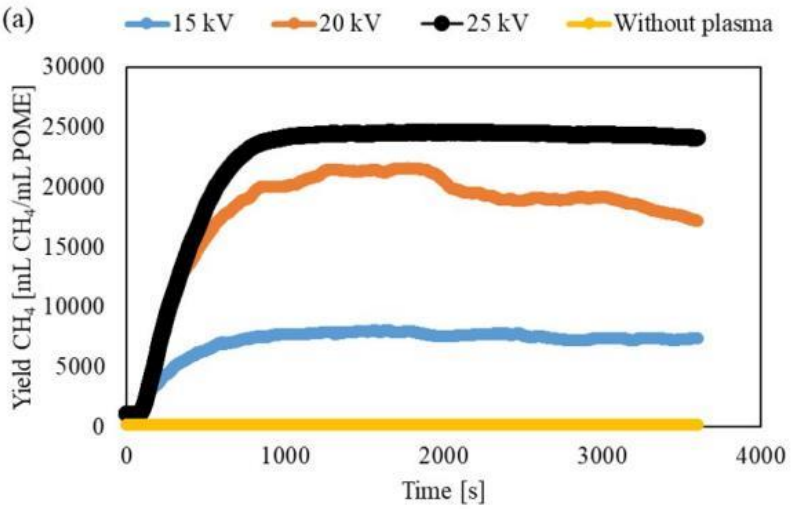
$$PV = nRT \quad (1)$$

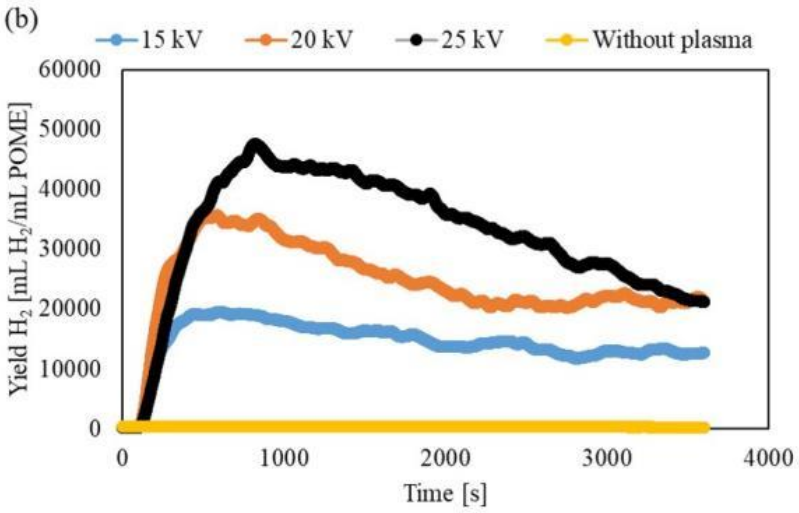
Disini, P = tekanan [atm], V = volume biogas [mL], n = jumlah zat gas [mol], R = konstanta gas [0,08206 L atm/mol K], dan T = temperatur [K]. Hasil biogas adalah nilai volume biogas dibagi volume sampel. Produksi

gas volumetrik dilaporkan pada suhu dan tekanan standar (STP). Semua pengukuran dilakukan dalam rangkap tiga dan hasilnya diplot dan dilaporkan sebagai nilai rata-rata dengan standar deviasi.

a. Produksi Metana dan Hidrogen

Karena peningkatan tegangan, kerapatan elektron dan konsentrasi spesies radikal meningkat secara signifikan, yang merangsang dan mengaktifkan produksi CH_4 dan H_2. Tegangan yang diterapkan memiliki pengaruh yang signifikan pada hasil CH_4 dan H_2 dari POME, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Hasil CH_4 adalah 7.697, 20.050 dan 24.156 mL, POME CH_4/mL dan rendemen H_2 adalah 7.697, 20.050 dan 24.156 mL, H_2/mL POME untuk tegangan yang diterapkan masing-masing pada 15, 20 dan 25 kV. Spesies radikal dihasilkan oleh ikatan C = O dan C-H ketika tegangan tinggi diterapkan pada POME dan bereaksi untuk membentuk CH_4, H_2 dan karbon dioksida (CO_2). Reaksi berantai menyebabkan degradasi POME yang lebih tinggi ketika tegangan yang diberikan ditingkatkan. Seperti yang ditunjukkan Gambar 5.7, tegangan yang diterapkan secara signifikan mempengaruhi produksi CH_4 dan H_2. Hasil ini sama dengan yang ditemukan oleh Mao dkk [2018].





Gambar 5.7 Produksi biogas dicapai dari berbagai tegangan yang diterapkan untuk (a) CH_4 dan (b) hasil H_2 (Desmiarti dkk, 2021).

Degradasi senyawa organik menjadi CH_4 dan H_2 masing-masing mencapai 30 hingga 39% dan 61 hingga 70% untuk tegangan yang diterapkan pada 15 dan 25 V setelah dijalankan selama 1000 detik. Lattif dkk. [2016] menyelidiki produksi biogas dari limbah buah kurma dan menemukan bahwa biogas tersebut mengandung 63% metana di bawah suhu yang terkontrol dengan baik pada suhu 37° C. Waktu reaksi merupakan parameter yang signifikan untuk degradasi bahan organik menjadi biogas dan penghilangan COD. Waktu reaksi dalam penelitian ini 238 kali lebih pendek dibandingkan hasil fermentasi batch dengan proses kontinyu [Norfadilah dkk, 2016] dan 24 kali lebih pendek dari pretreatment ultrasonifikasi yang dilanjutkan dengan foto fermentasi [Budiman dan Wu, 2016]. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat menyajikan korelasi antara waktu reaksi dan konversi senyawa organik menjadi biogas. Hasil kami menunjukkan bahwa produksi CH_4 meningkat dengan tegangan yang diterapkan lebih tinggi.

