

**POTENSI *BIOREFINERY* LIMBAH INDUSTRI PANGAN DAN
PERTANIAN BERBASIS *ANAEROBIC DIGESTION* UNTUK
MENGHASILKAN ENERGI DAN PRODUK/BAHAN KIMIA
HIJAU**



UNIVERSITAS GADJAH MADA

**Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar
Dalam Bidang Ilmu Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian
pada Fakultas Teknologi Pertanian
Universitas Gadjah Mada**

**Oleh
Prof. Dr. Ria Millati, S.T., M.T.**

**POTENSI *BIOREFINERY* LIMBAH INDUSTRI PANGAN DAN
PERTANIAN BERBASIS *ANAEROBIC DIGESTION* UNTUK
MENGHASILKAN ENERGI DAN PRODUK/BAHAN KIMIA
HIJAU**



UNIVERSITAS GADJAH MADA

**Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar
Dalam Bidang Ilmu Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian
pada Fakultas Teknologi Pertanian
Universitas Gadjah Mada**

**Disampaikan pada Pengukuhan Guru Besar
Universitas Gadjah Mada
Pada tanggal 27 Februari 2024
Di Yogyakarta**

**Oleh
Prof. Dr. Ria Millati, S.T., M.T.**

Bismillaahir rohmaanir rohiim

Yang saya hormati,

Ketua, Sekretaris, dan Anggota Majelis Wali Amanat Universitas
Gadjah Mada

Rektor, Wakil Rektor Universitas Gadjah Mada

Ketua, Sekretaris, dan Anggota Senat Akademik Universitas Gadjah
Mada

Ketua, Sekretaris, dan Anggota Dewan Guru Besar Universitas
Gadjah Mada

Para Guru Besar dan Dekan Fakultas Teknologi Pertanian dan Fakultas
Teknik Universitas Gadjah Mada

Para dosen, tenaga kependidikan, dan *civitas academica* Universitas
Gadjah Mada

Para hadirin, tamu undangan, dan kerabat yang berbahagia,

Assalaamu 'alaikum warohmatullaahi wabarokaatuhu

Puji syukur kita panjatkan ke hadirat Allah Subhaanahu Wata'aalaa yang telah melimpahkan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya kepada kita semua, sehingga kita bisa hadir di Balai Senat Universitas Gadjah Mada ini dalam keadaan sehat wal 'aafiat. Shalawat dan salam semoga selalu tercurah kepada baginda Nabi Muhammad Shallallaahu 'Alaihi wa Sallam beserta keluarganya, para sahabatnya dan pengikutnya sampai akhir zaman. Saya dan keluarga mengucapkan terima kasih kepada Ibu dan Bapak semua baik yang telah berkenan hadir secara langsung maupun yang mengikuti secara daring Rapat Terbuka Dewan Guru Besar Universitas Gadjah Mada hari ini. Merupakan kehormatan bagi saya mendapatkan kesempatan menyampaikan pidato pengukuhan Guru Besar saya di bidang ilmu Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian dengan judul:

**Potensi *Biorefinery* Limbah Industri Pangan dan Pertanian
Berbasis *Anaerobic Digestion* untuk Menghasilkan Energi dan
Produk/Bahan Kimia Hijau**

Jumlah penduduk dunia saat ini berdasarkan data dari *World Population Review* (2023) sekitar 8 milyar jiwa, dan jumlah penduduk Indonesia sendiri mencapai 278 juta. Seiring bertambahnya jumlah penduduk, dunia menghadapi permasalahan kebutuhan energi dan bahan kimia, pemanasan global dari emisi CO₂, dan akumulasi limbah akibat aktivitas manusia sehari-hari. Di pasar dunia, energi dan bahan kimia berbasis minyak bumi mencapai 80% dan 90% (Fernando dkk., 2006). Mulai tahun 2004, Indonesia sendiri menjadi net importir minyak bumi (Erianto, 2022). Data emisi CO₂ dunia pada tahun 2022 dari International Energy Agency (IEA, 2023) menunjukkan angka lebih dari 36,8 milyar ton. Indonesia menempati urutan ke-6 setelah China, USA, India, Rusia, dan Jepang dengan total emisi CO₂ sebesar 692 juta ton pada tahun 2022 (Tiseo, 2023). Menurut Organisasi Pangan dan Pertanian PBB (FAO, 2012), limbah makanan mencapai 1,3 milyar ton setiap tahunnya. Sedangkan akumulasi beberapa jenis limbah pertanian mencapai 2 milyar ton pada tahun 2017 (Millati dkk., 2019). Fakta-fakta ini dan seiring dengan menipisnya cadangan minyak bumi mendorong munculnya biomassa sebagai sumber energi dan produk/bahan kimia terbarukan yang penting untuk memenuhi kebutuhan hidup saat ini dan masa depan. Satu konsep yang dikembangkan untuk memaksimalkan pemanfaatan biomassa dan meminimalkan limbah dan emisi dalam proses konversi biomassa adalah *biorefinery* (Cherubini, 2010).

Ibu/Bapak hadirin yang saya hormati,

Konsep *biorefinery*

Mirip dengan apa yang terjadi di *oil refinery* atau kilang minyak bumi, konsep *biorefinery* diciptakan dengan tujuan untuk memproduksi bahan bakar dan/atau bahan kimia secara berkelanjutan menggunakan bahan baku biomassa terbarukan (NREL, 2020). National Renewable Energy Laboratory (2020) mendefinisikan *biorefinery* sebagai “fasilitas yang mengintegrasikan proses konversi dan peralatan untuk menghasilkan bahan bakar, listrik dan bahan kimia dari biomassa”. Sedangkan definisi *biorefinery* menurut International Energy Agency (IEA) adalah “pengolahan biomassa

secara berkelanjutan menjadi spektrum produk dan energi yang dapat dipasarkan” (IEA, 2009).

Bahan baku biomassa untuk *biorefinery* menurut Badgular dan Bhanage (2018) dapat berupa:

- a. Bahan limbah, yang diperoleh dari limbah lignoselulosa pertanian dan kehutanan, limbah organik perkotaan, limbah organik industri, limbah makanan, dan lain-lain.
- b. Bahan baku khusus (*dedicated feedstock*):
 - kayu hutan keras dan lunak (contoh: pinus, cemara)
 - rumput-rumputan
 - alga (contoh: mikro atau makro alga)
 - tanaman penghasil minyak (contoh: kelapa, sawit, jarak pagar)
 - tanaman penghasil pati (contoh: gandum, jagung, singkong)
 - tanaman penghasil gula (contoh: bit, sorgum, tebu)

Berdasarkan produk akhirnya, *biorefinery* dapat dibagi menjadi dua kategori (IEA, 2009):

1. *Biorefinery* dengan produk utama berupa *biofuel*/energi (*energy-driven biorefinery*).
2. *Biorefinery* yang produk utamanya berupa berbagai produk seperti produk pangan/pakan/bahan kimia/*biomaterial* (*product-driven biorefinery*).

Konsep *biorefinery* ini masih dalam tahap awal di sebagian besar negara di dunia. Namun ada beberapa negara yang berhasil menerapkan konsep ini hingga tahap komersialisasi. Borregaard di Norwegia adalah salah satu fasilitas *biorefinery* terancang yang beroperasi di dunia saat ini dan sudah memiliki pengalaman lebih dari 50 tahun (Rødsrud dkk., 2012). Dimulai dari industri *pulp* dan kertas dengan produk utama selulosa dan kertas, saat ini Borregaard memproduksi lignin, selulosa berkualitas tinggi, vanillin, fibril selulosa, dan bioetanol dari berbagai komponen kayu cemara (*spruce*) Norwegia sebagai bahan baku utama. Borregaard merupakan satu-satunya produsen vanillin di dunia yang memproduksi vanillin dari kayu. Hampir 90% bagian kayu telah berhasil dimanfaatkan untuk menghasilkan produk bernilai ekonomi tinggi, yang aplikasinya

meliputi sektor pertanian, farmasi, kosmetik, bahan makanan, dan *biofuel* (Lersch, 2009). Selain Borregaard, industri *pulp* Tembec di Kanada juga memproduksi etanol dan beberapa senyawa kimia adi (*fine chemicals*) dari hasil konversi limbah selulosanya (IEA, 2009).

