

Potensi Lahan Marginal

untuk Pengembangan
Energi Biomassa
Berkelanjutan

Bahan
Ajar

2022

Penulis Buku:

1. Prof. Dr. Ir. Mohammad Nurcholis, M.Agr.
2. Dr. Didi Nuryadin, S.E., M.Si.
3. Gita Astyka Rahmanda, S.E., M.Si.



Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat
UPN Veteran Yogyakarta

**BUKU BAHAN AJAR:
POTENSI LAHAN MARGINAL UNTUK
PENGEMBANGAN ENERGI BIOMASSA
BERKELANJUTAN**

Penulis Buku:

1. Prof. Dr. Ir. Mohammad Nurcholis, M.Agr.
2. Dr. Didi Nuryadin, S.E., M.Si.
3. Gita Astyka Rahmanda, S.E., M.Si.

Buku Bahan Ajar: Potensi Lahan Marginal Untuk Pengembangan Energi Biomassa Berkelanjutan

Penulis : 1. Prof. Dr. Ir. Mohammad Nurcholis, M.Agr.
2. Dr. Didi Nuryadin, S.E., M.Si.
3. Gita Astyka Rahmanda, S.E., M.Si.

Penerbit:

Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat UPN Veteran Yogyakarta

Ukuran : 15 x 21 cm

ISBN : 9786233891776

Cetakan Pertama, Desember 2022

Hak Penerbitan © LPPM UPN Veteran Yogyakarta 2022

Hak Cipta dilindungi oleh Undang-Undang

Dilarang mengutip dan memperbanyak tanpa izin tertulis dari penerbit, sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apapun, baik cetak, photoprint, microfilm, dan sebagainya.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014, Tentang Hak Cipta

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga kegiatan dengan Potensi Lahan Marginal untuk Pengembangan Energi Biomassa Berkelanjutan.

Buku ini disusun dalam rangka membantu kalangan akademik dan industri memahami pemanfaatan sumber daya pertanian sebagai alternatif energi biomassa berkelanjutan. Pengembangan potensi alternatif energi biomassa di lahan marginal diharapkan mampu mendorong keberadaan energi keberlanjutan. Buku ini membahas tentang pengembangan pertanian dan energi, mulai dari potensi ketersediaan bioenergi, potensi sumber energi nabati, hingga arah kebijakan pemerintah Indonesia mengenai kendala dan tantangan pembangunan bioenergi di Indonesia. Sehingga, buku bahan ajar ini relevan dengan mata kuliah pertanian dan energi berkelanjutan yang dapat menjadi alternatif pegangan bagi mahasiswa dan dosen yang menempuh studi tersebut, namun tidak terbatas untuk penggunaan umum.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan buku ini. Kekurangan yang ada akan menjadi cambuk untuk melaksanakan perbaikan dalam penulisan buku kegiatan yang lebih baik di masa yang akan datang. Semoga buku ini

dapat memberikan manfaat bagi *civitas academica*, dosen, mahasiswa dan masyarakat di masa sekarang maupun yang akan datang.

Sleman, 22 November 2022

Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
BAB II SUMBER DAYA LAHAN	4
2.1. Pengertian Sumber Daya Lahan.....	4
2.2. Potensi Tanah Tropika	5
2.3. Pemanfaatan lahan	9
BAB III LAHAN MARGINAL.....	11
3.1. Definisi Lahan Marginal	12
3.2. Macam Lahan Marginal	12
3.3. Potensi dan Kendala Lahan Marginal	19
BAB IV TANAMAN PENGHASIL BIOFUEL	22
4.1. Prinsip Dasar Tanaman Penghasil Energi	22
4.2. Jenis Tanaman Energi	27
4.2. Jenis Bahan Bakar dari Nabati	41

