



WHITE PAPER

MARCH 2021

PELUANG PEMANFAATAN LIMBAH LEMAK DAN MINYAK SEBAGAI BAHAN BAKU UNTUK BIODIESEL DAN *RENEWABLE DIESEL* DI INDONESIA

Penulis: Yuanrong Zhou, Stephanie Searle dan Tenny Kristiana

www.theicct.org

communications@theicct.org

[twitter @theicct](https://twitter.com/theicct)

BEIJING | BERLIN | SAN FRANCISCO | SÃO PAULO | WASHINGTON



icct
THE INTERNATIONAL COUNCIL
ON CLEAN TRANSPORTATION

UCAPAN TERIMA KASIH

Studi ini didukung oleh David dan Lucile Packard Foundation dan Norwegian Agency for Development Cooperation (NORAD). Terima kasih kepada Chelsea Baldino untuk ulasannya.

International Council on Clean Transportation
1500 K Street NW, Suite 650,
Washington, DC 20005

communications@theicct.org | www.theicct.org | [@TheICCT](https://twitter.com/TheICCT)

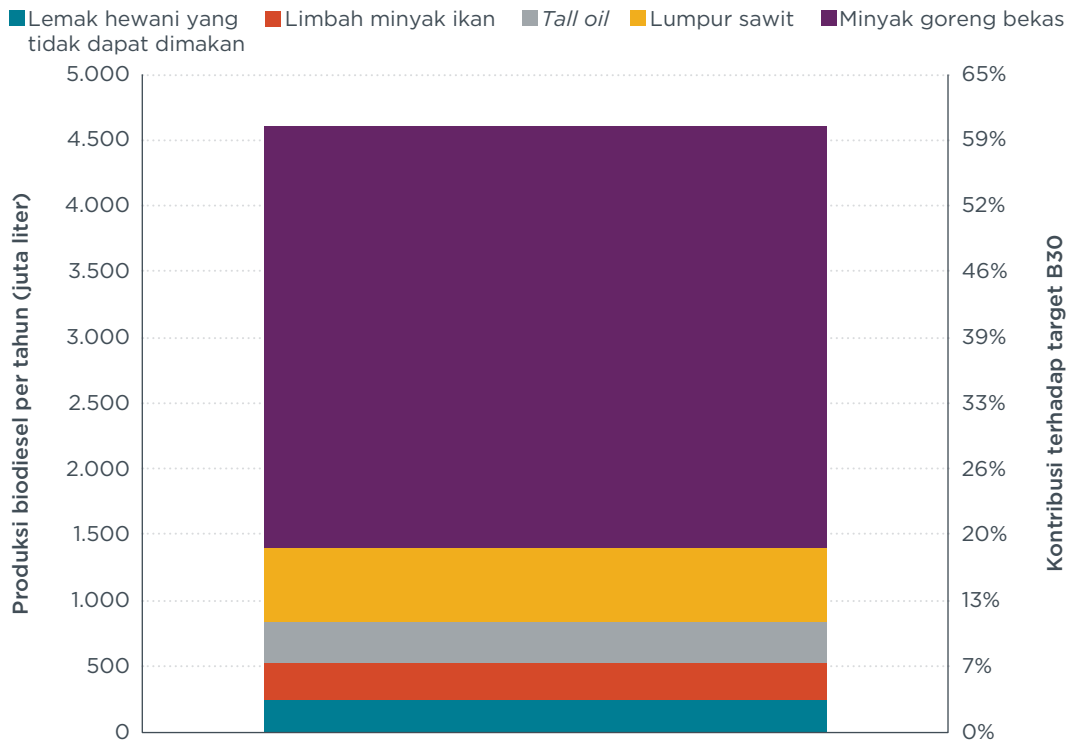
© 2021 International Council on Clean Transportation

RANGKUMAN EKSEKUTIF

Indonesia adalah salah satu negara produsen biodiesel terbesar di dunia. Target pencampuran biodiesel (*biodiesel blending target*) Indonesia merupakan yang tertinggi di dunia, yaitu 30% atau B30 dan rasio pencampuran tersebut akan terus menerus ditingkatkan. Untuk memenuhi ambisi tersebut, Indonesia telah mengalokasikan sumber daya yang besar guna meningkatkan industri biodiesel sawit dan saat ini, hampir semua biodiesel di Indonesia diproduksi dari satu bahan baku, yaitu minyak sawit. Tetapi minyak sawit saja mungkin tidak cukup untuk mendukung target pencampuran yang lebih besar dalam beberapa tahun mendatang. Sementara itu, Indonesia sedang aktif mencari peluang dalam mengembangkan bahan bakar solar terbarukan (*renewable diesel*), bahan bakar nabati yang lebih canggih yang dapat diproduksi dari bahan baku minyak dan lemak yang sama dengan biodiesel, tetapi memiliki keunggulan kompatibilitas sebagai bahan bakar yang dapat langsung digunakan (*drop-in*). Indonesia perlu mengerahkan lebih banyak bahan baku dari minyak dan lemak untuk memenuhi target pencampurannya yang semakin tinggi dan membangun pasar bahan bakar solar terbarukan yang baru, sehingga kami mengusulkan agar Indonesia mendiversifikasi industri bahan bakar nabatinya dengan memasukkan bahan baku limbah (*waste feedstocks*).

Dalam studi ini, kami melakukan penilaian terhadap tingkat produksi saat ini dan pembuangan atau penggunaan empat limbah sebagai bahan baku biodiesel dan bahan bakar solar terbarukan di Indonesia, yaitu: (1) lemak hewani yang tidak dapat dimakan, yang merupakan produk sampingan dari rumah pemotongan hewan; (2) limbah minyak ikan yang dapat diambil dari limbah padat pengolahan ikan, air limbah pengolahan ikan dan limbah ikan; (3) lumpur sawit (*sludge palm oil/SPO*), minyak residu yang mengambang di atas limbah cair kelapa sawit (*palm oil mill effluent/POME*); dan (4) *tall oil*, sebuah produk sampingan dari industri bubur kayu (*pulp*) dan kertas. Sementara negara-negara lain telah menggunakan bahan baku ini untuk produksi biodiesel dan bahan bakar solar terbarukan, secara umum Indonesia membuang lemak hewani yang tidak dapat dimakan dan limbah ikan dan tidak mengumpulkan SPO. *Tall oil* dalam jumlah besar tidak diekstraksi dengan memanfaatkan potensinya secara maksimal dan sebagian besar dari produksinya diekspor ke luar negeri. Dengan memanfaatkan pengalamannya yang luas dalam biodiesel sawit dan dengan upaya yang penuh dedikasi untuk membangun pasar bahan bakar solar terbarukan, Indonesia secara teknologi dapat memanfaatkan bahan baku limbah ini untuk memproduksi biodiesel dan bahan bakar solar terbarukan di dalam negeri.

Berdasarkan perkiraan kami, sekitar 1.4 miliar liter biodiesel atau 1.35 miliar liter bahan bakar solar terbarukan dapat diproduksi dari keempat limbah minyak dan bahan baku lemak setiap tahun. Angka ini tidak termasuk 3.2 miliar (biodiesel) atau 3 miliar (bahan bakar solar terbarukan) liter dari minyak goreng bekas yang secara teknis tersedia, sebagaimana diperkirakan dalam penelitian ICCT sebelumnya (Kharina dkk., 2018). Dengan demikian, total, 4.6 miliar liter biodiesel atau 4.35 miliar liter bahan bakar solar terbarukan dapat diproduksi dari limbah minyak dan lemak setiap tahun. Jumlah ini dapat memperkecil defisit perdagangan akibat berkurangnya permintaan impor bahan bakar solar berbasis fosil (*fossil diesel*) sebesar 65% berdasarkan nilai impor tahun 2018. Sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar RE1, biodiesel dari bahan dasar limbah menyumbang hampir 60% dari target volume B30.



Gambar RE1. Produksi biodiesel tahunan dari lima bahan baku limbah yang tersedia secara maksimal dan kontribusinya terhadap target pencampuran B30 Indonesia.