Sektor industri tebu di Brasil juga menjadi contoh penerapan konsep *biorefinery* yang sudah berjalan. Brasil merupakan produsen gula tebu terbesar di dunia dengan produksi di tahun 2018 mencapai 342 juta ton (USDA, 2018). Pertumbuhan sektor ini dimulai dengan dibentuknya Program Alkohol Brasil (PROÁLCOOL) oleh pemerintah Brasil pada tahun 1975 dengan tujuan mengurangi impor minyak dengan memproduksi etanol untuk bahan bakar kendaraan bermotor (Klein dkk., 2019). Keputusan politik tersebut mendorong keberhasilan pengembangan teknologi hulu hingga hilir bagi industri tebu di negara ini. Menurut *Renewables 2022 Global Status Report*, Brasil merupakan produsen etanol terbesar kedua di dunia setelah Amerika Serikat (REN21, 2022). Produk-produk industri *biorefinery* berbasis tebu di Brasil adalah gula, etanol, dan listrik (Klein dkk., 2019).

Hadirin yang saya hormati,

Signifikan dari *biorefinery*

Ada empat kata kunci dalam konsep *biorefinery* yaitu integrasi proses, fleksibilitas bahan baku, fleksibilitas produk, dan keberlanjutan (*sustainability*). Jika beberapa produk diproduksi dalam satu proses yang terintegrasi, maka biaya proses secara keseluruhan akan menjadi lebih murah dibandingkan jika hanya satu produk yang diproduksi. Hal ini terjadi karena penjualan produk tunggal ini akan menanggung seluruh biaya proses yang akhirnya membuat harga produk tersebut harus sangat mahal agar proses tersebut layak secara ekonomi. Implementasi konsep *biorefinery* merupakan hal yang strategis karena dapat membantu suatu industri tetap kompetitif dan stabil dari dinamika pasar seperti yang terjadi pada industri *pulp* dan kertas Borregaard dan Tembec. Towers dkk. (2007) mengatakan bahwa dengan penurunan penggunaan kertas dan rendahnya biaya produksi untuk fasilitas yang sama di negara tropis, industri *pulp* dan kertas perlu mengidentifikasi

produk-produk lain untuk menambah atau menggantikan komoditas sebelumnya.

Keberhasilan *biorefinery* Borregaard, Tembec, dan industri tebu di Brasil menginspirasi negara-negara yang kaya biomassa untuk memanfaatkan sumber daya hayati yang tersedia secara maksimal dan memperoleh produk-produk yang bernilai tanpa mengabaikan aspek keberlanjutan dari segi lingkungan, ekonomi, dan sosial. *Biorefinery* juga akan mendorong inovasi teknologi untuk menemukan cara mengkonversi biomassa secara efisien dan efektif. Sebagai sesama negara berkembang dan juga sebagai negara dengan keanekaragaman hayati terbesar kedua setelah Brasil, peluang dan potensi keberhasilan *biorefinery* di Indonesia cukup besar.

Konsep *biorefinery* ini juga menarik karena sejalan dengan arahan Presiden Republik Indonesia yang disampaikan pada konferensi perubahan iklim PBB pada bulan Desember tahun 2015 (Setkab RI, 2016). Presiden menekankan kebijakan Indonesia untuk menurunkan emisi gas rumah kaca sebesar 29-41% pada tahun 2030. Direktur Bioenergi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) (Misna, 2021) menyatakan bahwa untuk mencapai target tersebut, Indonesia berkomitmen untuk meningkatkan pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) dan pengurangan penggunaan energi fosil. Pada proses *biorefinery*, akan lebih bijaksana jika digunakan bahan baku yang bersifat limbah dan bukan bahan yang dapat dimanfaatkan untuk pangan guna menghindari konflik kepentingan dengan penyediaan bahan pangan dan penggunaan lahan subur untuk pertanian. Salah satu proses yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai dasar integrasi *biorefinery* di Indonesia adalah proses *anaerobic digestion*. Proses ini merupakan teknologi lama yang sudah dikenal masyarakat. *Anaerobic digestion* dikenal sebagai metode yang hemat energi dan ramah lingkungan untuk menangani limbah organik padat/cair dan menghasilkan bioenergi.

Ibu/Bapak hadirin yang saya hormati,

Anaerobic Digestion

Anaerobic digestion merupakan proses tanpa melibatkan oksigen yang awalnya digunakan untuk menangani/menstabilkan limbah organik padat atau cair sebelum dibuang ke lingkungan. Selama berabad-abad, teknologi *anaerobic digestion* telah digunakan untuk produksi biogas terutama di negara-negara berkembang. Biogas merupakan campuran gas metana, CO₂, dan sejumlah kecil gas lainnya yang dapat digunakan sebagai sumber energi untuk memasak, listrik, dan pemanas. Biogas juga dapat dimurnikan menjadi biometana dan digunakan sebagai bahan bakar kendaraan dalam bentuk gas biometana terkompresi (*compressed biomethane gas*). India dan Cina, dua negara pelopor *anaerobic digestion*, banyak memanfaatkan teknologi ini untuk memperoleh biogas dari kotoran hewan dan limbah pertanian guna menghasilkan sumber energi yang murah bagi petani di pedesaan. Di era modern ini, teknologi *anaerobic digestion* menarik perhatian negara-negara maju karena isu energi terbarukan dan pemanasan global yang disebabkan oleh emisi metana ke udara. Eropa saat ini merupakan produsen biogas besar di dunia dengan dua pertiga kapasitas pembangkit biogas di Eropa berlokasi di Jerman (IEA, 2020). Sejauh ini, biogas adalah produk *anaerobic digestion* yang paling umum. Dari reaktor biogas, kita juga mendapatkan lumpur digestate yang dapat dipakai sebagai pupuk. Saat ini, beberapa ribu reaktor biogas skala besar dan jutaan reaktor biogas skala kecil (rumah tangga) beroperasi di seluruh dunia (Obileke dkk., 2023).

Bahan baku *anaerobic digestion* dan perlakuan pendahuluan

Proses *anaerobic digestion* memiliki 2 karakteristik *biorefinery*, yaitu fleksibilitas bahan baku dan fleksibilitas produk. Berbagai jenis limbah dapat dijadikan bahan baku *anaerobic digestion*, baik dalam bentuk padat maupun cair, mulai dari yang mudah terurai seperti kotoran hewan, limbah makanan, air limbah industri hingga yang sulit dicerna seperti limbah lignoselulosa atau limbah yang mengandung senyawa beracun (Millati dkk., 2023). Limbah yang mudah dicerna dapat langsung dimasukkan ke dalam digester, sedangkan limbah

lignoselulosa dan limbah yang mengandung senyawa beracun harus melalui proses perlakuan pendahuluan terlebih dahulu agar proses *anaerobic digestion* bisa berlangsung dengan baik. Limbah lignoselulosa seperti jerami padi, ampas tebu, tandan kosong kelapa sawit (TKKS) mempunyai struktur kristalin yang keras dan mengandung lignin yang membuat biomassa ini sangat sulit dicerna (Balan, 2014). Limbah buah mengandung senyawa-senyawa yang mempunyai sifat antimikrobia yang dapat membunuh mikroorganisme di dalam digester (Wikandari dkk., 2013). Untuk bahan lignoselulosa, tujuan dari proses perlakuan pendahuluan adalah agar bahan menjadi lebih mudah terurai. Dalam kasus limbah buah, tujuan perlakuan pendahuluan adalah menghilangkan senyawa antimikrobia. Studi literatur menunjukkan bahwa beberapa metode perlakuan pendahuluan yang telah dikembangkan memiliki efektivitas yang berbeda-beda. Misalnya, perlakuan pendahuluan secara mekanis dengan penggilingan, dengan asam, dan *steam explosion*, cukup efektif dalam melunakkan struktur kristalin bahan lignoselulosa. Sedangkan metode perlakuan pendahuluan yang direkomendasikan untuk menghilangkan lignin adalah *organosolv*, dengan alkali atau hidrogen peroksida, dan dengan jamur pelapuk putih. Untuk menghilangkan senyawa antimikrobia pada limbah buah, metode yang dapat digunakan adalah distilasi uap, ekstraksi padat-cair, *steam explosion*, dan aerasi (Millati dkk., 2020). Dari beberapa metode yang sudah disebutkan, kita harus memilih metode perlakuan pendahuluan yang tepat sesuai target yang diinginkan berdasarkan karakteristik bahan baku yang akan kita gunakan pada proses *anaerobic digestion*.