BAB V ENERGY BIOMASSA DAN EMISI KARBON	43
5.1. Pemanfaatan energy dan emisi karbon.....	45
5. 2. Konsumsi energy fosil	47
5. 3. Tanaman dan serapan karbon.....	48
BAB VI PENGEMBANGAN BIOENERGY.....	50
6.1. <i>Bioenergy Crops versus Food Crops</i>	51
6.2. Bioavtur.....	54
6.3. Budidaya Tanaman Energi.....	56
BAB VII DUKUNGAN DAN KENDALA	59
7.1. Kebijakan Peraturan Perundangan	59
7.2. Preferensi pengguna.....	68
7.3. Persaingan dengan energy fosil.....	75
7.4. Pentingnya Biofuel.....	78
BAB VIII KEBERLANJUTAN	83
8.1. Transportasi Udara dan CO2	84
8.2. Mitigasi Masalah Emisi.....	85
8.3. Kebijakan.....	88
DAFTAR PUSTAKA.....	92

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Agihan jenis tanah di setiap pulau utama di Indonesia	8
Tabel 2. Klasifikasi generasi biofuel dan potensi Indonesia...	24
Tabel 3. Kebijakan Pengembangan Biodiesel di Indonesia....	59
Tabel 4. Target Kebijakan Energi Nasional Indonesia	63
Tabel 5. Keekonomian Bioavtur dari Berbagai Produksi Bahan Baku	73
Tabel 6. Sustainability Criteria Used to Evaluate Plant-Based Biofuels	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Lahan marginal pasir pantai dengan tanaman energi sorgum manis di lahan Samas Bantul	14
Gambar 2. Jarak Pagar	28
Gambar 3. Perkebunan sawit di Kalimantan Timur.....	29
Gambar 4. Kemiri sunan yang ditanam di Bantul berumur 1 tahun.....	31
Gambar 5. Pohon Kepuh yang tumbuh secara alami	32
Gambar 6. Pohon tamanu yang tumbuh di pantai pasir di Bantul	34
Gambar 7. Micro algae.....	36
Gambar 8. Attributional LCA, A system view	47
Gambar 9. Skema sistem produksi dan bidang keilmuan yang diperlukan	51
Gambar 10. Beberapa jalur (pathways) untuk produksi jet biofuel secara berkelanjutan di Brasil.....	56
Gambar 11. Rencana Pemanfaatan Biofuel dan Energi Terbarukan untuk Pesawat Terbang	68
Gambar 12. Diagram Emisi Karbon Global.....	83
Gambar 13. Diagram Siklus Hidup Karbon.....	86
Gambar 14. Produksi, Konsumsi dan Ekspor Biodiesel (2014-2021)	89

BAB I

PENDAHULUAN

Dalam era pertanian modern, semua permasalahan dalam produksi selalu dikaitkan dengan keberlanjutan. Produksi pertanian tidak hanya beorientasi pada pangan. Tetapi produk pertanian juga difokuskan dalam memproduksi serat dan energy. Disamping itu, dalam praktek pertanian juga memerlukan energy untuk menggerakkan alat dan mesin pertanian. Selama ini energi yang digunakan adalah yang berasal dari fosil. Walaupun sebenarnya pertanian sendiri, proses dasar yang terjadi secara alamiah adalah mengubah CO₂ dari atmosfer dengan H₂O yang diserap tanaman melalui akarnya menjadi senyawa organik dengan proses fotosintesis. Energi yang digunakan dalam proses fotosintesis pun berasal dari energi matahari, yang merupakan sumber energi yang luar biasa melimpah dan sepanjang masa. terbarukan. Hasil fotosintesis tersebut disimpan dalam berbagai bagian tanaman, dan merupakan sumberdaya energi. hasil mempunyai potensi untuk menghasilkan energi.