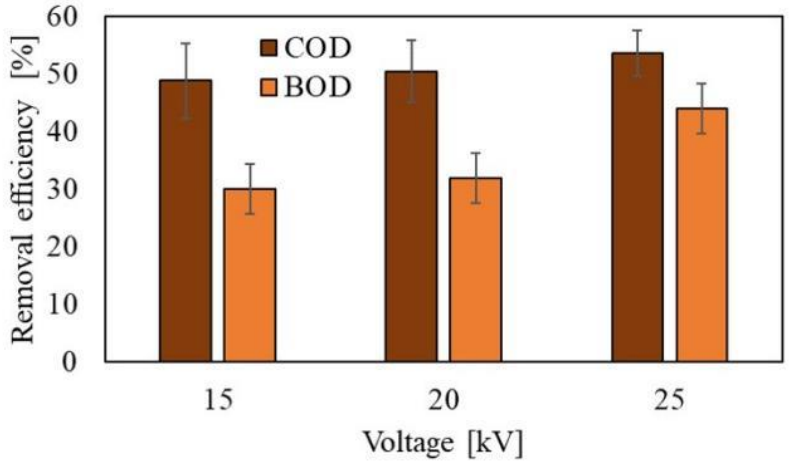
Selain hasil CH_4 dan H_2, penghilangan COD merupakan fungsi penting lainnya dalam sistem produksi biogas sekuensial, dan penelitian ini

mencapai penghilangan COD 53,7% untuk parameter ini. Selanjutnya, hasil CH_4 dan H_2 meningkat seiring dengan penurunan konsentrasi COD. Jumlah maksimum hasil CH_4 dan H_2 dicapai masing-masing pada 24.618 mL CH_4/mL POME dan 47.638 mL H_2/mL POME, dihilangkan untuk konsentrasi COD sebesar 7.995 mg/L.

b. Degradasi POME Tingkat Menengah

Efisiensi penyisihan COD dan BOD ditampilkan pada Gambar 10. BOD adalah pengukuran jumlah oksigen yang dibutuhkan bakteri untuk mendegradasi komponen organik yang ada dalam sampel dalam kondisi uji dan COD adalah kondisi uji oksigen total. Dalam studi ini, zat organik direduksi karena oksidasi oleh oksidan yang dihasilkan, termasuk O_3 dan • OH. COD awal dan BOD sampel POME masing-masing adalah 17.995 mg/L dan 3.200 mg/L. Setelah 1.000 detik perlakuan, COD dan BOD menurun masing-masing menjadi 7.995 mg/L (pengurangan 53,7%) dan 1.600 mg/L (pengurangan 44%) dengan tegangan yang diterapkan masing-masing 25 kV. % Penurunan COD yang relatif rendah merupakan indikasi adanya senyawa organik kompleks dalam POME [Wu dkk, 2009].

Penurunan COD dan BOD setelah perlakuan menunjukkan bahwa sumber listrik dan tegangan yang diberikan berpengaruh signifikan terhadap efisiensi penyisihan COD. Zainal dkk. [2018] mempelajari penghilangan COD dari POME menggunakan proses anaerobik termofilik dan menemukan efisiensi penghilangan COD sebesar 21,9% pada 30° C untuk waktu reaksi 8 jam. Khemkhao dkk. [2011] melaporkan bahwa efisiensi penyisihan COD meningkat ketika organic loading rate (OLR) meningkat. Efisiensi penyisihan COD sebesar 49,5% dengan fermentasi gelap adalah sama seperti yang dilaporkan.



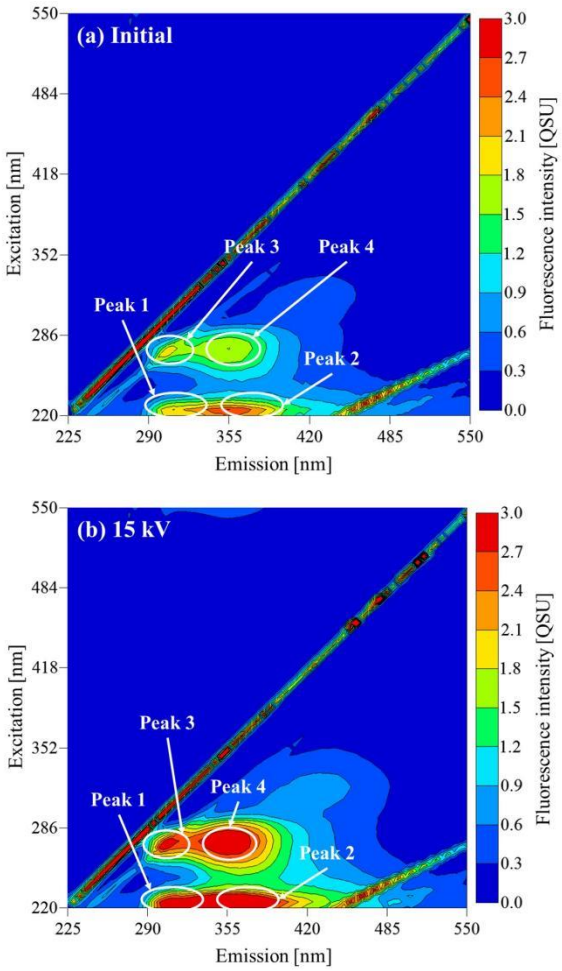
Gambar 5.8 Efisiensi penghilangan COD dan BOD [Desmiarti dkk, 2021].