Pemanfaatan bahan baku limbah dapat memberikan berbagai manfaat selain peningkatan kemandirian energi Indonesia. Pertama, pemanfaatan bahan baku limbah memungkinkan produsen bahan bakar nabati untuk menghemat biaya untuk bahan baku. Selain itu, berdasarkan analisis sebelumnya yang dilakukan di Amerika Serikat, kami memperkirakan bahwa pengembangan pasar limbah bahan bakar nabati berpotensi menciptakan sekitar 28.000 lapangan kerja di Indonesia. Konversi limbah menjadi bahan bakar nabati juga menghindari pembuangan limbah dengan cara yang tidak tepat dan membantu meningkatkan kualitas udara dan air. Pergeseran bahan bakar berbasis fosil (*fossil diesel*) dengan bahan bakar nabati berbasis dasar limbah memiliki potensi maksimal dalam memotong 12 juta ton karbon dioksida ekuivalen (CO₂e) emisi gas rumah kaca (GRK) per tahun dan berkontribusi terhadap target penurunan GRK Indonesia.

Mengingat potensi dan berbagai manfaat bahan bakar nabati berbasis dasar limbah yang signifikan di Indonesia, kami mengidentifikasi tiga rekomendasi kebijakan utama yang akan mendukung pasar bahan bakar nabati yang matang di masa yang akan datang dengan menggunakan bahan baku limbah:

- » Merumuskan peraturan yang menetapkan bahwa bahan baku limbah memenuhi syarat untuk digunakan dalam produksi bahan bakar nabati dan mengintegrasikannya ke dalam program bahan bakar nabati nasional.
- » Memberikan insentif keuangan untuk mendorong penggunaan bahan baku limbah. Insentif ini dapat berupa subsidi yang serupa dengan subsidi untuk biodiesel kelapa sawit, yang dapat menutupi kesenjangan harga (*price gap*) antara biodiesel/bahan bakar solar terbaru dan bahan bakar solar berbasis fosil (*fossil diesel*), atau memberikan pinjaman dengan suku bunga preferensi kepada produsen bahan bakar nabati lokal berskala kecil.
- » Berkolaborasi dengan organisasi masyarakat sipil untuk merancang berbagai program pelatihan yang dapat meningkatkan kesadaran di antara para pemasok bahan baku tentang nilai limbah menjadi energi (*waste-to-energy*) dan membantu menyelesaikan potensi kesulitan teknis dalam hal pengumpulan dan pengolahan limbah.

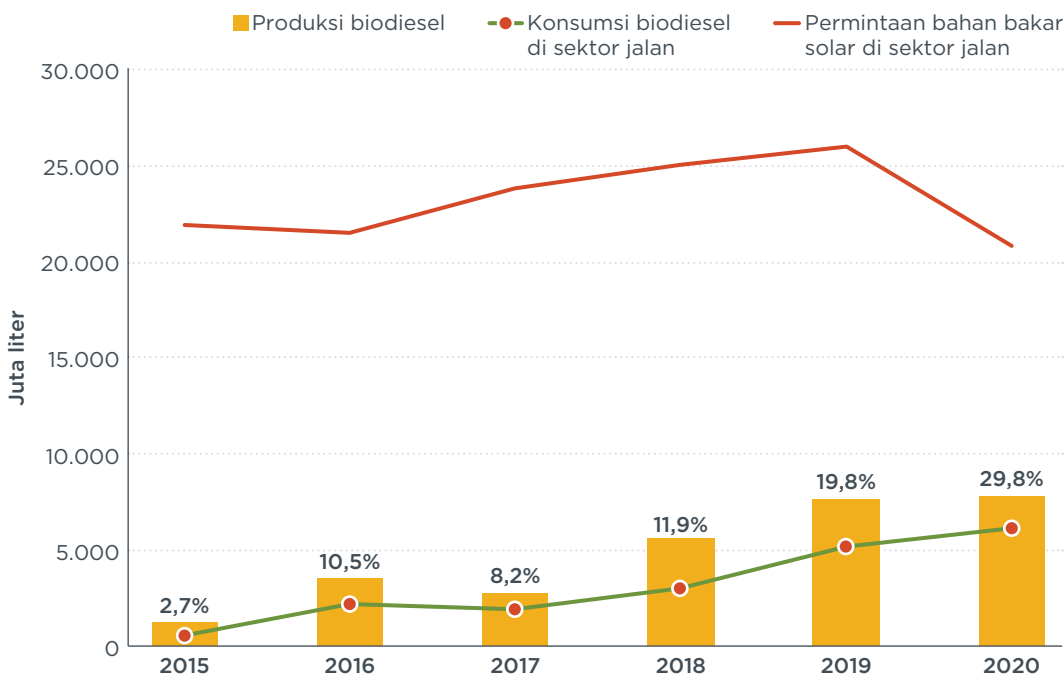
TABLE OF CONTENTS

Rangkuman Eksekutif	i
Pendahuluan	1
Ketersediaan bahan baku limbah	3
Lemak hewani yang tidak dapat dimakan	3
Limbah minyak ikan	4
Lumpur sawit (<i>Sludge palm oil</i>)	5
Tall oil	5
Hasil dan diskusi	7
Potensi bahan bakar nabati dari bahan baku limbah.....	7
Manfaat bahan baku limbah	8
Dukungan kebijakan.....	9
Kesimpulan	11
Referensi	12

PENDAHULUAN

Untuk mengurangi impor bahan bakar dan meningkatkan keamanan energi, Indonesia secara aktif telah mendorong produksi dan penggunaan biodiesel domestik. Pemerintah pusat telah menerapkan dua kebijakan pendukung utama, yaitu target pencampuran dan insentif keuangan. Tidak diragukan lagi, Indonesia mempunyai target biodiesel tertinggi di dunia, yaitu 30% rasio pencampuran biodiesel dalam bahan bakar solar berbasis fosil (*fossil diesel*), yang dikenal dengan B30 dan secara resmi diluncurkan pada tahun 2020. Sementara itu, Pemerintah Indonesia berencana untuk lebih meningkatkan target pencampuran biodiesel dalam beberapa tahun yang akan datang (Gorbiano, 2019). Terkait dengan insentif keuangan, hampir semua biodiesel di Indonesia diproduksi dari minyak sawit dan pada tahun 2015, pemerintah menetapkan suatu mekanisme pendanaan di mana pungutan atas ekspor minyak sawit dan turunannya menciptakan arus pendapatan yang akan diperhitungkan dengan selisih harga antara biodiesel sawit dan bahan bakar solar berbasis fosil (*fossil diesel*).

Dengan adanya kebijakan tersebut, produksi dan konsumsi biodiesel dalam sektor transportasi Indonesia telah mengalami peningkatan yang signifikan sejak tahun 2015. Gambar 1 menunjukkan produksi biodiesel domestik serta konsumsi biodiesel dan bahan bakar solar berbasis fosil *on-road* (*fossil diesel on-road*) antara tahun 2015 dan 2020. Angka pencampuran biodiesel yang dicapai ditunjukkan pula dalam nilai persentase. Meskipun terjadi tren kenaikan, sektor transportasi gagal memenuhi target B20-nya antara tahun 2016 dan 2018, karena konsumsi biodiesel hanya mencapai kurang dari 12% dari konsumsi bahan bakar solar berbasis fosil (*fossil diesel*). Data tahun 2019 dan 2020, yang merupakan data estimasi, menunjukkan bahwa Indonesia kemungkinan dapat mencapai target B20 dan B30-nya. Namun demikian, cerita selanjutnya mungkin akan sedikit berbeda. Pada tahun 2020, terjadi penurunan permintaan solar yang tidak biasa akibat krisis COVID-19, sehingga rasio pencampuran biodiesel yang tinggi merupakan kasus khusus. Apabila pasar bahan bakar mengalami pemulihan—suatu hal yang sangat mungkin terjadi (Agarwal dkk., 2020)—dan tingkat proyeksi pertumbuhan dapat dipertahankan sebesar 3,8% per tahun (BPPT, 2019), Indonesia harus meningkatkan produksi biodieselnnya secara signifikan untuk mengimbangi permintaan bahan bakar yang meningkat dan target pencampuran yang lebih tinggi sebagaimana tercantum dalam rencana pemerintah.