Dalam kaitannya dengan isu climate change, proses yang terjadi dalam pertanian sangat mendukung penyimpanan karbon (carbon storage). Berbagai jenis tanaman penghasil energi (bioenergy crops) yang dapat berkembang dengan baik di

wilayah tropika basah. Di wilayah ini air dan cahaya matahari sangat melimpah, sehingga pertumbuhan tanaman secara umum tidak ada pembatasnya. Dengan membudidayakan berbagai tanaman penghasil energi dapat memberikan peluang untuk menjalankan bisnis bahan bakar nabati. Hal ini mengingatkan bahwa negara dengan wilayah kepulauan sangat beragam tingkat ketersediaan bahan bakar, terutama dari fosil. Pasokan energi fosil dari sumber dan industri pengolah sampai kepada pulau-pulau kecil dan remote area memerlukan biaya besar dan energi yang sangat besar. Sehingga distribusi bahan bakar antar pulau dengan jarak tempuh yang jauh dapat meningkatkan emisi karbon dari sektor transportasi. Disamping itu transportasi laut juga terkadang terkendala oleh kondisi cuaca dan gelombang laut yang besar. Akibatnya risiko keterjangkauan pelayanan suplai bahan bakar mengalami keterlambatan atau bahkan dapat berhenti total.

Indonesia sebagai negara kepulauan di wilayah tropika basah mestinya merupakan negara yang mampu menyediakan bahan bakar nabati di setiap pulau kecil, terutama yang jauh dari pelayanan bahan bakar minyak fosil. Memang tidak perlu 100% harus dicukupi oleh bahan bakar nabati untuk setiap pulau kecil. Namun jika 30% sudah dapat disuplai dari bahan bakar nabati lokal, maka ketahanan energi dari setiap pulau kecil dapat dicapai. Disamping itu negara kepulauan memerlukan patroli keamanan yang dapat dilakukan melalui laut dan udara. Dengan ketersediaan bahan bakar di setiap pulau kecil maka dapat lebih leluasa melaksanakan tugasnya.

Biofuel berasal dari kata bio dan fuel. Fuel artinya bahan bakar, bio berarti nabati. Sehingga biofuel berarti bahan bakar

nabati. Mengapa bahan bakar nabati sekarang menjadi hal yang penting? Sejak ditemukan bahan bakar minyak yang berasal dari dalam perut bumi, ternyata dengan perkembangan waktu orang dipermudah dalam menggunakan bahan bakar ini. Bahan bakar yang berasal dari perut bumi ini dinamakan dengan minyak bumi. Sifat dari minyak bumi ini adalah terbentuk dalam proses yang terjadi di dalam bumi dan memerlukan waktu yang sangat lama, yaitu berjuta tahun. Contoh dari bahan bakar dari bumi ini adalah minyak fosil dan batubara. Bahan bakar yang berasal dari perut bumi ini secara relatif terhadap umur manusia bersifat tidak terbarukan (renewable). Dalam arti bahwa bahan bakar yang dinikmati manusia sekarang ini terbentuk dari proses jutaan tahun yang silam. Untuk memperoleh bahan bakar yang sama, secara matematis dan logika harus menunggu jutaan tahun lagi.

BAB II

SUMBER DAYA LAHAN

2.1. Pengertian Sumber Daya Lahan

Lahan mengandung sejumlah ekosistem; misalnya hutan dan sekaligus menjadi bagian dari ekosistem-ekosistem yang dikandungnya. Sehingga lahan juga disebut sebagai sumberdaya paripurna (*overall*) yaitu menyeluruh. Lahan juga merupakan konsep holistik (satu keutuhan), dinamik dan geografik (karena menyangkut kawasan). Lahan bersifat holistik karena berpangkal pada kebulatan fungsi dan struktur. Sehingga mengelola lahan tidak sebagian-sebagaian, tetapi merupakan satu kesatuan. Konsep dinamis karena hubungan fungsional dan struktural antar anasir lahan dapat berganti karena tempat dan waktu. Misalnya: tanah >< hutan, di satu tempat, dapat berbeda dengan hutan>< tanah di tempat yang lain. Tanah di hutan muda akan berbeda dengan tanah yang berkembang di hutan tua. Konsep geografis karena lahan merupakan tembereng (*segment*) terestrial. Dengan ini kawasan dapat ditampilkan secara parametris dan dapat dianalisis secara kuantitatif.