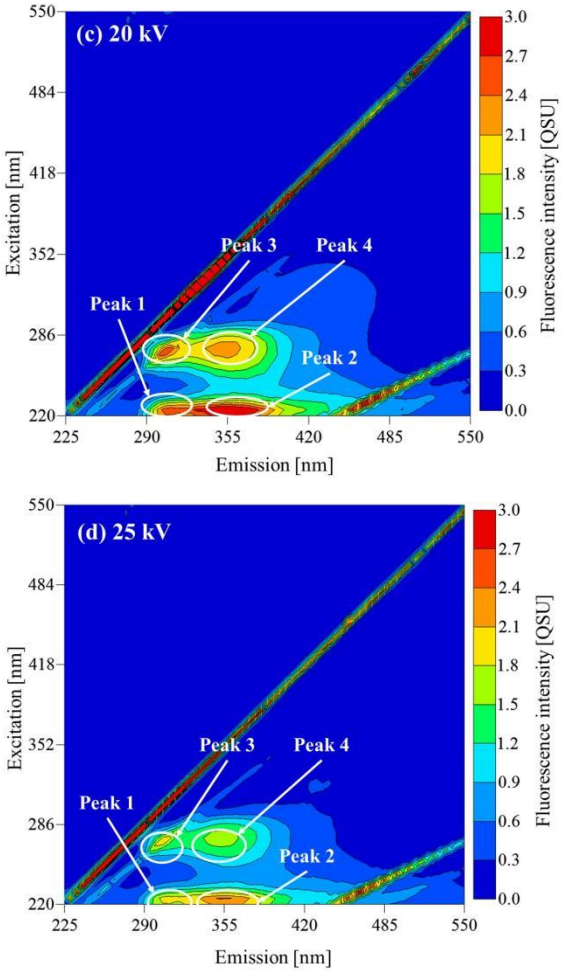
Spektroskopi fluoresensi dianggap sebagai teknik yang sesuai untuk mendeteksi bahan organik dan untuk melacak perubahan dan perilakunya selama rangkaian pengolahan di air dan air limbah [Li dkk, 2020]. Pengaruh tegangan yang diberikan pada bahan organik fluoresensi yang diamati di POME diGambarkan pada Gambar 11. Munculnya puncak 3 (Ex / Em dari 250 hingga 450 nm / 250 hingga 380 nm) dan puncak 4 (Ex / Em dari 250 hingga 450 / 330 hingga 370 nm) yang diGambarkan sebagai komponen mirip protein triptofan, [He dkk, 2013; Wen dkk, 2003], meningkat dengan peningkatan tegangan yang diterapkan menjadi 15 dan 20 kV. Hasil ini mungkin menunjukkan bahwa tegangan pada 15 kV mendorong pelepasan bahan organik di daerah fluoresensi ke dalam cairan [Wang dkk, 2020].

Puncak 1 (Ex / Em 220 hingga 250 nm / 280 hingga 330 nm) dan puncak 2 (Ex / Em 220 hingga 250 nm / 330 hingga 380 nm) masing-masing dijelaskan sebagai komponen mirip protein tirosin dan protein triptofan. [He dkk, 2013; Wen dkk, 2003], berangsur-angsur menurun dengan meningkatnya tegangan yang diterapkan pada 20 dan 25 kV, yang menunjukkan degradasi bahan organik yang terjadi pada POME yang diolah disertai dengan rusaknya karboksil dan hidroksil. kelompok dalam zat mirip protein aromatik selama sistem plasma DBD [Wang dkk, 2016; Zhang dkk, 2016]. Intensitas fluoresensi dari semua bahan organik fluoresensi yang

diamati dalam sampel menurun dengan tegangan yang diterapkan pada 20 dan 25 kV, yang menegaskan kinerja yang sangat baik dari plasma DBD untuk menurunkan kontaminan bahan organik.

Karena EEM fluoresensi adalah indikator pengganti untuk melacak komposisi bahan organik dalam air dan air limbah, hubungan umum antara indeks air dan air limbah sangat berkorelasi. Dengan kenaikan tegangan yang diterapkan sebesar 25 kV, semua bahan organik fluoresensi yang ditunjukkan pada Gambar 11 menurun. Penurunan komponen protein aromatik sejalan dengan penurunan konsentrasi COD saat tegangan dinaikkan. Efisiensi penyisihan COD dan BOD di semua tegangan perlakuan menunjukkan hubungan yang sama: 25 kV> 20 kV> 15 kV.





Gambar 5.9 Spektrum fluoresensi bahan organik dari (a) tegangan awal dan tegangan yang diterapkan (b) 15 kV, (c) 20 Kv, (d) 25 kV [Desmiarti dkk, 2021].