Gambar 1. Produksi biodiesel serta konsumsi *fossil diesel* dan biodiesel dari sektor *on-road* di Indonesia. Nilai persentase merupakan angka pencampuran. Sumber: United States Department of Agriculture (USDA, 2020). Catatan: Data 2019 dan 2020 merupakan estimasi USDA.

Selain itu, Indonesia bermaksud mengembangkan industri bahan bakar solar terbarukan. Bahan bakar solar terbarukan memerlukan teknologi konversi bahan bakar yang lebih tinggi, tetapi bahan bakar solar terbarukan ini dapat diproduksi dari bahan baku minyak dan lemak yang sama dengan biodiesel. Apabila biodiesel harus dicampur dalam *fossil diesel* agar kompatibel dengan mesin pembakaran internal, bahan bakar solar terbarukan adalah bahan bakar *drop-in fuel* dengan kinerja yang sama baiknya dengan *fossil diesel* dan tidak memerlukan pencampuran bahan bakar dari sudut pandang teknis. Saat ini pemerintah Indonesia dan Pertamina, perusahaan minyak negara, sedang melakukan percobaan produksi bahan bakar solar terbarukan domestik dari minyak sawit (Kotrba, 2020). Pemanfaatan sumber daya baru dan diversifikasi bahan baku untuk biodiesel dan bahan bakar solar terbarukan perlu dilakukan untuk ekspansi berkelanjutan dari kedua industri tersebut.

Studi ini mengidentifikasi dan memperkirakan jumlah bahan baku yang saat ini terbuang tetapi berpotensi dapat dimanfaatkan untuk produksi biodiesel dan bahan bakar solar terbarukan di Indonesia. Penelitian yang dilakukan ICCT pada tahun 2018, Kharina dkk., menunjukkan adanya peluang pemanfaatan minyak goreng bekas (*used cooking oil/UCO*) untuk memproduksi biodiesel di Indonesia. Penelitian tersebut juga menemukan bahwa harga UCO harganya tidak mahal dan jumlahnya berlimpah, tetapi kurang dimanfaatkan. Secara khusus, UCO yang mudah dikumpulkan atau UCO dari restoran-restoran di perkotaan dapat menambah persentase kelompok biodiesel sebesar 4% dengan biaya produksi biodiesel UCO 35% lebih rendah daripada biodiesel kelapa sawit. Dalam penelitian ini, kami menyelidiki bahan baku limbah lainnya yang juga memiliki potensi.

Kami mengevaluasi empat bahan baku limbah untuk biodiesel dan bahan bakar solar terbarukan: lemak hewani yang tidak dapat dimakan, limbah minyak ikan, lumpur sawit (*sludge palm oil/SPO*) dan *tall oil*. Bahan baku tersebut dapat dikonversikan menjadi biodiesel dengan menggunakan teknologi sederhana dan murah yang telah digunakan di Indonesia atau dapat dikonversikan menjadi bahan bakar solar terbarukan dengan menggunakan teknologi yang lebih maju yang secara komersial layak di negara-negara lain, seperti di Amerika Serikat. Kami menilai ketersediaan keempat bahan baku limbah tersebut serta volume biodiesel dan bahan bakar solar terbarukan yang berpotensi dapat diproduksi darinya. Kemudian kami membuat estimasi tingkat penggantian (*displacement*) bahan bakar solar dan penurunan impor minyak yang dapat dicapai melalui strategi ini dan mengidentifikasi pendorong kebijakan yang dapat membantu meningkatkan penggunaan bahan baku limbah. Penelitian ini memberikan wawasan kepada pemerintah Indonesia tentang penggunaan beragam bahan baku untuk memenuhi target bahan bakar nabati Indonesia yang ambisius secara berkelanjutan. Walaupun penelitian ini berfokus pada penggantian (*displacement*) bahan bakar solar, kami menilai adanya peluang penggantian bensin melalui *cellulosic ethanol* dari residu kelapa sawit dalam sebuah penelitian baru-baru ini (Zhou dkk., 2020b).

KETERSEDIAAN BAHAN BAKU LIMBAH

Dalam bagian ini, kami menilai kuantitas lemak hewani yang tidak dapat dimakan, limbah minyak ikan, SPO dan *tall oil* yang dapat digunakan untuk produksi biodiesel dan bahan bakar solar terbarukan di Indonesia. Secara khusus, kami menyelidiki produksi bahan baku tersebut saat ini; nasibnya saat ini, seperti apakah dibuang atau digunakan untuk hal lain; dan kesesuaiannya untuk produksi biodiesel dan bahan bakar solar terbarukan. Kemudian kami membuat estimasi jumlah biodiesel dan bahan bakar solar terbarukan yang dapat diproduksi oleh masing-masing dari keempat bahan baku tersebut.

LEMAK HEWANI YANG TIDAK DAPAT DIMAKAN

Lemak hewani merupakan produk sampingan rumah pemotongan hewan. Beberapa di antara lemak ini dapat dimakan dan dijual ke pasar pangan. Lemak hewani yang dapat dimakan sangat berharga dan akan selalu digunakan, teristimewa dalam makanan. Akan tetapi, beberapa lemak hewani dari rumah pemotongan hewan tidak memiliki kualitas yang cukup tinggi untuk konsumsi manusia. Lemak hewani yang tidak dapat dimakan ini dapat digunakan untuk pakan hewan atau membuat produk oleokimia dan digunakan pula untuk memproduksi biodiesel dan bahan bakar solar terbarukan di beberapa negara. Misalnya, lemak hewani yang tidak dapat dimakan berkontribusi sekitar 10% dalam produksi biodiesel di Amerika Serikat (*Energy Information Administration*, 2019). Akan tetapi, di Indonesia, lemak hewani yang tidak dapat dimakan ini biasanya dibuang (Brienen dkk., 2014; Jumini, 2017).

Tidak mudah memperoleh data tentang produksi lemak hewani yang tidak dapat dimakan di Indonesia. Walaupun tersedia data dari Food and Agriculture Organization (FAO) tentang produksi, perdagangan, persediaan, pasokan dalam negeri dan konsumsi lemak hewani dari sektor makanan atau sektor-sektor lain di Indonesia (FAO, 2019), data set ini tidak memisahkan lemak hewani yang dapat dimakan dan yang tidak dapat dimakan. Oleh sebab itu, untuk membuat estimasi yang lebih baik tentang jumlah lemak hewani yang tidak dapat dimakan yang dapat digunakan untuk biodiesel, kami menggunakan data dari penelitian ICCT sebelumnya (Zhou, Baldino, & Searle, 2020a) yang menghitung rasio produksi lemak hewani, termasuk yang dapat dimakan maupun tidak dapat dimakan, per produksi daging ternak di Amerika Serikat. Kami menerapkan rasio dari penelitian tersebut pada produksi daging sapi, babi dan ayam di Indonesia, yang kami ambil dari data FAO. Kemudian kami mengurangi jumlah yang digunakan dalam konsumsi pangan, sebagaimana dilaporkan oleh FAO, dari perhitungan total produksi lemak hewani untuk membuat estimasi bagian yang tidak dapat dimakan yang dapat dimanfaatkan untuk produksi biodiesel.

Sesuai dengan metodologi ini dan dengan mempertimbangkan bahwa sekitar 0.14 galon biodiesel atau 0.13 galon bahan bakar solar terbarukan dapat diproduksi dari 1 pon bahan baku lemak, kami memperkirakan bahwa sekitar 205.000 ton lemak hewani yang tidak dapat dimakan di Indonesia dapat digunakan untuk memproduksi 240 juta liter biodiesel atau 230 juta liter bahan bakar solar terbarukan.