Produk-produk *anaerobic digestion* dan aplikasinya

Proses *anaerobic digestion* terdiri dari 4 tahapan reaksi biokimia, yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis (Deublin dan Steinhauser, 2008). Setiap reaksi dilakukan oleh kelompok mikroorganisme berbeda yang terdiri dari sekumpulan bakteri dan arkae. Pada tahap hidrolisis, limbah organik kompleks yang mengandung karbohidrat, lipida, dan protein diubah

menjadi monomer penyusunnya seperti gula, asam amino, dan asam lemak rantai panjang. Pada tahap kedua, bakteri asidogenik mengubah produk hidrolisis menjadi asam asetat dan produk antara seperti alkohol, asam laktat, asam lemak rantai pendek, aldehida, hidrogen, dan karbon dioksida (Demirel dan Scherer, 2008; Shah dkk., 2014). Selanjutnya, asam lemak dan alkohol diubah menjadi asam asetat dan hidrogen pada tahap asetogenik. Tahap terakhir adalah metanogenesis, dimana metana diproduksi sebagai produk akhir dari keseluruhan proses *anaerobic digestion* (Demirel dan Scherer, 2008). Jadi selain gas metana, kita bisa mendapatkan senyawa kimia antara (*intermediate*) yang dapat dipisahkan dan dijadikan produk seperti asam lemak rantai pendek dan hidrogen. Dengan cara ini, *biogas plant* dapat menjadi *biorefinery* (Millati dkk., 2023).

Asam lemak rantai pendek meliputi asam monokarboksilat dari atom karbon C2-C6 seperti asam asetat, asam propionat, asam butirat, asam valerat, dan asam kaproat (Agnihotri dkk., 2022). Berbagai produk turunannya menjadikan asam-asam lemak ini sebagai industri yang sangat prospektif. Saat ini, sebagian besar asam asetat, propionat, dan butirat diproduksi dari sumber daya fosil menggunakan metode sintesis kimia (Zacharof dan Lovitt, 2013). Asam asetat dapat dimanfaatkan di berbagai industri komersial, seperti industri polimer, industri kimia, industri elektronik, dan industri pangan. Pada industri pangan, asam asetat digunakan sebagai pelarut dan bahan tambahan pangan, seperti dalam cuka. Selain itu, asam asetat juga dapat digunakan sebagai bahan pengawet, pengatur keasaman, dan komponen penyedap rasa pada industri makanan dan minuman. Asam propionat dapat digunakan sebagai bahan kimia penyusun untuk beberapa industri, pengawet dalam industri pangan, pakan ternak, dan pengawet biji-bijian. Asam butirat dan turunannya memiliki banyak aplikasi dalam industri pangan, farmasi, parfum, dan polimer. Ester asam butirat lainnya seperti metil, etil, dan amil butirat biasanya bersifat aromatik dan oleh karena itu digunakan sebagai bahan penyedap dan pewangi dalam industri makanan dan minuman, serta kosmetik. Asam valerat dapat mengalami reaksi esterifikasi dengan alkohol membentuk valerat, yang sering digunakan dalam perisa makanan. Selain itu, asam kaproat

dapat dimanfaatkan sebagai antimikrobia, bahan tambahan perisa, dan bahan tambahan pada pakan ternak (Agnihotri dkk., 2022).

Prediksi pasar asam asetat di Asia-Pasifik untuk tahun 2022–2027 (Mordor Intelligence, 2023a) dan asam butirat untuk tahun 2021–2026 (Mordor Intelligence, 2023b) mencapai tingkat pertumbuhan *compound* (compound annual growth rate-CAGR) lebih dari 5%. Tingkat pertumbuhan *compound* (CAGR) pasar asam propionat diperkirakan lebih dari 6% selama periode 2022–2027. Sedangkan asam valerat dan kaproat merupakan senyawa kimia yang digunakan dalam industri kosmetik, makanan, farmasi, sebagai bahan tambahan cat, bahan antimikrobia, polimer, dan bahan pemlastis. Kedua produk ini memiliki perkiraan cakupan pasar >15 miliar US\$ dengan tingkat pertumbuhan *compound* (CAGR) lebih dari 5% (Expert Market Research, 2023; Research and Markets, 2023). Data menunjukkan bahwa harga asam lemak-asam lemak rantai pendek ini berkisar antara 600–3815 USD/ton (tergantung pada jumlah atom karbon dalam struktur asam lemaknya), lebih mahal dibandingkan harga biogas yang hanya 150 USD/ton (Calt, 2015). Perkiraan cakupan pasar yang besar ini akan sangat menarik minat perusahaan-perusahaan besar untuk berkiprah di bisnis ini, dan bukan tidak mungkin turunan asam lemak rantai pendek dapat diproduksi di masa depan seperti yang ditunjukkan oleh analisis ekonomi.

Aliran *biorefinery* selanjutnya dari *anaerobic digestion* adalah hidrogen (*biohydrogen*). Hidrogen merupakan salah satu bahan baku yang digunakan untuk memproduksi amonia dan metanol. Perlu diketahui bahwa amonia dan metanol merupakan bahan kimia yang digunakan sebagai bahan baku produksi bahan kimia penting seperti urea, amonium nitrat, formaldehida, dan dimetil eter. Total pasar amonia dan metanol mencapai 95 miliar USD (Fortune Business Insight, 2021; Markets and Markets, 2021). Hidrogen jika direaksikan dengan asam karboksilat akan menghasilkan beberapa jenis alkohol mulai dari etanol sampai n-heksanol. Alkohol banyak digunakan sebagai bahan bakar, pelarut, dan sebagai bahan baku berbagai bahan kimia.

Pada industri pangan, hidrogen digunakan untuk mengubah lemak tak jenuh menjadi lemak jenuh, misal dalam pembuatan margarin. Sebagai sumber energi, gas hidrogen dapat dicampur dengan gas metana pada rasio 10-25% (v/v) yang dikenal sebagai bahan bakar biohythane. Keberadaan hidrogen dalam biohythane menjadikannya hampir delapan kali lebih mudah terbakar dibandingkan metana. Keberadaan hidrogen juga mengurangi kandungan karbon dalam campuran sehingga emisi gas rumah kaca pun berkurang (Sukphun dkk., 2023).

Ibu/Bapak hadirin yang saya hormati

Strategi proses

Kesamaan antara asam lemak rantai pendek dan hidrogen dalam proses *anaerobic digestion* adalah keduanya merupakan zat antara dan berfungsi sebagai prekursor untuk produksi biogas. Dalam keadaan normal, kedua senyawa ini akan langsung dikonversi menjadi metana. Jika asam lemak rantai pendek atau hidrogen ingin diambil sebagai produk, maka diperlukan strategi untuk menghambat pertumbuhan arkae metanogen, misalnya dengan menambahkan senyawa penghambat pertumbuhan metanogen seperti *2-bromoetanansulfonat*. Cara lain yang bisa dilakukan adalah dengan menerapkan perlakuan kejutan panas (*heat shock treatment*) agar metanogen menjadi lemah (Akinbomi dan Taherzadeh, 2015; Wainaina dkk., 2019). Hasil studi yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa bioproses yang menguntungkan untuk pembentukan asam lemak rantai pendek dengan hasil yang tinggi biasanya menghasilkan gas hidrogen sebagai produk samping, begitu juga sebaliknya.