D. Profil Pengolahan Limbah Cair dengan Kombinasi Proses Aerobik dan *Dielectric Barrier Discharge* (DBD)

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan produsen dan pengekspor minyak sawit terbesar di dunia dengan produksi komoditas tersebut sekitar 48,4 juta metrik ton [Badan Pusat Statisik, 2020]. Dalam beberapa tahun terakhir, produksi minyak sawit telah mendapat sorotan dan kritik global yang

meningkat, karena efek yang merugikan terhadap lingkungan. Seiring dengan produksi minyak sawit, pabrik kelapa sawit menghasilkan volume besar limbah cair dari ekstraksi buah sawit, yang selanjutnya disebut limbah pabrik kelapa sawit (POME). POME dianggap sebagai air limbah industri berkekuatan tinggi yang dapat 100 kali lebih mencemari daripada limbah kota [T. Y. Wu dkk, 2009]. POME mengandung sekitar 95-96% air, 4-5% total padatan (TS) dan juga dilaporkan memiliki kebutuhan oksigen biologis (BOD) yang tinggi, kebutuhan oksigen kimia (COD) dan adanya asam organik dengan bau yang tidak sedap [M. A. M. Anuar dkk, 2021]. Selanjutnya, Mao *et al* . [S. Mao dkk, 2018] melaporkan bahwa 28 m^3 metana diproduksi per ton POME. POME merupakan sumber yang prospektif untuk produksi biogas sebagai sumber energi alternatif terbarukan [R. Desmiarti dkk, 2021]. Dengan demikian, pengolahan berkelanjutan untuk POME yang dihasilkan dari pabrik kelapa sawit diperlukan untuk pembuangan yang aman ke lingkungan.

Banyak pengolahan konvensional telah ditujukan untuk digunakan untuk pengolahan POME, seperti proses biologis [M. M. Rahman dkk, 2018], koagulasi dan flokulasi [A. Y. Zahrim dkk, 2017] dan elektrokoagulasi [S. Ibrahim dkk, 2018 dan D. T. Moussa dkk, 2017]. Pengolahan kolam banyak digunakan untuk pengolahan POME yang terdiri dari sistem anaerobik, fakultatif, dan aerobik. Namun, pengolahan tambak tidak mampu mencapai kualitas efluen yang memuaskan karena degradasi polutan yang tidak efektif, pengoperasian yang tinggi pada energi aerasi dan penyedotan tambak, mencemari aliran air penerima, serta emisi gas [K.Y. Show dkk, 2021]. Perawatan lanjutan tampaknya paling menguntungkan untuk degradasi polutan organik yang sangat terkonsentrasi di POME. Untuk skala lab, penggunaan dielectric barrier discharge (DBD) telah menunjukkan bahwa polutan organik dapat dihilangkan serta keberhasilan produksi biogas dari POME [5]. DBD menghasilkan agen oksidan, seperti radikal hidroksil (•OH), hidrogen peroksida (H_2O_2) dan ozon (O_3), yang memiliki potensi oksidasi tinggi untuk menguraikan senyawa organik dalam air [P.M. Budiman dkk, 2016 dan A.Hazmi dkk, 2017]. Dengan energi input yang berbeda dan

adanya agen oksidan, konversi yang lebih tinggi, dan degradasi polutan organik menjadi biogas dalam POME dapat dicapai melalui pengolahan DBD. Untuk meningkatkan efisiensi proses, penelitian ini menyelidiki kelayakan sistem DBD untuk menghasilkan gas dari POME dengan mengurangi waktu reaksi.

Pada penelitian ini, reaktor DBD dilengkapi dengan sensor gas real time dengan sensitivitas dan limit deteksi tinggi untuk merekam biogas yang dihasilkan dari POME. Tegangan input 15, 20 dan 25 kV dan waktu reaksi selama 3 jam diidentifikasi untuk percobaan. Memvariasikan tegangan input dapat mendiagnosa kondisi optimum untuk membentuk biogas dari POME dengan waktu reaksi yang singkat dalam skala lab . Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja pengolahan DBD dengan memvariasikan tegangan input dan waktu reaksi untuk produksi biogas dari POME serta potensi reduksi polutan di POME yang dinilai dengan nilai COD dan TS.

2. Konfigurasi Eksperimen

a. POME

POME yang digunakan dalam penelitian ini dibeli dari Pabrik pengolahan kelapa sawit, sebuah perusahaan kelapa sawit yang berlokasi di Indrapura, Sumatera Barat, Indonesia. POME dikumpulkan dari tangki sedimentasi awal, dan penyaringan dilakukan untuk menghilangkan kotoran, sisa-sisa sel tanaman, serat, dan padatan lainnya. Karakteristik POME yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Karakteristik POME

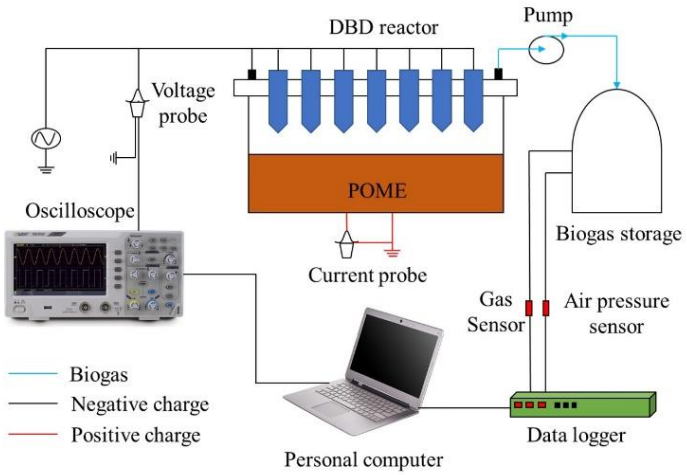
Parameters	Values
pH	5.5*
COD (mg/L)	2,866.2*
BOD (mg/L	8,000–30,000**
TS (mg/L)	456.9*
NH_3-N (mg/L)	13**
Oil and grease (mg/L)	224**