Anasir Lahan terdiri dari:

- Abiotik: tanah, atmosfer, relief, air dan gejala hidrologi, litosfer dan gejala geologi (misalnya vulkanisme).

- Biotik: biosfer, flora dan fauna alami. Sedang yang dibudidayakan termasuk antropogen.
- Antrtopogen: karena manusia mempunyai kekhususan dibanding dengan makhluk lain. Adapun hewan hanya mempunyai naluri. Misalnya burung dapat membuat sarang. Tetapi dari dulu sampai sekarang bentuk sarang akan khas untuk tiap jenis burung.

Lahan dapat dipikirkan sebagai sistem yang maujud (exist) oleh topangan berbagai reaksi antar media di kalangan gejala-gejala muka daratan: atmosfer, biosfer, hidrosfer, pedosfer dan antroposfer. Kalau salah satu hilang maka lahan menuju kerusakan. Sehubungan dengan kehidupan manusia, lahan sebagai fakta yang berpengaruh sangat penting atas penggunaan kawasan oleh manusia pada waktu kini sampai mendatang. Dengan kata lain lahan merupakan keseluruhan lingkungan hidup yang memberikan peluang bagi manusia untuk menjalani kehidupan.

2.2. Potensi Tanah Tropika

Tanah merupakan sumberdaya yang dinamis; terbentuk dari zarah-zarah mineral dengan ukuran yang berbeda (pasir, debu dan lempung), bahan organik, dan berbagai spesies dari jazad hidup; sehingga tanah mempunyai sifat fisika, kimia dan biologi, serta beberapa di antaranya bersifat dinamis dan dapat berubah dalam responnya terhadap bagaimana tanah itu diolah.

Fungsi tanah diantaranya yaitu:

- Melangsungkan aktivitas, keragaman dan produktivitas biologi

- Pengaturan dan pembagian aliran air dan larutan
- Penyaring, penyangga, perombak, immobilisasi, dan detoksifikasi bahan organik dan anorganik; termasuk hasil samping industri dan buangan atau sampah kota atau deposisi dari atmosfer
- Penyimpanan dan pendaur hara dan unsur lain dalam biosfer (dalam bumi)
- Memberikan dukungan struktur sosialekonomi dan proteksi untuk kekayaan arkeologi yang berhubungan dengan tempat tinggal manusia

Indonesia sebagai negara beriklim tropika basah mempunyai karakteristik suhu dan kelembaban tinggi. Kondisi ini menyebabkan laju pelapukan batuan berlangsung cepat dibandingkan dengan zona dengan iklim sedang atau dingin. Disamping itu sebagai negara kepulauan mempunyai ciri khas angin laut yang berhembus ke darat membawa uap air yang kemudian menjadikan sumber hujan. Permasalahan utama yang muncul dari kondisi ini adalah tingginya erosi yang menyebabkan kehilangan tanah. Disamping itu pelindian yang kuat menyebabkan hilangnya kation-kation basan dan unsur hara dari solum ke bawahnya. Pelindian ini menyebabkan terjadinya tanah-tanah dengan kejenuhan basa rendah dan ketersediaan unsur hara yang menurun. Proses ini juga menyebabkan terjadinya laju penuaan tanah sehingga tanah tropika didominasi oleh tanah dengan tingkat perkembangan lanjut. Tabel 1 menunjukkan agihan (*distribution*) tanah di Indonesia. Jenis tanah Podsolik Merah Kuning yang disetarakan dengan Ultisol seluas 47,5 juta ha (28,9%) dari luas total tanah di Indonesia (190,9 juta ha). Tanah ini dicirikan oleh pH rendah atau tanah