Dalam pelaksanaannya, *anaerobic digestion* dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama ditujukan untuk terjadinya reaksi hidrolisis, asidogenesis, dan asetogenesis dengan produk utama asam lemak rantai pendek atau hidrogen. Tahap kedua untuk reaksi metanogenesis dengan produk utama metana (Paudel dkk., 2017; Valentino dkk., 2021). Pemisahan tahapan disebabkan oleh perbedaan kondisi yang diperlukan pada tiga tahap reaksi biokimia awal dengan tahap metanogenesis. Dengan melakukan *anaerobic digestion* dua tahap, faktor operasional

seperti suhu, pH, laju alir bahan (*organic loading rate*), dan waktu tinggal (*hydraulic retention time*) dapat dioptimalkan dalam digester di setiap tahap. Berbeda dengan gas metana atau hidrogen yang dapat diambil langsung dari digester, asam lemak rantai pendek akan tetap berada dalam larutan fermentasi dan dapat menyebabkan pH larutan turun. Untuk menghindari penghambatan mikrobial, asam lemak rantai pendek ini perlu diekstrak selama proses *anaerobic digestion* berlangsung. Proses ekstraksi dapat dilakukan dengan metode berbasis membran seperti mikrofiltrasi atau ultrafiltrasi (Longo dkk., 2015; Wainaina dkk., 2019).

Hadirin yang saya hormati,

Potensi *biorefinery* limbah pangan dan hasil pertanian di Indonesia

Berikut ini akan dibahas potensi *biorefinery* dengan proses *anaerobic digestion* dengan menggunakan bahan baku limbah pangan dan pertanian di Indonesia. Kelapa sawit, padi, tebu, dan jagung merupakan komoditas utama pertanian di Indonesia. Data Kementerian Pertanian pada tahun 2022 menunjukkan produksi minyak kelapa sawit sebesar 48,2; beras 31,5; gula kristal putih 2,4; jagung 25,2 juta ton (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2022; Direktorat Jenderal Tanaman Pangan, 2023). Angka tersebut jika dikalikan dengan persentase limbah padat dan cairnya (Lacrosse dan Shakya, 2004; Millati dkk., 2019; Rajani dkk., 2019) akan menghasilkan *palm oil mill effluent* (POME) sekitar 43 juta m³, tandan kosong kelapa sawit 55,5; jerami 33, ampas tebu 6,5; dan bonggol jagung 5 juta ton. Dari jumlah total kelima limbah ini, dapat dihitung besarnya produk *biorefinery anaerobic digestion* untuk produk asam lemak rantai pendek, hidrogen, dan metana.

Jika digunakan teknik *anaerobic digestion* dua tahap dengan produk utama asam lemak rantai pendek dan metana, dengan menggunakan nilai konversi dari hasil penelitian (Lukitawesa dkk., 2020, 2018; Valentino dkk., 2021), secara teoritis diperoleh produksi asam lemak rantai pendek sebesar 26 juta ton dan metana 9,5 milyar Nm³. Untuk harga asam lemak rantai pendek 600 USD/ton (Calt, 2015), total potensi ekonomi produksi asam lemak ini adalah 15,6 milyar USD. Jika gas metana ini diubah menjadi listrik dengan efisiensi konversi

35%, maka potensi listrik yang terhitung adalah 36,7 TWh. Sedangkan untuk *anaerobic digestion* dua tahap dengan produk utama hidrogen dan metana, dengan menggunakan hasil konversi dari literatur (Paudel dkk., 2017; Sani dkk., 2021) diperoleh produksi teoritis sekitar 4 milyar Nm^3 hidrogen dan 35 milyar Nm^3 metana. Dengan efisiensi konversi sebesar 35%, total potensi listrik dari jumlah produksi hidrogen dan metana adalah 140 TWh. Data konsumsi listrik di Indonesia pada tahun 2022 menunjukkan angka sebesar 316 TWh (Enerdata, 2022). Dengan demikian, listrik dari gas hidrogen dan metana berpotensi menyumbang 44%. Jika dimanfaatkan terpisah, untuk harga biohidrogen 4200 USD/ton (Edou dan Onwudili, 2022) potensi ekonomi gas hidrogen sendiri bisa mencapai 1,6 milyar USD. Hasil perhitungan ini tentunya masih perlu dipastikan dengan perhitungan yang lebih akurat. Namun angka-angka yang dihitung ini dapat digunakan untuk ancar-ancar potensi energi dan potensi ekonomi produk-produk *anaerobic digestion* dari limbah pangan dan pertanian di Indonesia.

Tantangan pengembangan *biorefinery* limbah industri pangan dan pertanian berbasis *anaerobic digestion*

Secara teoritis, potensi *biorefinery* limbah industri pangan dan pertanian Indonesia berbasis proses *anaerobic digestion* sangat besar. Produk-produk yang dihasilkan memiliki potensi dalam banyak aplikasi seperti energi/bahan bakar dan bahan/produk kimia hijau. Namun demikian, implementasi teknologi *biorefinery* berbasis *anaerobic digestion* pada skala besar masih memerlukan kajian lebih lanjut dan mendalam karena teknologi ini masih relatif baru. Tantangan teknis juga dihadapi di proses hilir yaitu pemanfaatan produk-produk *anaerobic digestion* (seperti asam-asam lemak rantai pendek) di industri masih terbatas. Selain itu, proses perlakuan pendahuluan khususnya untuk biomassa yang tidak mudah didegradasi seperti lignoselulosa masih relatif sulit dilakukan pada skala besar.

Proses perlakuan pendahuluan juga membuat total biaya meningkat seiring dengan tahapan proses yang bertambah. Hal ini menjadi tantangan bagi peneliti untuk dapat menghasilkan proses perlakuan pendahuluan yang efektif tetapi efisien. Tantangan ekonomi

lain dalam pengembangan dan implementasi *biorefinery* adalah masih kurangnya investor yang mau menanamkan modalnya untuk membiayai fasilitas atau usaha baru atau yang masih dalam tahap pengembangan seperti *biorefinery* berbasis *anaerobic digestion* ini. Proses *biorefinery* dengan bahan baku limbah juga mempunyai kendala tersendiri terkait biaya transportasi. Meskipun limbah terhitung dalam jumlah besar, namun keberadaannya tersebar secara geografis, sehingga memerlukan usaha pengumpulan dan pengangkutan ke lokasi produksi. Hal ini akan berkontribusi signifikan terhadap total biaya produksi dan membuat seluruh proses menjadi mahal. Dengan beberapa tantangan teknis dan ekonomi ini, kajian *life cycle analysis* dan *techno-economy* sangat diperlukan untuk melihat kelayakan *biorefinery* limbah industri pangan dan pertanian berbasis *anaerobic digestion* dari banyak aspek.

Penutup

Sebagai sebuah konsep yang masih dalam tahap awal, Indonesia mempunyai posisi yang kurang lebih sama dengan banyak negara di dunia untuk bersaing dan mengembangkan teknologi *biorefinery* dari limbah industri pangan dan pertanian berbasis *anaerobic digestion*. Sebagai negara tropis, Indonesia diberkahi dengan sumber daya alam yang banyak. Dari sisi jumlah dan jenis, limbah industri pangan dan pertanian sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku. Untuk keberlanjutan (*sustainability*) suatu industri, pengelolaan limbah suatu industri sangat penting dilakukan. Akan sangat menguntungkan jika pengelolaan limbah tidak hanya bertujuan untuk menjaga kelestarian lingkungan, tetapi juga menghasilkan produk yang mempunyai nilai ekonomi. Akumulasi limbah yang selama ini menjadi permasalahan justru bisa menjadi solusi untuk menghasilkan energi dan produk/bahan kimia hijau yang bermanfaat untuk masyarakat. Penerapan *biorefinery* dari limbah industri pangan dan pertanian diharapkan dapat mempercepat pencapaian ekonomi sirkular dan tujuan pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*) yang meliputi air bersih dan sanitasi layak (SDG 6), energi bersih dan terjangkau (SDG 7), serta penanganan perubahan iklim (SDG 13). Oleh karena itu, teknologi dan proses *biorefinery* yang baru dan yang sedang

berkembang harus tetap sejalan dengan 3 pilar pembangunan berkelanjutan yaitu sosial, ekonomi, dan lingkungan.