* data diukur di laboratorium

** data diambil dari database plant

b. Proses DBD

Sebuah gelas 3.500 mL digunakan sebagai reaktor DBD dan volume kerja POME adalah 800 mL. Sistem dioperasikan pada suhu kamar (25 °C) dan tekanan atmosfer (1 atm) (Gambar 5.10). Sistem DBD dilengkapi dengan elektroda bidang jarum, dengan elektroda jarum dihubungkan ke arus bolak-balik tegangan tinggi dengan frekuensi 50 Hz, sedangkan elektroda bidang dihubungkan ke tanah. Tegangan input yang digunakan dalam penelitian ini adalah 15, 20 dan 25 kV dan disuplai ke sumber AC dengan waktu reaksi 3 jam dan direkam dengan probe tegangan tinggi Tektronix P6014A. Arus pelepasan direkam menggunakan osiloskop TDS5104 melalui probe arus P6021A. Pompa diafragma digunakan untuk mengalirkan gas dari reaktor DBD ke penyimpanan gas akrilik dengan volume 1.500 mL.



Gambar 5.10 Diagram skema sistem pengolahan DBD.

Degradasi polutan organik pada POME akan menghasilkan biogas, dimana karbohidrat digunakan sebagai substrat untuk reaksi berikut.

$$(C_6H_{12}O_6)_{8(aq)} \rightarrow 8C_4H_8O_{2(aq)} + 16CO_{2(g)} + 16H_{2(g)} \qquad \Delta H = -7855{,}52\ Kj/mol$$

$$8C_4H_8O_{2(aq)} \rightarrow 16H_2O_{(l)} + 8CH_{4(g)} + 24C_{(s)} \qquad \Delta H = -2344{,}72\ Kj/mol$$

3. Analisis

TGS 821, TGS 816, dan CDM 7160 yang diproduksi oleh Figaro Ltd., Jepang digunakan untuk mencatat konsentrasi masing-masing gas H_2 , CH_4 , dan CO dan CO_2 . Data logger Pico ADC24 digunakan untuk merekam konsentrasi gas selama 3 jam reaksi dan mentransfer sinyal keluaran listrik ke komputer. pH, COD dan TS diukur dengan prosedur yang dijelaskan dalam metode standar APHA.

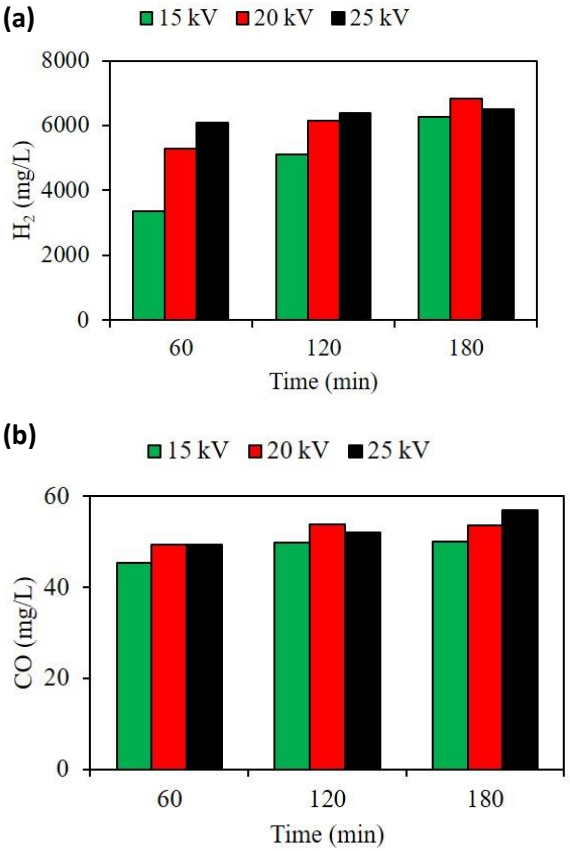
4. Analisa dan Pembahasan

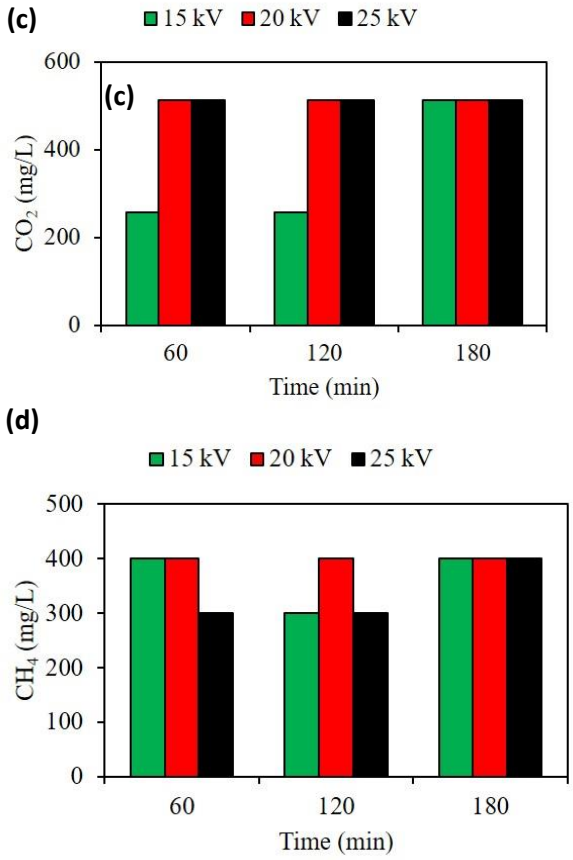
a. Produksi Biogas dibawah Tegangan Input yang berbeda