Kami membuat beberapa catatan penting tentang hal ini. Pertama, lemak yang tidak dapat dimakan yang kami evaluasi, berasal dari hewan ternak, babi dan ayam dan kami tidak memperhitungkan jumlah lemak dari jenis ternak lainnya, seperti kambing dan bebek. Pengecualian tersebut diperkirakan menyebabkan estimasi yang lebih rendah, tetapi tidak dalam kadar yang tinggi, karena hewan ternak, babi dan ayam mendominasi pasar ternak di Indonesia dengan persentase lebih dari 90% (FAO, 2019). Kedua, penggunaan rasio produksi lemak hewani AS merupakan estimasi terbaik karena tidak ditemukan data lain, tetapi data tersebut tidak berbicara khususnya untuk situasi Indonesia, secara istimewa apabila terdapat perbedaan terkait gemuk tidaknya ternak akibat perbedaan pakan dan metode pembesaran atau jika terdapat perbedaan dalam teknik pemotongan. Ketiga, kami tidak memperhitungkan ekspor lemak hewani

yang tidak dapat dimakan dari Indonesia karena kami ingin membuat estimasi potensi maksimum untuk penggunaan dalam negeri. Kami mengikuti aturan ini untuk semua bahan baku lain juga.

LIMBAH MINYAK IKAN

Limbah minyak ikan dapat diperoleh dari tiga sumber, yaitu: (1) limbah padat pengolahan ikan, yang merupakan bagian ikan yang tidak diinginkan selama pengolahan produk seperti pada pembuatan *fish fillet*; (2) air limbah pengolahan ikan; dan (3) limbah ikan, yang merupakan ikan utuh yang tidak diinginkan yang terbuang di sepanjang rantai pasokan. Saat ini, di Indonesia, limbah-limbah tersebut tidak dimanfaatkan, tetapi minyak ikan dapat digunakan untuk produksi biodiesel. Bahkan, Neste, produsen bahan bakar nabati terbesar, telah menggunakan minyak ikan dari limbah pengolahan ikan sebagai salah satu bahan bakunya (Neste, 2020).

Sebagaimana diperinci di bawah ini, kami memperkirakan bahwa total limbah minyak ikan dari ketiga sumber ini adalah 240.000 ton di Indonesia dan jumlah ini dapat digunakan untuk memproduksi 280 juta liter biodiesel atau 265 juta liter bahan bakar solar terbarukan.

Limbah padat pengolahan ikan

Kami mengambil data produksi ikan laut dan air tawar di Indonesia dari FAO (FAO, 2019). Sebelumnya, FAO (2006) memperkirakan bahwa sekitar 56% ikan di Indonesia dikonsumsi secara segar dan sisanya dikonsumsi setelah melalui proses pengolahan. Limbah padat yang dihasilkan selama pengolahan ikan kurang lebih mencapai separuh dari ikan yang diproses (Girish, Gambhir, & Deshmukh, 2017). Angka ekstraksi minyak dari limbah pengolahan ikan, seperti kepala dan ekor, mencapai sekitar 5% (Kasmiran, 2016).

Berdasarkan asumsi tersebut, kami memperkirakan jumlah minyak ikan yang dapat diperoleh dari limbah padat pengolahan ikan di Indonesia mencapai 65.000 ton.

Air limbah pengolahan ikan

Secara teoritis, minyak ikan yang mengambang dalam air limbah pengolahan ikan dapat dikumpulkan dengan berbagai cara, secara fisik, kimiawi atau biologis (Show, 2008). Pada umumnya, sekitar 18–60 liter air digunakan untuk memproses setiap kilogram ikan (Thomas, 2016). Dalam penelitian ini, kami berasumsi jumlah air yang diperlukan 40 liter air per kilogram ikan dan mengalikannya dengan jumlah ikan yang diolah berdasarkan perhitungan tersebut di atas. Kandungan minyak di dalam air limbah ini memiliki kadar beragam, bergantung pada spesies ikan dan pengolahannya (Colic dkk., 2007; Show, 2008). Thomas (2016) menemukan bahwa kandungan minyak dalam air limbah dari pengolahan ikan haring, tuna, salmon dan lele memiliki kadar 60 miligram (mg) sampai dengan 800 mg per liter air limbah dan untuk tuna secara khusus, kadarnya mencapai 250 mg per liter. Tuna adalah salah satu jenis ikan yang diproduksi secara besar di Indonesia dan nilai kandungan minyaknya relatif berada di kisaran menengah, sehingga kami menggunakan 250 mg per liter sebagai estimasi. Sebuah penelitian menemukan bahwa sekitar dua per tiga dari kandungan minyak dapat diekstraksi dari air limbah tersebut (Show, 2008).

Berdasarkan asumsi tersebut, kami memperkirakan bahwa minyak ikan yang tersedia dari air limbah pengolahan ikan di Indonesia mencapai 20.000 ton. Namun demikian, perlu dicatat bahwa pengumpulan minyak ikan dari air limbah saat ini mungkin tidak layak dilakukan di Indonesia karena industri perikanan cenderung membuang air limbah langsung ke sungai atau danau (NusaBali, 2015). Untuk mengumpulkan minyak ikan, pembuangan air limbah perlu dipusatkan di satu tempat, seperti fasilitas pengolahan air limbah. Ini berarti bahwa Indonesia harus berinvestasi pada fasilitas tersebut terlebih dahulu. Walaupun demikian, pemerintah Indonesia telah memiliki rencana melakukan pengolahan air limbah dari industri perikanan secara lebih baik (Nurcaya,

2020) dan para pengambil kebijakan dapat memasukkan program pengumpulan minyak ikan ke dalam desain kebijakan ini.

Limbah ikan

FAO (2004) memperkirakan tingkat pembuangan ikan di Indonesia mencapai sekitar 8%. Angka ekstraksi minyak dari ikan utuh mencapai sekitar 10% sampai dengan 50%, tergantung pada spesies ikan (Bonilla-Mendez & Hoyos-Concha, 2018). Kami memilih angka tengah dan menggunakan persentase sebesar 30% sebagai angka ekstraksi minyak.

Berdasarkan asumsi tersebut, kami memperkirakan jumlah minyak ikan yang dapat diekstraksi dari limbah ikan di Indonesia adalah 155.000 ton.

LUMPUR SAWIT (*SLUDGE PALM OIL*)

Lumpur sawit (*Sludge palm oil/SPO*) adalah minyak residu yang mengambang di atas limbah cair kelapa sawit (*palm oil mill effluent/POME*), air limbah yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit. POME mengandung banyak materi organik dan dengan demikian, menurut peraturan yang berlaku di Indonesia, harus melalui proses pengolahan sebelum dibuang ke saluran air alami. Saat ini, pabrik kelapa sawit di Indonesia memanfaatkan sistem kolam untuk pengolahan POME; POME mengalir melalui serangkaian kolam di mana materi organik diurai dan akibatnya, SPO tidak terkumpul. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa SPO dapat disaring dan digunakan untuk membuat biodiesel (*Bio-based News*, 2019; Muanruka, Winterburn, & Kaewkannetra, 2019). SPO juga merupakan salah satu bahan baku limbah yang digunakan oleh Neste untuk memproduksi biodiesel dan bahan bakar solar terbarukan (Neste, 2020).

Menurut penelitian sebelumnya, jumlah SPO yang dihasilkan di pabrik kelapa sawit mencapai sekitar 2% dari total produksi minyak sawit (Manurung, Ramadhani, & Maisarah, 2017). Kami mengumpulkan data produksi minyak sawit Indonesia dari data FAO (2019). Kami menduga bahwa sulit untuk memperoleh semua SPO dari POME sehingga kami menggunakan angka ekstraksi minyak yang sama seperti di atas, dua pertiga minyak dari air limbah, sebagai angka estimasi.

Sesuai dengan perhitungan, sekitar 500.000 ton SPO di Indonesia dapat digunakan untuk memproduksi 570 juta liter biodiesel atau 550 juta liter bahan bakar solar terbarukan. Jumlah SPO yang tersedia di masa yang akan datang kemungkinan akan lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah ini dengan dua alasan. Pertama, angka ekstraksi kemungkinan meningkat seiring dengan perkembangan teknologi, dan kedua, volume SPO akan meningkat seiring dengan meningkatnya produksi kelapa sawit.