Inisiasi pengembangan industri *biorefinery* dari limbah industri pangan atau pertanian di Indonesia dapat dilakukan dengan memanfaatkan limbah yang tersedia dalam jumlah banyak dan yang sudah terkumpul dalam satu lokasi, sehingga biaya transportasi bahan baku dapat ditekan. Industri kelapa sawit dapat diambil sebagai contoh. Selain sebagai negara produsen minyak sawit terbesar di dunia, industri ini lokasinya banyak terdapat di luar pulau Jawa seperti Sumatera dan Kalimantan yang masih sangat memungkinkan untuk dikembangkan industri-industri hilir di sekitarnya. Industri kelapa sawit setiap tahunnya menghasilkan limbah cair (POME) dan limbah padat dalam jumlah yang sangat banyak. Dibandingkan dengan limbah padat misalnya TKKS, limbah cair sawit jauh lebih mudah dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk menghasilkan produk-produk *anaerobic digestion*. Mengikuti filosofi *low-hanging fruit*, kita bisa memulai dari yang mudah dilakukan dengan teknologi dan pengetahuan operasi yang tersedia. Dengan berjalannya waktu, teknologi akan semakin berkembang dan pengetahuan untuk mengoperasikan proses juga akan semakin dikuasai, maka proses hilir yang dapat diintegrasikan pada *anaerobic digestion* juga akan semakin bertambah. Dengan semakin banyaknya produk yang dihasilkan, industri berbasis *anaerobic digestion* akan semakin ekonomis. Pasar dan keuntungan yang diperoleh yang nantinya akan menentukan pilihan produk. Dengan cara ini akan ada konversi bertahap dari proses *anaerobic digestion* menjadi *anaerobic digestion biorefinery*. Setiap tahapan pengembangan *anaerobic digestion biorefinery* ini memerlukan sinergi yang baik antara pemerintah, perguruan tinggi, lembaga penelitian, dan pihak swasta untuk mendukung realisasi konsep *biorefinery* ini untuk kepentingan hidup generasi sekarang dan yang akan datang.

Hadirin yang saya hormati,

Sebagai akhir dari pidato saya ini, perkenankan saya menyampaikan puji syukur kehadirat Allah Subhanahu Wata'ala yang telah memberikan rahmat dan berkah-Nya sehingga saya bisa berdiri di hadapan Ibu/Bapak sekalian, menyampaikan pidato pengukuhan Guru Besar pada hari ini. Saya mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Republik Indonesia, khususnya Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi yang telah menetapkan saya sebagai Guru Besar di Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Rektor, Senat Akademik, Dewan Guru Besar, Senat Fakultas Teknologi Pertanian, Dekan (Prof. Dr. Ir. Eni Harmayani, M.Sc.), dan para wakil Dekan (Prof. Dr. Yudi Pranoto, S.T.P, M.P., Prof. Dr. Kuncoro Harto Widodo, S.T.P., M.Eng, Dr. Sri Rahayoe, S.T.P., M.P.) serta Ketua Departemen Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian yang telah memberi persetujuan pengusulan saya sebagai Guru Besar.

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Prof. Dr. Ir. Djagal Wiseso Marseno, M.Agr. dan Prof. Dr. Ir. Sri Raharjo, M.Sc. yang pada waktu itu menjabat sebagai Wakil Dekan bidang Akademik FTP dan Ketua Jurusan TPHP yang dengan tangan terbuka menerima saya untuk bergabung di Departemen TPHP. Terima kasih juga saya sampaikan kepada Prof. Dr. Ir. Sri Raharjo, M.Sc. dan Dr. Ir. Muhammad Nur Cahyanto, M.Sc. untuk kerjasamanya menjadi pengurus Departemen TPHP selama beberapa tahun. Terima kasih saya ucapkan kepada Prof. Dr. Ir. Tyas Utami, M.Sc. dan Prof. Dr. Ir. Chusnul Hidayat yang telah memberikan masukan dan saran terhadap naskah pidato ini. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada rekan-rekan dosen, tenaga kependidikan, dan laboran di TPHP dan FTP, khususnya di laboratorium Pengelolaan Limbah TPHP, Akademik TPHP, dan Akademik Pasca FTP. Untuk Prof. Dr. Ir. Umar Santosa, M.Sc., Rachma Wikandari, S.T.P., M.Biotech., Ph.D., dan Dr. Dian Anggraini Suroto, S.T.P., M.P., M.Eng., terima kasih untuk perhatian dan dukungannya. Kepada mahasiswa bimbingan S-1, S-2, dan S-3, terima kasih untuk kerja keras, kerjasama, dan kebersamaannya.

Rasa hormat dan ucapan terima kasih yang tulus saya haturkan kepada Bapak/Ibu Guru di TK Perwanida Karangmojo-Karanganyar, SDN 2 Karangmojo-Karanganyar dan SDN XV Sragen, SMPN 2 Sragen, SMA N 1 Sragen yang telah dengan tulus ikhlas mendidik saya, memberikan dasar pendidikan dan budi pekerti hingga saya bisa kuliah di UGM. Hormat dan terima kasih saya kepada Bapak dan Ibu Drs. H. Arkanudin Masruri yang telah dengan sabar dan telaten menjadi guru ngaji dan guru agama saya ketika saya kecil. Penghargaan dan rasa terima kasih saya sampaikan kepada Dr. Ir. Aswati Mindaryani, M.Sc., IPU, Prof. Ir. I Made Bendiyasa, M.Sc., Ph.D., Prof. Ir. Wahyudi Budi Sediawan, S.U., Ph.D., dan Prof. Ir. Panut Mulyono, M.Eng., D.Eng., IPU., ASEAN.Eng. sebagai dosen pembimbing penelitian dan tugas akhir studi S1 dan S2 saya di Jurusan Teknik Kimia UGM. Kepada Almarhum Prof. Wahyudi Budi Sediawan, hormat dan terima kasih dari lubuk hati saya yang paling dalam untuk semua bantuan dan dukungan dari Bapak sampai akhir hayat. Semoga Allah Subhanahu Wata'ala mengampuni segala dosa, menerima amal ibadah, dan memberikan Bapak tempat yang mulia di sisi-Nya. Aamiin. Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Prof. Ir. Suryo Purwono, MA.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN.Eng. dan Prof. Ir. Rochmadi, S.U., Ph.D., IPU untuk perhatian dan bantuannya. Kepada Dr. Rochim Bakti Cahyono, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM., Dr.-Ing. Ir. Teguh Ariyanto, S.T., M.Eng., IPM., dan rekan-rekan di Waste Refinery Center, terima kasih untuk kerja sama dan dukungannya selama ini. Kepada Almarhumah Dr. Siti Syamsiah, terima kasih untuk bimbingan dan kebersamaannya dulu. Semoga Allah Subhanahu Wa ta'aala menempatkan Mbak Siti di tempat yang mulia di sisi-Nya. Aamiin.

Penghargaan dan terima kasih saya ucapkan kepada Prof. Said Irandoust yang telah mengenalkan Swedia kepada kami pertama kali. Kepada kedua profesor terbaik di dunia, pembimbing disertasi saya, Prof. Claes Niklasson dan Prof. Mohammad J. Taherzadeh, sungguh saya sangat bersyukur dan berterima kasih untuk semua kesempatan, bimbingan, dukungan, bantuan, dan kerja sama sejak studi S3 di Chalmers, Swedia sampai sekarang. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Prof. Lars Edebo yang telah juga membimbing studi

S3 saya khususnya di tahun-tahun terakhir. Kepada Ilona Sárvári Horváth, Thomas Brandberg, Roeland Costenoble, terima kasih untuk kebersamaannya selama studi S3 di Chalmers dan persahabatan sampai sekarang. *All the best*. Saya juga mengucapkan terima kasih kepada semua kolega di *Biogroup*, University of Borås, Swedia untuk kerjasamanya.