Gambar 5.11 menunjukkan jumlah biogas yang dihasilkan dari POME dengan variasi tegangan input (15, 20 dan 25 kV). Perlakuan DBD menghasilkan agen oksidan ketika tegangan tinggi diterapkan dan bereaksi dengan senyawa organik (yaitu, karbohidrat) dalam POME untuk membentuk H_2, CH_4 ,CO, dan CO_2 (Persamaan 1–2) . Gambar 5.11 (a-b) menunjukkan bahwa konsentrasi H_2 dan CO meningkat 86% dan 10%, masing-masing, ketika tegangan input meningkat menjadi 25 kV. Tegangan yang diberikan dapat mempermudah penyerapan energi oleh C═O dalam CO_2 untuk membentuk CO. Konsentrasi H_2 yang tinggi diduga bahwa perlakuan DBD mempercepat pembentukan •O dari C═O yang akan bereaksi dengan CH_4 dan membentuk H_2 [S. Mao dkk, 2018]. Peningkatan produksi biogas dengan meningkatnya tegangan input menunjukkan tingginya reaksi zat biodegradable dalam POME dengan agen oksidan yang dihasilkan dari pengolahan DBD. Mensuplai tegangan input yang lebih tinggi akan meningkatkan konsentrasi agen oksidan dan kerapatan elektron, sehingga meningkatkan konversi CH_4 dan CO_2 yang tinggi .

Pembentukan biogas umumnya meningkat dengan bertambahnya waktu reaksi. Konsentrasi H_2 dan CO menunjukkan tren peningkatan untuk tegangan yang diterapkan masing-masing dari 15 kV hingga 86% dan 10% pada 15 kV. Gambar 5.11 (c-d) menunjukkan bahwa CO_2 dan CH_4 yang stabil

dalam tren konsentrasi dengan waktu reaksi berkepanjangan. Hal ini menunjukkan bahwa pembentukan CO_2 dan CH_4 untuk tegangan yang lebih tinggi mencapai konversi maksimum karena keterbatasan densitas energi. Secara umum, waktu reaksi yang lama dapat memasok lebih banyak konsumsi energi untuk biogas di reaktor DBD, sehingga meningkatkan produksi biogas [S. Mao dkk, 2018].





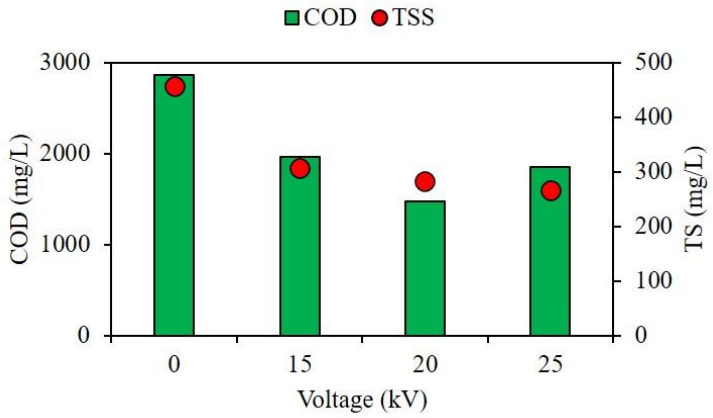
Gambar 5.11 Jumlah (a) H_2, (b) CO, (c) CO_2 dan (d) CH_4 yang dihasilkan dari POME pada tegangan input yang berbeda.

b. Pengaruh Tegangan Input terhadap Penurunan COD dan TS

Selain meningkatkan produksi biogas, perlakuan DBD dapat memfasilitasi biodegradasi POME dengan menurunkan nilai COD dan TS. Gambar 3 menunjukkan jumlah pengurangan COD dan TS dengan mengadopsi tegangan input yang berbeda. Persentase pengurangan COD terbesar diamati pada 20 kV, yang setara dengan 49%, sedangkan pengurangan TS diamati lebih tinggi hingga 42% pada 25 kV. Penurunan COD yang lebih rendah pada 25 kV kemungkinan disebabkan oleh adanya bahan organik rekalsitran yang tinggi pada POME yang tidak dapat bereaksi dengan oksidator selama perlakuan DBD. Namun, penurunan COD dan TS dalam penelitian ini umumnya lebih rendah dari penelitian yang sesuai oleh

Liew *et al* . [Z.K.Liew dkk, 2012], di mana penyisihan COD dan TS dicapai masing-masing sebesar 88,9% dan 61,5%. Hal ini mungkin disebabkan oleh kemampuan pengendapan dan biodegradabilitas POME yang lebih rendah yang digunakan dalam penelitian ini.

Perlakuan DBD menunjukkan penurunan COD dan TS pada POME dengan mengadopsi tegangan input dan listrik yang lebih tinggi [R.Desmiarti dkk, 2021)]. Selama proses DBD, $\bullet OH^-$ dihasilkan dan menyerang zat organik di POME dan memulai penghancuran oksidasi melalui penambahan radikal dan secara langsung mengurangi kandungan COD [M.R. Taha dkk, 2014]. Perlakuan DBD juga dapat mengendapkan kandungan lignin dalam POME dan menurunkan nilai pH, sehingga terjadi penurunan TS dan pH turun dari 5,5 menjadi 5. Karena pH tercatat 5 pada 25 kV, hasilnya menunjukkan bahwa pH yang lebih rendah dapat menyebabkan aglomerasi partikel lignin membentuk flok yang lebih besar dan rapat, sehingga menghasilkan nilai TS yang lebih rendah. Temuan ini sesuai dengan penelitian Taha dan Ibrahim 2014 yang menunjukkan bahwa pH 2 mempercepat aglomerasi partikel dalam POME, menghasilkan kekeruhan terendah.