masam dengan kejenuhan basa yang rendah. Disamping itu ada juga dengan kejenuhan aluminium (Al) yang tinggi. Soepraptohardjo and Ismangun (1980) mengaji tanah-tanah merah di Indonesia dengan sebagai jenis tanah yang sangat mendominasi terhadap jenis tanah yang lain. Tanah-tanah ini diklasifikasikan sebagai empat (4) *great group* yaitu: Tanah Podsolik Merah Kuning (*Red Yellow Podzolics*), Latosol, Tanah Mediteran Merah Kuning (*Red Yellow Mediterranean Soils*), dan Tanah Laterit (*Lateritic Soils*). Tanah Gambut atau Organosol, atau Histosol dengan luasan 24,1 juta ha (12,6%). Tanah gambut mempunyai sifat dasar pH rendah dan rentan terhadap pemanfaatan tanah yang tidak sesuai, sehingga mudah terdegradasi.

Buringh (1979) memberikan pernyataan bahwa laju kerusakan tanah di lingkungan tropika dan subtropika berkisar 5-8 juta ha per tahun. Jenis kerusakan yang terjadi atas tanah di lingkungan ini adalah: erosi dan sedimentasi, pelindian, kekeringan yang menyebabkan terjadinya tanah gurun, dan penggaraman. Laju kerusakan tanah ini dapat dimitigasi dengan memberikan teknologi yang tepat atas jenis kerusakan yang terjadi. Pernyataan ini memberikan alarm bagi kita bahwa pemanfaatan tanah harus sesuai dengan potensinya.

Dalam usaha pengembangan biofuel, diperlukan kehati-hatian terutama dalam hal:

1. Jenis tanah yang sesuai untuk penhembangan non pangan, dan
2. Pemilihan jenis komoditas tanaman yang dapat beradaptasi di lingkungan marginal.

Tabel 1. Agihan jenis tanah di setiap pulau utama di Indonesia

No	Soil Type	USDA	Islands						Total
	Dudal & Soeprapto harjo		Java	Sumatera	Kalimantan	Sulawesi	Papua	Other Islands	
1	Red Yellow Podzolic Soils	Ultisols	325	15.950	14.525	1.494	12.001	3.231	47.526
2	Organosols	Histosols	25	6.781	6.469	0	10.875	0	24.150
3	Alluvial	Entisols	2.550	6.238	5.644	1.363	2.575	800	19.170
4	Latosols	Incrptisols/ Oxisols	2.831	6.788	4.469	2.856	356	1.082	18.382
5	Mediterranean	Alfisols	1.625	0	0	2.938	106	3.174	7.843
6	Andosols	Andisols	844	2.725	1.225	156	0	106	5.056
7	Podsosl	Spodosols	0	931	4.081	0	0	0	5.012
8	Regosols	Entisols/Inceptisols	1.431	831	150	294	0	1.201	3.907
9	Grumusol	Vertisols	1.481	0	0	56	0	263	1.800
10	Renzina	Mollisols	38	394	0	138	369	732	1.671
11	Complexes	Mostly Ultisols	2.069	6.725	17.437	9.800	15.918	4.480	56.429
Total			13.219	47.363	54.000	19.095	42.200	15.069	190.946

Sumber: Mulyadi & Soepraptohardjo

Pengembangan biofuel harus diarahkan pada tanah-tanah yang tidak diperuntukkan bagi pasokan pangan. Diperlukan penetapan luasan lahan untuk budidaya tanaman pangan. Dalam hal ini di Indonesia sudah memberlakukan UU no 41 tahun 2009 tentang Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan. Dalam UU ini mengamankan masing-masing kabupaten menetapkan lahan yang tidak boleh dimanfaatkan untuk selain produksi pangan, terutama padi. Jenis komoditas tanaman penghasil biofuel juga harus berorientasi pada tanaman yang berkesuaian terhadap lahan untuk pengembangan, dan tanah terhadap kondisi marginal, terutama kekeringan. Hal ini karena era kedepan harus menghadapi kondisi pemanasan global dengan risiko kekeringan yang tinggi.