Di atas semua itu, saya sampaikan rasa cinta dan terima kasih sebesar-besarnya kepada almarhum dan almarhumah kedua orang tua saya Drs. H. Kamil dan Hj. Surati Kamil yang telah mendidik, memberikan kasih sayang, mendoakan dengan ikhlas, memberikan yang terbaik untuk saya sampai akhir hayat. Rasa cinta dan terima kasih juga saya sampaikan kepada almarhumah dan almarhum Bu Ngarip dan Pakde Ngarip yang telah mengasuh, mendidik, mendoakan dan memberikan kasih sayang dengan ikhlas ketika saya masih kecil sampai dewasa. Sungguh tidak cukup kata untuk saya mengungkapkan betapa saya berterima kasih kepada orang tua-orang tua yang saya sayangi ini. Allah, sampaikan salam dan rinduku kepada mereka. Semoga Engkau tempatkan mereka di tempat yang mulai disisi-Mu. Aamiin. Kepada almarhum Bapak mertua Moch. Anwar dan Ibu mertua saya Hj. Malichatun, terima kasih untuk kasih sayang, dukungan, dan doanya selama ini. *Ibu, you are the best that I can ask for*. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya dan mendalam saya haturkan kepada salah satu orang hebat yang saya jumpai di dunia ini, Bude Shodiq Danusiri. Terima kasih sudah mengasahi dan mengayomi kami selama ini. Kepada Mbak Endang, Mbak Hari, dan Mas Tri sekeluarga, terima kasih sudah menjaga saya dan adik-adik khususnya setelah Bapak Ibu tiada. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada adik-adik dan saudara ipar beserta segenap anggota keluarganya untuk segala kebersamaannya baik dalam keadaan duka maupun suka.

Secara khusus saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada suami saya tercinta, Mas Muslikhin Hidayat yang sudah berjuang bersama-sama dari awal dan mendampingi saya dengan segenap cinta kasihnya sampai saat ini. Saya baru menyadari betapa kita memang ditakdirkan untuk bersama, kuliah bersama, lulus bersama, dan sekarang menjadi guru besar bersama. Betapa saya sangat

bersyukur dan bahagia. Bersama anak-anak kita, Baihaqi, Naira, dan Bariq, semoga kita menjadi keluarga yang sakinah mawadah warahmah dan selalu dalam lindungan Allah Subhanahu Wata'ala. Terima kasih kepada anak-anakku tersayang untuk doanya kepada Bapak dan Ibu.

Akhir kata, saya mengucapkan terima kasih kepada seluruh hadirin yang telah dengan sabar dan ikhlas menyimak dan mendengarkan uraian saya ini baik secara luring maupun daring. Terima kasih banyak kepada semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada saya selama ini. Mohon maaf untuk segala kekurangan. Semoga Allah Subhanahu Wata'ala memberikan balasan kebaikan yang berlipat-lipat kepada Bapak/Ibu semua. Aamiin.

Alhamdulillah Robbil 'Alamiin.

Wa billaahit taufiq wal hidaayah

Wassalaamu'alaikum warohmatullaahi wabarokaatuhu

DAFTAR PUSTAKA

- Agnihotri, S., Yin, D.M., Mahboubi, A., Sapmaz, T., Varjani, S., Qiao, W., Koseoglu-Imer, D.Y. dan Taherzadeh, M.J. (2022) ‘A glimpse of the world of volatile fatty acids production and application: a review’, *Bioengineered*, 13(1), pp. 1249–1275.
- Akinbomi, J. dan Taherzadeh, M.J. (2015) ‘Evaluation of Fermentative Hydrogen Production from Single and Mixed Fruit Wastes’, *Energies*, pp. 4253–4272.
- Badgular, K.C. dan Bhanage, B.M. (2018) ‘Chapter 1 - Dedicated and Waste Feedstocks for Biorefinery: An Approach to Develop a Sustainable Society’, in T. Bhaskar, A. Pandey, S.V. Mohan, D.-J. Lee, and S.K.B.T.-W.B. Khanal (eds) *Waste Biorefinery: Potential and Perspectives*. Elsevier, pp. 3–38.
- Balan, V. (2014) ‘Current challenges in commercially producing biofuels from lignocellulosic biomass’, *International Scholarly Research Notices*, 2014, pp. 1–31.
- Calt, E.A. (2015) ‘Products produced from organic waste using managed ecosystem fermentation’, *Journal of Sustainable Development*, 8(3), p. 43.
- Cherubini, F. (2010) ‘The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals’, *Energy Conversion and Management*, 51(7), pp. 1412–1421.
- Demirel, B. dan Scherer, Æ.P. (2008) ‘The roles of acetotrophic and hydrogenotrophic methanogens during anaerobic conversion of biomass to methane: a review’, *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 7, pp. 173–190.
- Deublin, D. dan Steinhauser, A. (2008) *Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Direktorat Jenderal Perkebunan (2022) *Statistik Perkebunan Unggulan Nasional 2020-2022*. Available at: https://ditjenbun.pertanian.go.id/template/uploads/2022/08/STAT_ISTIK-UNGGULAN-2020-2022.pdf.
- Direktorat Jenderal Tanaman Pangan (2023) *Laporan Kinerja Direktorat Jenderal Tanaman Pangan 2022*. Available at:

[https://tanamanpangan.pertanian.go.id/assets/front/uploads/document/LAKIN DJTP 2022_UPDATE ATAP \(2\).pdf](https://tanamanpangan.pertanian.go.id/assets/front/uploads/document/LAKIN_DJTP_2022_UPDATE_ATAP_(2).pdf).

- Edou, D.J.N. dan Onwudili, J.A. (2022) ‘Comparative techno-economic modelling of large-scale thermochemical biohydrogen production technologies to fuel public buses: A case study of West Midlands region of England’, *Renewable Energy*, 189, pp. 704–716.
- Enerdata (2022) *Indonesia Energy Information*. Available at: <https://www.enerdata.net/estore/energy-market/indonesia/#:~:text=Power Consumption, for 22%25> (2022) (Accessed: 12 December 2023).
- Erianto, D. (2022) *Minyak Bumi Dalam Negeri: Produksi, Impor, dan Perkembangan Harga BBM*. Available at: [https://kompaspedia.kompas.id/baca/paparan-topik/minyak-bumi-dalam-negeri-produksi-impor-dan-perkembangan-harga-bbm#:~:text=Meski Indonesia masih menghasilkan minyak, minyak \(BBM\) dalam negeri. \(Accessed: 7 November 2023\)](https://kompaspedia.kompas.id/baca/paparan-topik/minyak-bumi-dalam-negeri-produksi-impor-dan-perkembangan-harga-bbm#:~:text=Meski Indonesia masih menghasilkan minyak, minyak (BBM) dalam negeri. (Accessed: 7 November 2023)).
- Expert Market Research (2023) *Global Valeric Acid Market Analysis, Forecast, Outlook: By Application: API Intermediates, Flavours and Perfumes, Agricultural Chemical, Plasticiser, Food Additives, Others; Regional Analysis; Market Dynamics: SWOT Analysis, Porter’s Five Forces Analysis*. Available at: <https://www.expertmarketresearch.com/reports/valeric-acid-market> (Accessed: 9 November 2023).
- FAO (2012) *Towards the Future we Want: End Hunger and Make the Transition to Sustainable Agricultural and Food Systems*. Rome.
- Fernando, S., Adhikari, S., Chandrapal, C. dan Murali, N. (2006) ‘Biorefineries: current status, challenges, and future direction’, *Energy & Fuels*, 20(4), pp. 1727–1737.
- Fortune Business Insight (2021) *The global ammonia market is projected to grow from \$71.98 billion in 2021 to \$110.93 billion in 2028 at a CAGR of 6.4% in forecast period, 2021-2028*. Available at: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/ammonia-market-101716> (Accessed: 9 November 2023).
- IEA (2009) *Biorefineries: adding value to the sustainable utilisation of*

biomass, *IEA Bioenergy*. Available at: www.iea-bioenergy.task42-biorefineries.com %0D.