TALL OIL

Tall oil adalah produk sampingan dari industri bubur kayu dan kertas. Di pabrik bubur kayu, bahan kimia digunakan untuk memisahkan serat selulosa yang kemudian digunakan untuk membuat kertas. Larutan sisanya disebut *black liquor* dan larutan ini terdiri atas lignin dan materi organik. *Black liquor* ini lebih lanjut dapat diproses untuk memisahkan sabun sulfat mentah, yang dapat diubah menjadi tall oil mentah (*crude tall oil/CTO*) melalui proses pengasaman. Saat ini, Indonesia mengekspor CTO, terutama ke negara-negara Asia lainnya atau menyuling CTO menjadi produk kimia lainnya, seperti asam lemak *tall oil* (Perserikatan Bangsa-Bangsa, 2020). Di negara-negara lain, beberapa perusahaan bahan bakar nabati telah mempelopori bahan bakar nabati berbasis CTO. Misalnya, setiap tahun, UPM memproduksi kurang lebih 120 juta liter bahan bakar solar terbarukan dari CTO di Lappeenranta Biorefinery miliknya di Finlandia (UPM, 2020). Selain itu, Sunpine di Swedia juga memproduksi sekitar 105 juta liter setiap tahunnya (Sunpine, 2020).

Tidak ditemukan data tentang produksi CTO Indonesia setiap tahun dan oleh sebab itu, kami membuat estimasinya. Penelitian sebelumnya melaporkan bahwa total produksi CTO di Asia mencapai 90.000 ton pada tahun 2015 (Malins, 2017) dan total produksi bubur kayu di Asia mencapai 32 juta ton pada tahun yang sama (FAO, 2018). Dengan menggunakan data ini, kami membuat rasio produksi CTO terhadap produksi bubur kayu dan menerapkannya pada produksi bubur kayu di Indonesia (FAO, 2018) sebagai estimasi kasar produksi *tall oil* aktual. Kemudian kami membuat estimasi kemungkinan produksi CTO di Indonesia sebesar 20.000 ton.

Namun demikian, Indonesia memiliki potensi besar untuk meningkatkan produksi CTONya dengan cara mengumpulkan sabun sulfat (*sulfate soap*) mentah lebih banyak dan dengan mengasamkan lebih banyak bahan tersebut menjadi CTO. Secara teoritis, 20–50 kg *tall oil* dapat diproduksi dari setiap ton bubur kayu (Malins, 2017). Jika kita berasumsi bahwa 40 kg *tall oil* per ton bubur kayu yang diproduksi, kita dapat memperkirakan bahwa 270.000 ton CTO mungkin dapat diproduksi di Indonesia, yang berarti lebih dari sepuluh kali lipat lebih tinggi dari estimasi jumlah produksi saat ini. Kami membuat hipotesis bahwa sebagian besar minyak yang tersedia dalam *black liquor* di Indonesia tidak dipisahkan dari *black liquor* tersebut atau dibakar sebagai sabun sulfat (*sulfate soap*) mentah untuk memproses panas dan tenaga listrik. Pengasamannya menjadi CTO akan memungkinkan pemanfaatan sumber daya ini dalam biodiesel, sehingga menjadi produk dengan nilai lebih tinggi.

Apabila pemanfaatan CTO dapat dilakukan secara maksimal, Indonesia dapat memproduksi 315 juta liter biodiesel atau 300 juta liter bahan bakar solar terbarukan.

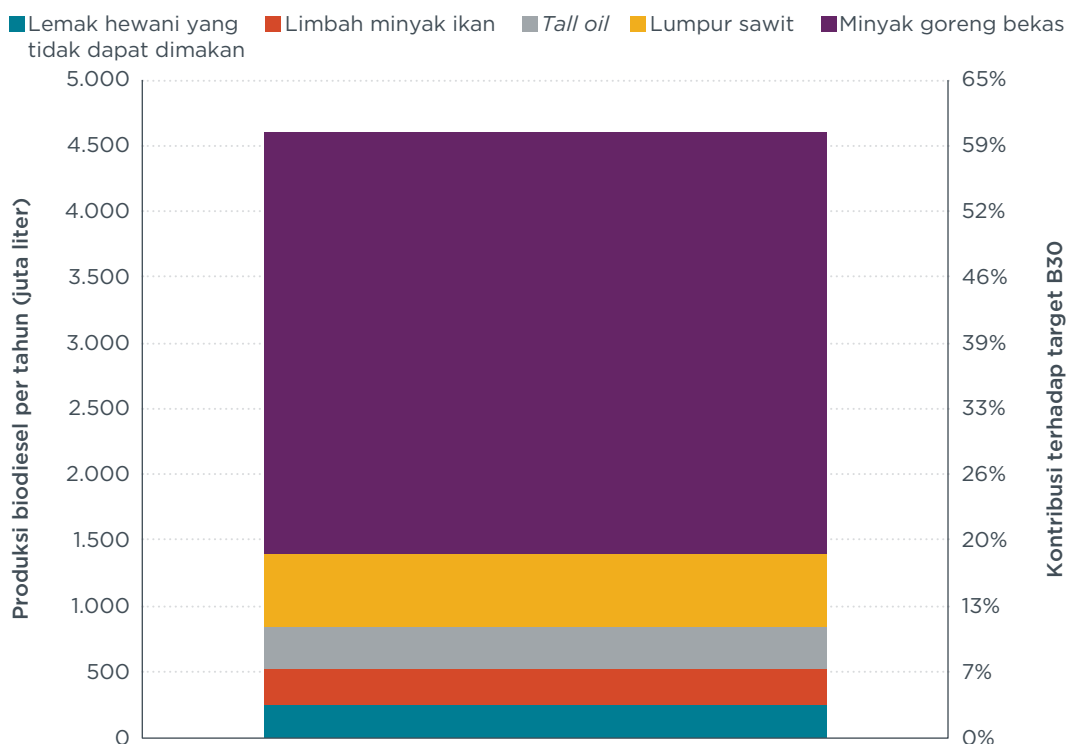
HASIL DAN DISKUSI

POTENSI BAHAN BAKAR NABATI DARI BAHAN BAKU LIMBAH

Kami memperkirakan bahwa Indonesia mampu memproduksi sebanyak 1.36 miliar liter biodiesel atau 1.35 miliar liter bahan bakar solar terbarukan dari keempat bahan baku limbah yang dianalisis dalam penelitian ini. Jumlah ini tidak termasuk 3.2 miliar liter biodiesel atau 3 miliar liter bahan bakar solar terbarukan dari bahan baku limbah lainnya, UCO, sebagaimana diperkirakan dalam penelitian ICCT sebelumnya (Kharina dkk., 2018). Tabel 1 berisi rangkuman ketersediaan masing-masing dari kelima bahan baku limbah dan produksi biodiesel atau bahan bakar solar terbarukan yang dihasilkan, dan di bawah tabel tersebut, Gambar 2 menunjukkan potensi produksi biodiesel dari kelima bahan baku tersebut dan bagaimana masing-masing bahan baku dapat memberikan kontribusi dalam pencapaian target biodiesel Indonesia B30 setelah tingkat permintaan kembali seperti sebelum pandemi.

Tabel 1. Ketersediaan tahunan lima bahan baku limbah dan produksi biodiesel atau bahan bakar solar terbarukan dari jumlah maksimum

	Lemak hewani yang tidak dapat dimakan	Limbah minyak ikan	Lumpur sawit (<i>Sludge palm oil</i>)	Tall oil	Minyak goreng bekas	Total
Ketersediaan bahan baku (ribu ton)	205	240	500	270	2.700	3.915
Produksi biodiesel (juta liter)	240	280	570	310	3.200	4.600
Produksi bahan bakar solar terbarukan (juta liter)	230	265	550	300	3.000	4.345



Gambar 2. Produksi biodiesel tahunan dari lima bahan baku limbah yang tersedia secara maksimal dan kontribusinya terhadap target pencampuran B30 Indonesia.