2.3. Pemanfaatan lahan

Permasalahan di masyarakat adalah perbedaan cerapan. Hal ini berpengaruh dalam menentukan arah kebijakan dalam pemanfaatan lahan. Dengan ini pembangunan kawasan perlu asas berkeadilan (*equitable*) yang tidak banyak bertentangan dengan berbagai kepentingan. Merancang pembangunan kawasan merupakan mengatur kesinambungan reaksi-reaksi antarmuka di kalangan anasir lahan. Sehingga Tataguna lahan tidak hanya sekedar membagi ruang, tetapi hubungan antar anasir dapat diatur secara sinambung. Bentuk-bentuk reaksi: mendaur, pertukaran dan alihrupa (transformasi) dalam hal bahan dan energi.

Tujuan pembangunan kawasan tergantung pada para pemangku kepentingan (*stakeholder*) dan kebijakan strategis

ketataprajaan. Tujuan didasarkan atas diagnostik sendiri-sendiri, sehingga satu lahan baik untuk pertanian, akan tetapi belum tentu baik untuk permukiman.

Ada 4 aspek tujuan pembangunan, diantaranya yaitu:

- Keternukiman (*habitability*) bagi manusia secara layak (aspek sosial)
- Produktivitas barang, jasa atau lainnya bagi kepentingan manusia (aspek ekonomi).
- Income producing capacity bagi penduduk yang bersangkutan
- Keadaan biofisik, sosial, budaya dan ekonomi yang membuka peluang bagi pranata penataan kawasan yang bersangkutan berdasar aspek konservasi dan pemerataan.

BAB III

LAHAN MARGINAL

Perkembangan penduduk dan budaya manusia menyebabkan terjadinya pengalihan fungsi lahan, yang secara umum dari lahan bervegetasi menjadinon vegetasi. Lahan bervegetasi pada umumnya mempunyai tanah dengan ruang (*space*) terbuka. Posisi tanah berada di bagian luar permukaan bumi. Dengan semakin intensif penggunaan ruang dan lahan menyebabkan terjadi perebutan pemanfaatan lahan. Secara umum dengan dalih pembangunan maka terjadi perubahan fungsi lahan menjadi tertutup oleh bangunan sebagai salah satu hasil karya budaya. Semakin banyak okupasi lahan untuk bangunan menyebabkan penurunan persentase penggunaan lahan untuk tegakan atau vegetasi. Masing-masing pemanfaatan lahan memang secara umum sudah mendasarkan kesesuaian untuk peruntukannya yang spesifik. Namun dengan semakin diperlukannya kebutuhan areal lahan maka tidak ada pilihan dengan meningkatka intesnitas pemanfaatan untuk mengejar produktivitas. Sebagai akibatnya adalah kapasitas lahan untuk dukungan pembangunan secara umum semakin menurun. Dari fenomena ini kemudian dapat ditarik sebuah istilah lahan menjadi marginal.

3. 1. Definisi Lahan Marginal

Secara umum orang mengatakan bahwa lahan marginal adalah lahan yang mempunyai potensi dan produktifitas yang rendah. Komponen lahan terdiri atas: atmosfer (udara, iklim, musim), pedosfer (tanah), bentuk muka bumi, geologi (batuan, mineral, bahan tambang), hidrologi (air), dan biosfer (flora, fauna), Dari seluruh kacamata bidang penggunaan lahan, maka lahan marginal memang harus dilihat semua komponen tersebut. Memang sangat rumit, namun kalau kita akan memahami lahan marginal maka kesemua komponen tersebut. Kita mengatakan bahwa suatu lahan dikatakan marginal perlu dijelaskan komponen apakah yang mempunyai potensi rendah dan kemudian menyebabkan produktifitas yang rendah. Jika kita akan melakukan perbaikan maka perlu dianalisis jenis komponen apa saja yang marginal. Kemudian perlu dinilai tingkatan marginal, dan kemudian apakah dapat diperbaiki? Kemudian apakah ekonomis dalam rangka untuk memperbaiki komponen tersebut? Atau perlu penyesuaian agar usaha yang dilakukan tidak terlalu besar beban yang harus ditanggung.