- IEA (2020) *Outlook for biogas and biomethane: prospects for organic growth, World Energy Outlook Special Report*. Paris. Available at: <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth>.
- IEA (2023) *CO₂ Emissions in 2022*. Available at: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/3c8fa115-35c4-4474-b237-1b00424c8844/CO2Emissionsin2022.pdf>.
- Klein, B.C., de Mesquita Sampaio, I.L., Mantelatto, P.E., Filho, R.M. dan Bonomi, A. (2019) 'Beyond ethanol, sugar, and electricity: a critical review of product diversification in Brazilian sugarcane mills', *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 13(3), pp. 809–821.
- Lacrosse, L. dan Shakya, S.K. (2004) 'Clean and efficient biomass cogeneration technology in ASEAN', in *POWER-GEN Asia conference and exhibition*, pp. 5–7.
- Lersch, M. (2009) 'Creating value from wood: the Borregaard biorefinery', *Bioref-Integ Public Workshop, 2nd December 2009* [Preprint]. Solihull, UK. Available at: https://www.bioref-integ.eu/fileadmin/bioref-integ/user/documents/Martin_Lersch_Borregaard_-_Creating_value_from_wood_-_The_Borregaard_biorefinery.pdf.
- Longo, S., Katsou, E., Malamis, S., Frison, N., Renzi, D. dan Fatone, F. (2015) 'Recovery of volatile fatty acids from fermentation of sewage sludge in municipal wastewater treatment plants', *Bioresource Technology*, 175, pp. 436–444.
- Lukitawesa, Patinvoh, R.J., Millati, R., Sarvari-Horvath, I. dan Taherzadeh, M.J. (2020) 'Factors influencing volatile fatty acids production from food wastes via anaerobic digestion', *Bioengineered*, 11(1), pp. 39–52.
- Lukitawesa, Wikandari, R., Millati, R., Taherzadeh, M.J. dan Niklasson, C. (2018) 'Effect of effluent recirculation on biogas production using two-stage anaerobic digestion of citrus waste', *Molecules*, 23(12), p. 3380.

- Markets and Markets (2021) *Methanol Market by Feedstock (Natural Gas, Coal), Derivative (Formaldehyde, MTO/MTP, Gasoline, MTBE, MMA, Acetic Acid, DME, Biodiesel), Sub-Derivative, End-use Industry, and Region (North America, APAC, Europe, South America, MEA) - Global Forecasts to 202*. Available at: <https://www.marketresearch.com/MarketsandMarkets-v3719/Methanol-Feedstock-Natural-Gas-Coal-30408866/> (Accessed: 9 November 2023).
- Millati, R., Cahyono, R.B., Ariyanto, T., Azzahrani, I.N., Putri, R.U. dan Taherzadeh, M.J. (2019) 'Chapter 1 - Agricultural, Industrial, Municipal, and Forest Wastes: An Overview', in M.J. Taherzadeh, K. Bolton, J. Wong, and A.B.T.-S.R.R. and Z.W.A. Pandey (eds) *Sustainable Resource Recovery and Zero Waste Approaches*. Elsevier, pp. 1–22.
- Millati, R., Wikandari, R., Ariyanto, T., Hasniah, N. dan Taherzadeh, M.J. (2023) 'Anaerobic digestion biorefinery for circular bioeconomy development', *Bioresource Technology Reports*, 21.
- Millati, R., Wikandari, R., Ariyanto, T., Putri, R.U. dan Taherzadeh, M.J. (2020) 'Pretreatment technologies for anaerobic digestion of lignocelluloses and toxic feedstocks', *Bioresource Technology*, 304, p. 122998.
- Misna, A.F. (2021) *Roadmap penyediaan energi dan bahan bakar terbarukan*. Available at: <https://www.gaikindo.or.id/wp-content/uploads/2021/11/01.-DJEBTKE-Bahan-Paparan-GAIKINDO-17Nov21-R3.pdf> (Accessed: 9 November 2023).
- Mordor Intelligence (2023a) *Acetic Acid Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2023 - 2028)*. Available at: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/acetic-acid-market> (Accessed: 9 November 2023).
- Mordor Intelligence (2023b) *Butyric Acid Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2023 - 2028)*. Available at: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/butyric-acid-market#> (Accessed: 9 November 2023).
- NREL (2020) *NREL, 2020*. <https://www.nrel.gov/bioenergy/>. Available at: <https://www.nrel.gov/bioenergy/>. (Accessed: 7 November 2023).

2023).

- Obileke, K., Makaka, G. dan Nwokolo, N. (2023) ‘Recent advancements in anaerobic digestion and gasification technology’, *Applied Sciences*, 13(9).
- Paudel, S., Kang, Y., Yoo, Y.S. dan Seo, G.T. (2017) ‘Effect of volumetric organic loading rate (OLR) on H₂ and CH₄ production by two-stage anaerobic co-digestion of food waste and brown water’, *Waste Management*, 61, pp. 484–493.
- Rajani, A., Kusnadi, Santosa, A., Saepudin, A., Gobikrishnan, S. dan Andriani, D. (2019) ‘Review on biogas from palm oil mill effluent (POME): challenges and opportunities in Indonesia’, in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, p. 12004.
- REN21 (2022) *Renewables 2022 global status report*. Available at: <https://www.ren21.net/gsr-2022/>.
- Research and Markets (2023) *Caproic Acid - Global Strategic Business Report*. Available at: <https://www.researchandmarkets.com/reports/5302114/caproic-acid-global-strategic-business-report> (Accessed: 9 November 2023).
- Rødsrud, G., Lersch, M. dan Sjöde, A. (2012) ‘History and future of world’s most advanced biorefinery in operation’, *Biomass and Bioenergy*, 46, pp. 46–59.
- Sani, K., Kongjan, P., Pakhathirathien, C., Cheirsilp, B., O-Thong, S., Raketh, M., Kana, R. dan Jariyaboon, R. (2021) ‘Effectiveness of using two-stage anaerobic digestion to recover bio-energy from high strength palm oil mill effluents with simultaneous treatment’, *Journal of Water Process Engineering*, 39, p. 101661.
- Setkab RI (2016) *Tindak lanjut kesepakatan global perubahan iklim COP21 Paris*. Available at: <https://setkab.go.id/tindak-lanjut-kesepakatan-global-perubahan-iklim-cop21-paris/> (Accessed: 9 November 2023).
- Shah, F.A., Ahmood, Q., Shah, M.M., Pervez, A. dan Asad, S.A. (2014) ‘Microbial ecology of anaerobic digesters: The key players of anaerobiosis’, *The Scientific World Journal*. Edited by G. Sen and

C. Cameselle, 2014, p. 183752.

- Sukphun, P., Wongarmat, W., Imai, T., Sittijunda, S., Chaiprapat, S. dan Reungsang, A. (2023) 'Two-stage biohydrogen and methane production from sugarcane-based sugar and ethanol industrial wastes: A comprehensive review', *Bioresource Technology*, 386, p. 129519.
- Tiseo, I. (2023) *Carbon dioxide (CO₂) emissions from fossil fuel and industrial purposes in G20 countries in 2022*. Available at: <https://www.statista.com/statistics/723163/g20-carbon-dioxide-emissions/#statisticContainer> (Accessed: 7 November 2023).
- Towers, M., Browne, T., Kerekes, R., Paris, J. dan Tran, H. (2007) 'Biorefinery opportunities for the Canadian pulp and paper industry', *Pulp & Paper Canada*, 108(6), pp. 109–112.
- USDA (2018) *Sugar: world markets and trade*. Available at: <https://fas.usda.gov/data/sugar-world-markets-and-trade> (Accessed: 6 November 2023).
- Valentino, F., Munarin, G., Biasiolo, M., Cavinato, C., Bolzonella, D. dan Pavan, P. (2021) 'Enhancing volatile fatty acids (VFA) production from food waste in a two-phases pilot-scale anaerobic digestion process', *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), p. 106062.
- Wainaina, S., Parchami, M., Mahboubi, A., Horváth, I.S. dan Taherzadeh, M.J. (2019) 'Food waste-derived volatile fatty acids platform using an immersed membrane bioreactor', *Bioresource Technology*, 274, pp. 329–334.
- Wikandari, R., Gudipudi, S., Pandiyan, I., Millati, R. dan Taherzadeh, M.J. (2013) 'Inhibitory effects of fruit flavors on methane production during anaerobic digestion', *Bioresource Technology*, 145, pp. 188–192.
- World Population Review (2023) *World Population by Country 2023*. Available at: <https://worldpopulationreview.com/> (Accessed: 7 November 2023).
- Zacharof, M.P. dan Lovitt, R.W. (2013) 'Complex effluent streams as a potential source of volatile fatty acids', *Waste and Biomass Valorization*, 4(3), pp. 557–581.