Gambar 5.12 Konsentrasi reduksi COD dan TS pada tegangan input yang berbeda.

E. Kesimpulan

Pengaruh tegangan yang diberikan ke sistem plasma DBD pada 15, 20 dan 25 kV pada produksi biogas (hasil CH_4 dan H_2) dan efisiensi penyisihan EEM dan COD dari POME dipelajari. Rendemen CH_4 lebih tinggi daripada rendemen H_2. Efisiensi penyisihan COD tertinggi adalah 53,7% untuk tegangan yang diterapkan 25 kV dan waktu reaksi pada 1.000 detik. Bahan organik terdiri dari komponen seperti tirosin dan triptofan yang mengalami penurunan dengan kenaikan tegangan yang diterapkan pada 20 dan 25 kV, menunjukkan bahwa kinerja DBD plasma berhasil mendegradasi kontaminan bahan organik.

Tegangan input dan waktu reaksi yang diterapkan pada perlakuan DBD diselidiki untuk melihat potensi produksi biogas dari POME serta penurunan COD dan TS. Peningkatan tegangan input menjadi 15 kV meningkatkan konversi POME menjadi gas H_2, CH_4 , CO dan CO_2 dengan perlakuan DBD masing-masing hingga 86%, 33%, 10% dan 99%. Waktu reaksi juga mempengaruhi produksi biogas dari POME. Peningkatan waktu reaksi pada tegangan 25 kV, konsentrasi biogas meningkat menjadi 7%, 33% dan 16% untuk H_2, CH_4 dan CO. COD dan TS menurun dengan meningkatnya tegangan input. Angka reduksi COD yang tinggi diamati pada 20 kV yang setara dengan 49%, sedangkan reduksi TS teramati 42% pada 25 kV. Rendahnya penurunan COD dan TS pada penelitian ini kemungkinan disebabkan oleh tingginya nilai pH POME yang tidak dapat memfasilitasi kinerja degradasi COD dan aglomerasi TS yang baik. Namun, kinerja operasional saat ini dari penelitian ini membutuhkan penyelidikan lebih lanjut (yaitu, penyesuaian pH sebagai proses pretreatment). Penurunan nilai pH dapat mempercepat proses degradasi serta proses aglomerasi sehingga menghasilkan penurunan COD dan TS yang tinggi. Karya ini memberikan informasi penting tentang pemahaman sistem pengolahan DBD untuk konservasi dan pengolahan air limbah, khususnya POME.

F. Daftar Pustaka

Budiman, P. M., and T. Y. Wu. (2016). Ultrasonication Pre-treatment of Combined Effluents from Palm Oil, Pulp and Paper Mills for Improving Photofermentative Biohydrogen Production. *Energy Convers*. Manag., 119, 142–150.

Desmiarti R., Utami Nola T., Adios M., Sakti Ofta B., Saputra Dharma R., Hazmi, A., Rosadi Maulana Y., The Input Voltage and Reaction Time from Dielectric Barrier Discharge Treatment Affect the Biogas Production and the Reduction of Pollutants in Palm Oil Mill Effluent., 2nd International Symposium of Indonesian Chemical Engineering (ISIChem) (Submitted)

Hazmi, A., R. Desmiarti, P. Emeraldi, M. I. Hamid, E. Edwardo and E. P. Waldi. (2017). Preliminary Study on Treatment of Palm Oil Mill Effluent (POME) by Sand Filtration-DBD Plasma System, *Telkomnika*, 15, 554–559.

He, X., B. Xi, X. Li, H. Pan, D. An and S. Bai. (2013). Fluorescence Excitation–emission Matrix Spectra Coupled with Parallel Factor and Regional Integration Analysis to Characterize Organic Matter Humification. *Chemosphere*, 93, 2208–2215.

Khemkhao, M., B. Nuntakumjorn, S. Techkarnjanaruk and C. Phalakornkule. (2011). Effect of Chitosan on UASB Treating POME during a Transition from Mesophilic to Thermophilic Conditions. *Bioresour. Technol*., 102, 4674–4681.

Khoiriyah, A., Utami, M. C. T. W., Istadi, I., Kimia, J. T., Teknik, F., Diponegoro, U., Soedarto, J. P., & Fax, T. (2012). *Studi Reaktor Plasma Dielectric Barrier Discharge (Dbd) Planar To Planar Untuk Pre-Treatment Konversi Limbah Plastik Polipropilen Menjadi Bahan Bakar Cair*. *1*(1), 213–221.

Lattief, F. A. (2016). A Study of Biogas Production from Date Fruit Wastes. *J. Clean*. Prod., 139, 1191–1195.

Li, L., Y. Wang, W. Zhang, Z. Yu, S, Yu, X. Wang and N. Gao. (2020). New Advances in Fluorescence Excitation-emission Matrix Spectroscopy for the Characterization of Dissolved Organic Matter in Drinking WaterTreatment: A Review. *Chem. Eng. J.*, 381, 122676.

Ma, S., K. Kim, S. Chun, S. Y. Moon and Y. Hong. (2020). Plasma-assisted Advanced Oxidation Process by a Multi-hole Dielectric Barrier Discharge in Water and Its Application to Wastewater Treatment. *Chemosphere*, 243, 125377.