Setelah pasar bahan bakar mengalami pemulihan sebagaimana sebelum terjadinya pandemi COVID-19, pemanfaatan kelima bahan bakar limbah tersebut akan mampu memenuhi hampir 60% dari target volume biodiesel yang telah ditetapkan pemerintah Indonesia dan dapat menggantikan sekitar 16% permintaan bahan bakar solar *on-road* (*on-road diesel demand*), apabila nilai pemanasan biodiesel dan *fossil diesel* yang

berbeda turut diperhitungkan. Di antara kelima bahan baku tersebut, minyak goreng bekas merupakan bahan baku dengan jumlah terbesar. Akan tetapi, kami mencatat bahwa jumlah ini merupakan potensi teknis dengan asumsi dilakukan pengumpulan secara nasional dari semua sumber, agar sesuai dengan estimasi kami untuk bahan baku limbah lainnya. Akan sulit untuk mencapai tingkat pengumpulan minyak goreng bekas ini dalam waktu dekat, mengingat saat ini Indonesia tidak memiliki upaya pengumpulan yang sistematis. SPO juga memiliki potensi yang besar dan ketersediaannya mungkin akan meningkat di masa yang akan datang seiring dengan meningkatnya produksi minyak sawit dan kemajuan teknologi dalam ekstraksi minyak residu.

MANFAAT BAHAN BAKU LIMBAH

Penggunaan bahan baku limbah untuk bahan bakar nabati memberikan manfaat berlipat ganda. Selain membantu memenuhi target angka pencampuran bahan bakar nabati, bahan baku limbah akan membantu mengurangi kebutuhan impor bahan bakar Indonesia. Pada tahun 2018, impor bahan bakar mencapai kurang lebih 17% dari nilai impor Indonesia (World Bank, 2020) dan Indonesia mengimpor 6.5 miliar liter bahan bakar solar pada tahun yang sama (USDA, 2020). Dengan menggunakan kelima bahan baku limbah tersebut, impor bahan bakar solar akan berkurang sebesar 65%. Dengan demikian, bahan bakar nabati dari bahan baku limbah dapat juga berkontribusi dalam memperkecil defisit perdagangan Indonesia, selaras dengan strategi perdagangan pemerintah (The Jakarta Post, 2019).

Manfaat sosial ekonomi yang dapat dihasilkan dari penggunaan bahan bakar limbah meliputi semakin rendahnya biaya produksi bahan bakar nabati bagi produsen, bertambahnya peluang kerja dan meningkatnya keberlanjutan. Beberapa bahan baku limbah yang kami periksa, saat ini tidak dimanfaatkan dan karena nilai ekonomisnya yang rendah, produsen bahan bakar nabati tidak akan membayar terlalu tinggi untuk membeli bahan baku tersebut. Misalnya, biaya produksi biodiesel minyak goreng bekas 35% lebih rendah dari biodiesel sawit di Indonesia karena harga bahan baku minyak goreng bekas yang lebih rendah (Kharina dkk., 2018), dan kami memperkirakan bahwa bahan baku limbah lainnya akan menunjukkan penurunan biaya yang sama. Terkait dengan penciptaan lapangan kerja, pada tahun 2017, sekitar 180,000 orang bekerja di sektor industri biodiesel di Indonesia (IRENA, 2018). Berdasarkan sebuah penelitian yang dilakukan di Amerika Serikat (Richards, 2013), produksi 4.6 miliar liter bahan bakar nabati dari kelima bahan baku limbah dalam penelitian ini mungkin dapat menciptakan lebih dari 28,000 lapangan kerja. Dengan demikian, kelompok lapangan kerja industri bahan bakar nabati akan mengalami peningkatan sebesar lebih dari 15%.

Selain itu, manfaat keberlanjutan bahan baku limbah ini sangat banyak. Pertama, pemanfaatan limbah dapat menghindarkan terjadinya praktik pembuangan limbah yang tidak semestinya dan dengan demikian membantu mengatasi isu-isu lingkungan hidup di daerah setempat. Pembuangan lemak hewani yang tidak dapat dimakan, limbah ikan atau UCO tanpa melalui pengolahan sebagaimana mestinya dapat menimbulkan dampak lingkungan yang merugikan. Dampak merugikan ini termasuk produksi senyawa beracun dan tidak dapat terurai yang akan tetap bertahan di lingkungan selama bertahun-tahun; kematian hewan dan tumbuhan akibat lapisan minyak dan rusaknya habitat lokal; eutrofikasi pada saluran air, yang menyebabkan buruknya kualitas air dan ancaman kepunahan terhadap spesies; tersumbatnya drainase dan sistem pengolahan air; kotornya garis pantai; dan timbulnya bau tidak sedap (FAO, 1996; Badan Perlindungan Lingkungan AS/U.S. *Environmental Protection Agency*, 2000; NusaBali, 2015). Pemanfaatan bahan baku limbah untuk bahan bakar nabati dapat membantu menanggulangi isu-isu lingkungan tersebut.

Kedua, bahan bakar nabati yang terbuat dari bahan baku limbah secara khusus menawarkan pengurangan efek gas rumah kaca (GRK) yang signifikan dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Model Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and

Energy Use in Transportation (GREET) memungkinkan penilaian daur hidup terhadap kinerja GRK dengan berbagai bahan bakar alternatif, termasuk biodiesel dan bahan bakar solar terbarukan dan diterapkan dalam berbagai kebijakan bahan bakar nabati, termasuk Standar Bahan Bakar Terbarukan AS (*U.S. Renewable Fuel Standard/RFS*). Kami menggunakan model GREET ini untuk membuat estimasi total emisi GRK limbah bahan bakar nabati di seluruh daur hidupnya – ekstraksi bahan baku, produksi bahan bakar dan pembakaran. Dari kelima bahan baku limbah yang diperhitungkan di sini, GREET hanya memberikan data tentang lemak hewani yang tidak dapat dimakan dan minyak goreng bekas, dan untuk itu, total emisi GRK mencapai kurang lebih 25 gram karbon dioksida ekuivalen (*carbon dioxide equivalent/gCO₂e*) per megajoule (MJ) dari biodiesel atau 15 gCO₂e per MJ dari bahan bakar solar terbarukan. Sementara itu, intensitas karbon dalam bahan bakar solar berbasis fosil (*fossil diesel*) mencapai sekitar 98 gCO₂e/MJ, dan itu berarti penggantian bahan bakar solar berbasis fosil (*fossil diesel*) dengan limbah bahan bakar nabati dapat mengurangi emisi GRK sebesar lebih dari 70%. Dengan asumsi intensitas karbon dari masing-masing kelima jenis limbah bahan bakar nabati tersebut mencapai 25 gCO₂e, berdasarkan analisis kami, penggantian bahan bakar solar berbasis fosil (*fossil diesel*) dengan 4.6 miliar liter limbah bahan bakar nabati dapat menurunkan CO₂e sekitar 12 juta ton per tahun, setara dengan 1.4% dari emisi GRK nasional Indonesia (*World Resources Institute, 2018*). Dengan demikian, limbah bahan bakar nabati dapat berkontribusi terhadap target Kontribusi Indonesia yang Ditetapkan secara Nasional (*Indonesia's Nationally Determined Contribution*), yang mencakup 29% pengurangan GRK di bawah business-as-usual pada tahun 2030.

Terakhir, praktik konversi limbah menjadi energi (*waste-to-energy*) tersebut termasuk dalam gagasan yang muncul dalam “ekonomi sirkular (*circular economy*)”, sebuah sistem yang mendorong penurunan *input* dan pemanfaatan kembali sumber daya. Saat ini, pemerintah Indonesia sedang mengembangkan rencana aksi nasional untuk menciptakan ekosistem ekonomi sirkular di dalam negeri (Yasmin, 2020). Oleh karena itu, tampaknya saat ini merupakan waktu yang tepat bagi Indonesia untuk mencantumkan penggunaan bahan baku limbah untuk bahan bakar nabati dalam agendanya.