BIODATA



Nama Lengkap : Prof. Dr. Ria Millati, S.T., M.T.
 Tempat dan Tanggal Lahir : Karanganyar, 15 Mei 1972
 Pangkat : Pembina Tingkat 1
 Golongan : IVb
 Jabatan : Guru Besar, 1 Agustus 2023
 Unit Kerja : Departemen Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian (TPHP), Fakultas Teknologi Pertanian (FTP), Universitas Gadjah Mada
 Alamat Kantor : Jl. Flora No. 1, Bulaksumur, Yogyakarta 55281
 Alamat Rumah : Jl. Amerta IV/73 Jombor Kidul Kavling Indah, Yogyakarta, 55284

Keluarga

1. Prof. Ir. Muslikhin Hidayat, ST, MT, PhD., IPU. (suami)
2. Baihaqi Ghozali Hidayat (anak)
3. Naira Salma Hidayat (anak)
4. Bariq Tirmidzi Hidayat (anak)

Riwayat Pendidikan

1. SD Negeri 2 Karangmojo-Karanganyar/SD Negeri XV Sragen (1985)
2. SMP Negeri 2 Sragen (1988)
3. SMA Negeri 1 Sragen (1991)
4. S1-Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik UGM (1996)

5. S2-Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknik UGM (2000)
6. S3-Bioscience, Department of Chemical and Biological Engineering, Chalmers University of Technology, Swedia (2005)

Riwayat Pekerjaan

1. Dosen Departemen Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, FTP, UGM (2006-sekarang)
2. Sekretaris Jurusan Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian , FTP, UGM (2009-2016)
3. Sekretaris Departemen Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian , FTP, UGM (2016-2020)
4. Ketua Program Doktor Program Studi Doktor Ilmu Pangan, FTP, UGM (2021-sekarang)

Publikasi Jurnal Terpilih (2019-2023)

1. Sanjaya, A., Sakka, D.F., Lestary, R.A., Kartika, R.W.A., Saputri, D.R., Damayanti, D., **Millati, R.**, Budhijanto, W., 2023. Kinetic study on the effects of elevated temperature and micro aeration in volatile fatty acids production by anaerobic fermentation of alkaline-pretreated oil palm empty fruit bunch. *J. Environ. Chem. Eng.* 11.
2. Asmoro, N.W., Hidayat, C., Ariyanto, T., **Millati, R.**, 2023. Cellulose isolation from oil palm empty fruit bunch using different pretreatment processes. *J. Appl. Sci. Eng.* 26, 1513–1520.
3. **Millati, R.**, Wikandari, R., Ariyanto, T., Hasniah, N., Taherzadeh, M.J., 2023. Anaerobic digestion biorefinery for circular bioeconomy development. *Bioresour. Technol. Reports* 21.
4. Bulkan, G., Yudhanti, G.T., Sitaresmi, S., **Millati, R.**, Wikandari, R., Taherzadeh, M.J., 2022. Inhibitory and stimulatory effects of fruit bioactive compounds on edible filamentous fungi: potential for innovative food applications. *Fermentation* 8.
5. Sanjaya, A., Mondylaksita, K., **Millati, R.**, Budhijanto, W., 2022. Evaluation of volatile fatty acids (VFAs) production in thermophilic and mesophilic anaerobic digestion of oil palm empty fruit bunch

- (OPEFB), in: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
6. Mondylaksita, K., Budhijanto, W., Taherzadeh, M.J., **Millati, R.**, 2022. Characteristic of oil palm empty fruit bunch after ethanol-organosolv pretreatment catalyzed by acid, in: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
 7. Sar, T., Arifa, V.H., Hilmy, M.R., Ferreira, J.A., Wikandari, R., **Millati, R.**, Taherzadeh, M.J., 2022. Organosolv pretreatment of oat husk using oxalic acid as an alternative organic acid and its potential applications in biorefinery. *Biomass Convers. Biorefinery*.
 8. Bulkan, G., Sitaresmi, S., Yudhanti, G.T., **Millati, R.**, Wikandari, R., Taherzadeh, M.J., 2022a. Enhancing or inhibitory effect of fruit or vegetable bioactive compound on *Aspergillus niger* and *A. Oryzae*. *J. Fungi* 8.
 9. Chandolias, K., Sugianto, L.A.R., Izazi, N., **Millati, R.**, Wikandari, R., Ylitervo, P., Niklasson, C., Taherzadeh, M.J., 2022. Protective effect of a reverse membrane bioreactor against toluene and naphthalene in anaerobic digestion. *Biotechnol. Appl. Biochem.* 69, 1267–1274.
 10. Mondylaksita, K., Ferreira, J.A., Budhijanto, W., Niklasson, C., Taherzadeh, M.J., **Millati, R.**, 2021. Enhanced volatile fatty acid production from oil palm empty fruit bunch through acidogenic fermentation — A novel resource recovery strategy for oil palm empty fruit bunch. *Fermentation* 7.
 11. Uwineza, C., Mahboubi, A., Atmowidjojo, A., Ramadhani, A., Wainaina, S., **Millati, R.**, Wikandari, R., Niklasson, C., Taherzadeh, M.J., 2021. Cultivation of edible filamentous fungus *Aspergillus oryzae* on volatile fatty acids derived from anaerobic digestion of food waste and cow manure. *Bioresour. Technol.* 337.
 12. Eryildiz, B., Mahboubi, A., **Millati, R.**, Taherzadeh, M.J., 2021. Semi-continuous production of volatile fatty acids from citrus waste using membrane bioreactors. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 67.
 13. Mondylaksita, K., Ferreira, J.A., **Millati, R.**, Budhijanto, W., Niklasson, C., Taherzadeh, M.J., 2020. Recovery of high purity lignin and digestible cellulose from oil palm empty fruit bunch

- using low acid-catalyzed organosolv pretreatment. *Agronomy* 10.
14. Patinvoh, R.J., **Millati, R.**, Sárvári-Horváth, I., Taherzadeh, M.J., 2020. Factors influencing volatile fatty acids production from food wastes via anaerobic digestion. *Bioengineered* 11, 39–52.
 15. Wainaina, S., Kisworini, A.D., Fanani, M., Wikandari, R., **Millati, R.**, Niklasson, C., Taherzadeh, M.J., 2020. Utilization of food waste-derived volatile fatty acids for production of edible *Rhizopus oligosporus* fungal biomass. *Bioresour. Technol.* 310, 123444.
 16. Marhendraswari, M.B.D., Mondylaksita, K., **Millati, R.**, Budhijanto, W., Ferreira, J.A., Niklasson, C., Taherzadeh, M.J., 2020. Production of edible fungal (*Rhizopus delemar* CBS 145940) biomass from organosolv-pretreated oil palm empty fruit bunch (OPEFB) in submerged fermentation, in: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, p. 12041.
 17. **Millati, R.**, Wikandari, R., Ariyanto, T., Putri, R.U., Taherzadeh, M.J., 2020. Pretreatment technologies for anaerobic digestion of lignocelluloses and toxic feedstocks. *Bioresour. Technol.* 304, 122998.
 18. Yudianto, D., Nainggolan, E.A., **Millati, R.**, Hidayat, C., Lennartsson, P., Taherzadeh, M.J., Niklasson, C., 2019. Bioconversion of pretreated wheat straw to ethanol by *Monascus purpureus* CBS 109.07 and *Fusarium venenatum* ATCC 20334 using simultaneous saccharification and fermentation. *Biodiversitas* 20, 2229–2235.
 19. **Millati, R.**, Cahyono, R.B., Ariyanto, T., Azzahrani, I.N., Putri, R.U., Taherzadeh, M.J., 2019. Agricultural, industrial, municipal, and forestry wastes: an overview, in: *Sustainable Resource Recovery and Zero Waste Approaches (1st ed)*. Elsevier B.V.
 20. Wikandari, R., Sanjaya, A.P., **Millati, R.**, Karimi, K., Taherzadeh, M.J., 2019. Chapter 20 - Fermentation inhibitors in ethanol and biogas processes and strategies to counteract their effects, in: *Biofuels, Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous (2nd ed.)*. Academic Press, pp. 461–499.

Penghargaan

1. Artikel Ilmiah Berkualitas Bidang Non-Kesehatan dan Obat, Kemenristek/BRIN (2020)
2. Penghargaan Publikasi Terbaik UGM Bidang Agro (2020)
3. Dosen Berprestasi untuk Publikasi, Fakultas Teknologi Pertanian, UGM (2016)
4. Dosen Berprestasi Departemen TPHP 2015, Fakultas Teknologi Pertanian, UGM (2015)
5. Peneliti Kolaboratif Terbaik UGM (2014)