Mao, S., Z. Tan, L. Zhang and Q. Huang. (2018). Hydrogen Production via Synthetic Biogas Reforming in Atmospheric-Pressure Microwave (915 MHz) Plasma at High Gas-Flow Output," *J. Energy. Inst.*, 91, 172–183.

Norfadilah, N., A. Raheem, R. Harun and F. R. Ahmadun. (2016). Bio-hydrogen Production from Palm Oil Mill Effluent (POME): A Preliminary Study. *Int. J. Hydrog. Energy*, 41, 11960–11964.

Reni Desmiarti, Maulana Yusup Rosadi, Primas Emeraldi, Ariadi Hazmi. (2021). Integrated Evaluation of POME Treatment by Dielectric Barrier Discharge Based on Yield of H_2 and CH_4, EEM and Removal of COD, *JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING OF JAPAN*, Volume 54, Issue 5, Pages 255-259.

Wang, H., X. Z. Yuan, Y. Wu, G. M. Zheng, H. R. Don, X. H. Chen, L. J. Leng, Z. B. Wu and L. J. Peng. (2016). In situ Synthesis of In2S3@MIL-125(Ti) Core-shell Microparticle for the Removal of Tetracycline from Wastewater by Integrated Adsorption and Visible-light-driven Photo-catalysis. *Appl. Catal. B.*, 186, 19–29.

Wang, T. C., L. L. Zhou, Y. Cao, Y. Zhang, G. Z. Qu, X. T. Guo, H. Z. Jia and L. Y. Zhu. (2020). Decomposition of Cu (II)-natural Organic Matter Complex by Non-Thermal Plasma Oxidation: Process and Mechanisms. *J. Hazard. Mater.*, 389, 121828.

Wen, C., W. Paul and A. Jerry. (2003). Fluorescence Excitation–emission Matrix Regional Integration to Quantify Spectra for Dissolved Organic Matter. *Environ. Sci. Technol.*, 37, 5701–5710.

Wu, T. Y., A. W. Mohammad, J. M. Jahim, N. Anuar. (2009). A Holistic Approach to Managing Palm Oil Mill Effluent (POME): Biotechnological Advances in the Sustainable Reuse of POME. *Biotechnol. Adv.*, 27, 40–52.

Zainal, B. S., N. S. Mohammad, A. A. Zinatizadeh, O. H. Chyuan, S. Ibrahim. (2018). Effects of Process, Operational and Environmental Variables on Biohydrogen Production Using Palm Oil Mill Effluent (POME). *Int. J. Hydrog. Energy*. 43, 10637–10644.

Zeng, Y. X., L. Wang, C. F. Wu, B. X. Shen and X. Tu. (2018). Low Temperature Reforming Of Biogas Over K-, Mg- And Ce-Promoted Ni/Al_2O3 Catalysts for The Production of Hydrogen Rich Syngas: Understanding The Plasma-Catalytic Synergy. Appl. Catal. B., 224, 469–478.

Zhang, C., Z. Fang, W. Liu, F. Tian and M. Bai. (2016). Rapid Removal of Bacterial Endotoxin and Natural Organic Matter in Water by Dielectric Barrier Discharge Plasma: Efficiency and Toxicity Assessment, *J. Hazard. Mater.*, 318, 15–23.

DAFTAR INDEX

A

Aerobik, 2,6,14,16,2-21,24-25,27,56-57
Anaerobik, 2,6,19-24,27,47,56-57

B

Biofuel, 6
Biogas, 3,5-6,16-20,27-28,38-39,41
Biologis, 19,22,47,57
Biomassa, 15,17,43-44
Biometana, 5
BOD, 2,6,14-15,24-27,44,47-48,50,53-55,57-58

C

CH_4, 3,20,24,38-39,46-49,51,63-66,73,75,77-78
Clarifier Station, 12
COD, 2,6,14-15,17,26-27,39,44,49-50,52-53,60-61,63,65-68,70-71,73,75-78
CPO, 6,8-10,12

D

Dielectric Barrier Discharge (DBD), 55
Digester, 12,2,52
Dump Truck, 8

E

Elektroda, 33-35,42-44,53,56-58,62,72
Elektrokimia, 29,33-34,52-53
Elektrolisis, 2,41-45,47,50-52
Elektrolit, 41-44
Energi Terbarukan, 1-3,5,17

G

Gas Alam, 5

H

H_2, 3,20,24,35,38-39,42,46-49,60,63-66,73,75,77,78
H_2S, 20,42
Hidrolisis, 20,23,51

K

Karbohidrat, 19-20,57,62,72-73
Kernel, 2,13

L

Lemak, 15,19-20,23,50,57
Limbah Cair, 3,6-7,14-17,19-27,41,44,50,52-53,55,57,60,69-70
Limbah Padat, 2,6,14,21
Loading Ramp, 12-12

M

Metal-Oxide-Semiconductor (MOS), 30

N

N_2, 20,79
Non-Dispersive Infrared (NDIR), 36

P

pH, 2,15,22,26-27,51,61,63,71,73,76-77
POME (Palm Oil Mill Effluent), 6,21,28
Presser, 12
Protein, 19-20,23,57,62,67-68

R

Reduksi-Oksidasi, 41,44

S

Sand Trap, 12
Sel Elektrolisis, 41-42,44
Sensor Gas, 29-38,56,61,63,71
Sortasi, 9-10
Sterilizer, 12

Suhu, 13,15,22,30,32,43,60,62,64-65,72

T

Tandan Buah Segar, 2,6,12,14,21
Thresser, 12
Total Solid, 15,52