DUKUNGAN KEBIJAKAN

Dukungan pemerintah diperlukan untuk memperluas upaya pengumpulan dan pemanfaatan bahan baku limbah untuk produksi bahan baku nabati. Kami mengidentifikasi tiga rekomendasi kebijakan utama yang akan membantu membangun pasar bahan bakar nabati yang matang dengan menggunakan bahan baku limbah di Indonesia.

Pertama, pemerintah Indonesia dapat secara eksplisit memasukkan bahan baku limbah ke dalam kebijakan bahan bakar nabati nasionalnya. Di Indonesia, pemerintah pusat bertanggung jawab untuk menyetujui dan mengatur kegiatan apa pun terkait bahan bakar dan pemerintah perlu menyatakan bahwa bahan baku limbah layak digunakan dalam produksi bahan bakar nabati dan diperhitungkan dalam mandat pencampuran bahan bakar nabati. Hal ini tidak hanya menunjukkan kepada pemasok bahan baku bahwa bahan baku limbah memiliki manfaat penggunaan alternatif ini, tetapi juga membangun permintaan akan bahan baku ini dari produsen bahan bakar nabati. Mengintegrasikan bahan baku limbah ke dalam program bahan bakar nabati berarti juga mendiversifikasi rantai pasokan bahan baku dan dengan demikian mendukung keberlanjutannya.

Setelah kelayakan bahan baku tercapai, pemerintah pusat dapat memberikan insentif keuangan untuk mendorong penggunaan bahan baku limbah oleh produsen bahan bakar nabati. Secara khusus, para pengambil kebijakan dapat mengadopsi rumusan yang sama dengan yang digunakan untuk subsidi biodiesel sawit, yang menutupi kesenjangan harga (*price gap*) antara biodiesel/bahan bakar solar terbarukan dan

bahan bakar solar berbasis fosil (*fossil diesel*). Kami memperkirakan bahwa jumlah subsidi yang diperlukan untuk mendukung limbah biodiesel lebih rendah dari jumlah subsidi untuk biodiesel sawit, karena bahan baku limbah lebih murah dibandingkan dengan bahan baku sawit. Jalur lain yang mungkin dapat ditempuh adalah pemberian pinjaman oleh pemerintah daerah dengan suku bunga preferensi kepada produsen biodiesel lokal berskala kecil. Pemasok bahan baku limbah tertentu, seperti industri peternakan dan perikanan, pada umumnya berlokasi di daerah terpencil dan jauh dari fasilitas bahan bakar nabati yang ada. Untuk mengurangi biaya transportasi, akan lebih ekonomis untuk mengonversikan bahan baku limbah ini menjadi bahan bakar nabati secara lokal dan pemberian pinjaman khusus dapat membantu usaha setempat untuk mengatasi hambatan apa pun yang terkait dengan investasi di muka.

Akan tetapi, bahkan dengan manfaat ekonomis tersebut, kurangnya kesadaran dapat menghalangi para pemasok untuk mengumpulkan bahan baku limbah ini. Dengan demikian, perlu dilakukan upaya edukasi untuk meningkatkan pengumpulan bahan baku limbah dan peningkatan kesadaran di antara pemasok bahan baku, karena sebagian besar dari mereka telah terbiasa membuang bahan-bahan tersebut. Pemerintah pusat, pemerintah daerah dan organisasi masyarakat sipil dapat berkolaborasi untuk merancang program-program pelatihan untuk memberikan edukasi kepada pemasok bahan baku tentang nilai limbah menjadi energi (*waste-to-energy*). Program-program tersebut juga dapat membantu mengatasi kesulitan teknis yang berpotensi muncul dalam pengumpulan dan pengolahan limbah. Misalnya, pabrik kelapa sawit mungkin memerlukan dukungan teknis untuk mengekstraksi SPO dari POME.

Selain itu, pemerintah pusat dapat mendorong pengumpulan bahan baku limbah berdasarkan kebijakan yang berbeda dari kebijakan bahan bakar nabati, seperti rencana aksi ekonomi sirkular sebagaimana tersebut di atas dan peraturan pengelolaan limbah. Pembahasan bahan baku limbah dalam berbagai kebijakan merupakan sinyal dukungan yang kuat terhadap pemanfaatan bahan baku ini dan dapat mendorong pengumpulannya secara efektif.

KESIMPULAN

Bahan baku limbah memiliki potensi yang besar untuk digunakan dalam produksi bahan bakar nabati di Indonesia. Saat ini, lemak hewani yang tidak dapat dimakan, limbah minyak ikan dan SPO tidak dikumpulkan dan *tall oil* tidak dimanfaatkan sesuai potensi maksimalnya. Selain itu, potensi minyak goreng bekas sangat besar, walaupun diperlukan upaya yang signifikan untuk mengumpulkannya. Kami mengusulkan agar Indonesia mengambil keunggulan dari semua bahan baku limbah tersebut dengan memanfaatkannya dalam produksi bahan bakar nabati dan memprioritaskan penggunaan bahan bakar tersebut untuk kebutuhan dalam negeri. Kami memperkirakan bahwa 4.6 miliar liter biodiesel atau 4.35 miliar liter bahan bakar solar terbarukan dapat diproduksi dari kelima bahan baku limbah tersebut.

Pemanfaatan bahan baku limbah akan memungkinkan Indonesia mencapai target pencampuran bahan bakar nabatinya dan memberikan manfaat ganda. Untuk mendukung dan meningkatkan pemanfaatan bahan baku limbah, pemerintah Indonesia dapat memberikan dukungan kebijakan melalui berbagai cara. Pertama dan terutama, pemerintah pusat perlu membuat peraturan yang secara eksplisit menyatakan kelayakan penggunaan bahan baku limbah dan mengintegrasikan bahan baku limbah ke dalam program bahan bakar nabati nasionalnya. Dana dukungan biodiesel telah terbukti sangat berhasil dalam mempromosikan biodiesel sawit dan keberhasilan ini memberikan keyakinan akan perlunya subsidi serupa untuk bahan baku limbah. Pemerintah daerah juga dapat memberikan pinjaman dengan suku bunga preferensi kepada produsen bahan bakar nabati lokal berskala kecil yang menggunakan bahan baku limbah. Dukungan lain dari pemerintah pusat dan daerah, seperti dukungan teknis dan program-program edukasi juga dapat membantu membentuk rantai pasokan bahan baku yang berkelanjutan dan sehat.