3. 2. Macam Lahan Marginal

Mendasarkan komponen lahan yang sangat banyak, memang tidak dapat membuat pengklasifikasian yang sangat detail. Namun disini dibicarakan secara umum, dan lazim ditemukan di Indonesia. Dalam bahasan ini, macam lahan marginal dibedakan menjadi dua berdasarkan penyebabnya, yaitu: 1) lahan marginal alami, dan 2) lahan marginal hasil kegiatan manusia

1. Lahan Marginal Alami

Lahan marginal yang secara alami terbentuk memang hasil pembentukan tanah dengan salah satu atau lebih faktor pembentuk tanah dengan sifat kurang mendukung untuk terbentuknya tanah dalam lingkungannya yang produktif. Dengan keterbatasan tersebut menyebabkan hasil tanah yang terbentuk tidak memberikan dukungan terhadap produktivitas secara maksimal. Sebagai contoh lahan pasir pantai (Gambar 1) dengan tanaman sorgum manis yang dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik. Pembagian lahan marginal didasarkan pada kekurangan dari salah satu atau lebih faktor kendala yang dimiliki. Secara umum lahan marginal di Indonesia untuk kelompok alami ini adalah:

1. Lahan gambut tebal
2. Lahan kerangas
3. Lahan rawa
4. Lahan beriklim kering
5. Lahan tanah sulfat masam
6. Lahan pasir pantai
7. Lahan tanah garaman
8. Lahan lereng curam



Gambar 1. Lahan marginal pasir pantai dengan tanaman energi sorgum manis di lahan Samas Bantul

2. Lahan marginal kegiatan manusia

Aktivitas manusia dalam memanfaatkan lahan sebagai sumberdaya secara umum melakukan usikan terhadap salah satu atau lebih unsur lahan. Pemanfaatan lahan yang dengan melakukan perubahan bentuk dan fungsi dapat menyebabkan perubahan karakteristik lahan secara sementara atau permanen. Perubahan yang terjadi dapat berupa usikan dapat mengarah ke lateral yang bersifat lokal dan terbatas atau sangat luas, dan dampak yang ditimbulkannya adalah di lokasi perubahan dan di luar lokasi. Hal ini karena dampak yang ditimbulkan dapat terjadi “diekspor” ke lokasi lain karena misalnya aliran air atau angin. Disamping itu perngusikan juga dapat terjadi secara vertikal. Jenis usikan ini terjadi karena keinginan manusia dalam rangka mengambil dan mengekstrak material yang bernilai

secara kemanfaatan dan ekonomi untuk sebagai bahan dalam industri. Adapun material ini berada dalam lokasi di kedalaman tertentu sampai puluhan atau bahkan sampai ribuan meter. Kegiatan mengekstrak ini secara umum dinamakan penambangan dengan tiga proses, yaitu: gali, muat, dan angkut. Penambangan merupakan salah satu kegiatan dari rangkaian kegiatan dalam pertambangan.