REFERENSI

- Agarwal, R., Agarwal, V., Hansmann, T., Lath, V., Tan, K.T., & Yi, Z. (2020). *Ten ways to boost Indonesia's energy sector in a postpandemic world*. Retrieved from McKinsey & Company, <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/ten-ways-to-boost-indonesias-energy-sector-in-a-postpandemic-world>
- Bio-based News. (2019, August 26). Mineral oil groups ramp up HVO production in EU. Retrieved from <http://news.bio-based.eu/mineral-oil-groups-ramp-up-hvo-production-in-the-eu/>
- Bonilla-Mendez, J.R., & Hoyos-Concha, J.L. (2018). Methods of extraction refining and concentration of fish oil as a source of omega-3 fatty acids. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 19(3), 645–668. doi: 10.21930/rcta.vol19_num2_art:684
- BPPT. (2019). *BPPT outlook energi Indonesia 2019*. Retrieved from <https://www.bppt.go.id/dokumen/outlook/outlook-energi>
- Brienen, M., Cavenagh, B., Vliet, W.V., & Copier, M. (2014, June 20). Meeting the challenge of Indonesia's growing demand for poultry. *WATTPoultry.com*. Retrieved from <https://www.wattagnet.com/articles/19161-meeting-the-challenge-of-indonesia-s-growing-demand-for-poultry>
- Colic, M., et al. (2007). *Case study: Fish processing plant wastewater treatment*. Retrieved from Clean Water Technology Inc., https://www.cwt-global.com/Files/files/2007-07-29-fish_processing_wastewater.pdf
- Energy Information Administration. (2019). *Monthly biodiesel production report archives*. Retrieved from https://www.eia.gov/biofuels/biodiesel/production/archive/2018/2018_12/biodiesel.php
- Food and Agriculture Organization. (1996). *Management of waste from animal product processing*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/X6114E/x6114e00.htm#Contents>
- Food and Agriculture Organization. (2004). *Issues associated with low value/trash fish*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/ae934e/ae934e06.htm>
- Food and Agriculture Organization. (2006). *The republic of Indonesia*. Retrieved from <http://www.fao.org/fi/oldsite/FCP/en/IDN/profile.htm>
- Food and Agriculture Organization. (2018). *Forest products 2016*. Retrieved from <https://paperonweb.com/FAO2016.Paper.pdf>
- Food and Agriculture Organization. (2019). *FAOSTAT*. Retrieved from <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Girish, C.R., Gambhir, M.M., & Deshmukh, T. (2017). Production of biodiesel from fish waste and characterization of produced biodiesel. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(9), 1-6.
- Gorbiano, M.I. (2019, August 12). Jokowi wants 30% biodiesel in cars as soon as January next year. *The Jakarta Post*. <https://www.thejakartapost.com/news/2019/08/12/jokowi-wants-30-biodiesel-in-cars-as-soon-as-january-next-year.html>
- Hidalgo, M., & Puerta-Fernandez, E. (2017). Fermentation of glycerol by a newly discovered anaerobic bacterium: adding value to biodiesel production. *Microbial Biotechnology*, 10(3), 528–530. doi: 10.1111/1751-7915.12709
- International Renewable Energy Agency. (2018). *Renewable energy and jobs: Annual review 2018*. Retrieved from https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/May/IRENA_RE_Jobs_Annual_Review_2018.pdf
- Jumini, S. (2017). Alternative fish feed production from waste chicken feathers. *International Journal of Science and Applied Science: Conference Series*, 1(2), 144–152. doi: 10.20961/ijsascs.v1i2.5140
- Kasmiran, B. (2016). *Comparison and evaluation of the quality of fish oil and fishmeal extracted from the heads of yellowfin tuna (Thunnus albacares) and albacore tuna (Thunnus alalunga)*. Nations University Fisheries Training Programme, Iceland [final project]. Retrieved from <https://www.grocentre.is/static/gro/publication/329/document/britney16prf.pdf>
- Kharina, A., Searle, S., Rachmadini, D., Kurniawa, A.A., & Prionggo, A. (2018). *The potential economic, health and greenhouse gas benefits of incorporating used cooking oil into Indonesia's biodiesel*. Retrieved from the International Council on Clean Transportation, https://theicct.org/sites/default/files/publications/UCO_Biodiesel_Indonesia_20180919.pdf
- Kotrba, R. (2020, July 23). Pertamina to scale up renewable diesel production in Indonesia. *Biodiesel Magazine*. Retrieved from <http://www.biodieselmagazine.com/articles/2517089/pertamina-to-scale-up-renewable-diesel-production-in-indonesia>
- LeGendre, C., Logan, E., Mendel, J., & Seedial, T. (2009). *Anaerobic fermentation of glycerol to ethanol. Senior Design Reports (CBE)*. 5. Retrieved from https://repository.upenn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1004&context=cbe_sdr
- Li, Y., Qiu, Y., Zhang, X., Zhu, M., & Tan, W. (2019). Strain screening and optimization of biohydrogen production by *Enterobacter aerogenes* EB-06 from glycerol fermentation. *Bioresources and Bioprocessing*, 6, 15. doi:10.1186/s40643-019-0250-z

- Malins, C. (2017). *Waste not want not: Understanding the greenhouse gas implications of diverting waste and residual materials to biofuel production*. Retrieved from the International Council on Clean Transportation, https://theicct.org/sites/default/files/publications/Waste-not-want-not_Cerology-Consultant-Report_August2017_vF.pdf
- Manurung, R., Ramadhani, D.A., & Maisarah, S. (2017). One step transesterification process of sludge palm oil (SPO) by using deep eutectic solvent (DES) in biodiesel production. *AIP Conference Proceedings* 1855, 070004.
- Muanruka, P., Winterburn, J., & Kaewkannetra, P. (2019). A novel process for biodiesel production from sludge palm oil. *MethodsX*, 6, 2838-2844. doi: [10.1016/j.mex.2019.09.039](https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.09.039)
- Neste. (2020). *Waste and residues as raw materials*. Retrieved from <https://www.neste.com/companies/products/renewable-fuels/renewable-raw-materials/waste-and-residues>
- Nurcaya, I.A.H. (2020, May 21). Ministry of Industry center develops biological liquid waste treatment technology. *Bisnis Indonesia*. Retrieved from <https://ekonomi.bisnis.com/read/20200521/257/1243458/balai-kemenperin-kembangkan-teknologi-pengolahan-limbah-cair-biologi>
- NusaBali. (2020, November 20). Fish factory disposes of waste into river, residents protest. Retrieved from <https://www.nusabali.com/berita/792/pabrik-ikan-buang-limbah-ke-sungai-warga-protas>
- Richards, E. (2013). *Careers in biofuels*. Retrieved from the U.S. Bureau of Labor Statistics <https://www.bls.gov/green/biofuels/biofuels.htm>
- Show, K. (2008). Seafood wastewater treatment. In Jiří Klemeš, Robin Smith and Jin-Kuk Kim, (Eds.), *Handbook of water and energy management in food processing* (pp. 776-801). Woodhead Publishing. ISBN 9781845691950
- Sunpine. (2020). *Tall diesel*. Retrieved from <https://www.sunpine.se/en/produkter/talldiesel/>
- The Jakarta Post. (2019, December 12). Our country can't be pressured: Jokowi talks trade strategies. Retrieved from <https://www.thejakartapost.com/news/2019/12/12/our-country-cant-be-pressured-jokowi-talks-trade-strategies.html>
- Thomas, S. (2016). *Wastewater generation by seafood processing plants located in and around Aroor, Kerala, India: Status, characterization and treatment using stringed bed suspend bioreactor* (doctoral dissertation). Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/821b/b5ddc568fccef59a09d79165c36b7f24dc58.pdf>
- United Nations. (2020). *UN Comtrade database*. Retrieved from <https://comtrade.un.org/>
- UPM. (2020). *UPM Lappeenranta Biofuels*. Retrieved from <https://www.upm.com/businesses/upm-biofuels/>
- U.S. Department of Agriculture. (2020). *Indonesia biofuels annual report 2020*. Retrieved from https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Biofuels%20Annual_Jakarta_Indonesia_06-22-2020
- U.S. Environmental Protection Agency (2000). 40 CFR Part 112: *Oil pollution prevention and response; Non-transportation-related facilities; Final rule*. Retrieved from <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2000-06-30/pdf/00-13976.pdf>
- World Bank. (2020). *World integrated trade solution*. Retrieved from https://wits.worldbank.org/about_wits.html
- World Resources Institute. (2018). *Climate Watch*. Retrieved from <https://www.climatewatchdata.org/>
- Yasmin, N. (2020). *Indonesia launches circular economy initiative with Denmark, UNDP*. Retrieved from <https://jakartaglobe.id/business/indonesia-launches-circular-economy-initiative-with-denmark-undp/>
- Zhou, Y., Baldino, C., & Searle, S. (2020a). *Potential biomass-based diesel production in the United States by 2032*. Retrieved from the International Council on Clean Transportation, https://theicct.org/sites/default/files/publications/Potential_Biomass-Based_Diesel_US_02282020.pdf
- Zhou, Y., Searle, S., Pavlenko, N., Kristiana, T., Sudaryadi, & Amukti, R.H. (2020b). *Techno-economic analysis of cellulosic ethanol in Indonesia using palm residues*. Retrieved from the International Council on Clean Transportation, <https://theicct.org/publications/techno-economic-cellulosic-ethanol-2020>