Dalam pertambangan sudah dirumuskan rangkaian kegiatan yang harus dilakukan oleh perorangan atau perusahaan untuk memperbaiki kondisi lahan setelah proses penambangan. Penambangan yang menyebabkan terjadinya perubahan lahan secara lateral dan vertikal memerlukan penataan kembali lahan yang terusik tersebut. Penurunan fungsi dari anasir lahan dilakukan perbaikan atau ameliorasi. Rangkaian kegiatan di lahan tambang dari penataan lahan sampai lahan dapat dimanfaatkan kembali sesuai dengan rencananya dinamakan reklamasi. Adapun untuk lahan yang sudah sampai pengakhiran atau penutupan (*closure*) sehingga dapat pemanfaatan kembali sesuai rencana penutupan tambang dinamakan pasca tambang. Walaupun demikian, usaha pengembalian fungsi tersebut tidak dapat mencapai seperti keadaan semula. Dengan ini maka lahan hasil reklamasi dan atau pasca tambang ini berpotensi menghasilkan lahan marginal. Tingkat kemarginalan lahan ini tergantung pada tingkat keberhasilan mengembalikan fungsi seperti awal sebelum pelaksanaan tambang.

Kegiatan pertambangan dilakukan di Indonesia semakin intensif dalam beberapa dekade terakhir. Industri pertambangan diperlukan untuk menopang industri hilir yang sangat diperlukan untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, pembangunan,

serta peningkatan budaya manusia. Lahan marginal yang merupakan hasil kegiatan manusia secara umum ada di Indonesia adalah lahan pasca tambang. Aktifitas tambang yang semakin intensif ini menyebabkan peningkatan areal perubahan lingkungan biofisik lahan. Adapun kemarginalan lahan yang terjadi dapat berupa salah satu atau lebih:

- penurunan kesuburan tanah
- penurunan pH tanah baik yang sedikit sampai ekstrim
- munculnya material atau senyawa toksik dan atau logam berat
- penurunan kapasitas penyimpanan dan atau penyediaan air dalam tanah
- penurunan ketebalan tanah sebagai tempat berjangkarnya akar vegetasi
- perubahan lahan menjadi tubuh air karena sudah tidak dapat lagi ditutup, sebagai *void*.

Penelitian lahan tambang timah oleh rakyat di Pulau Bangka menunjukkan bahwa tailing didominasi oleh fraksi kasar yang lebih dari 90% pasir dan kadar fraksi lempung konten hanya sekitar 4-7%, dengan reaksi atau pH (H₂O) tailing berkisar antara 4,3 hingga 4,5, sedangkan pH (KCl) berkisar dari 4,1 hingga 4,3 (Nurcholis *et al.*, 2013). Perbedaan antara pH (H₂O) dengan pH (KCl) kurang dari 0,5 menunjukkan bahwatailing didominasi oleh mineral muatan variabel. Kadar C organik berkisar antara 0,22 hingga 0,32%, yang adalah sebagai sisa dari penguraian organik bahan dari tumbuh-tumbuhan yang tumbuh di masa lalusebelum penambangan. Total konten N sangat rendah, sekitar 0,02% dengan rasio C / N rendah pada 11-12%.

Ketersediaannya juga sangat rendah yaitu 4,6 hingga 5,8 ppm. Bahan tailing memiliki nilai CEC yang sangat rendah dengan akisaran 1,39 hingga 1,59 cmol (+)/kg dan dapat ditukarkation dasar (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} dan Na^{+}) juga sangatrendah. Basis saturasi berkisar dari yang rendah hingga sedang. Dengan ini perlu diperhatikan bahwa tailing itu adatelah diperiksa, ketersediaan Pb berkisar dari 0,03 hingga 0,10 ppm, yang berpotensi kontaminasi tanaman yang ditanam.

Hasil penelitian potensi produksi tambang bijih di pasir besi oleh Nurcholis dan Mulyanto (2017) menunjukkan bahwa ada peningkatan proporsi kandungan Ce dan Cr dalam residu dibandingkan dengan pasir besi asli. Peningkatan unsur Cr dan Ce dalam residu disebabkan oleh pemisahan mineral logam, terutama unsur besi (Fe) dan titan (Ti). Juga diperkirakan bahwa mereka tidak terdeteksi secara umum dalam mineral logam magnetit, hematit, ilmenit dan vanadinite. Konsentrasi Cr meningkat sebesar 400% dalam residu di disebabkan oleh konsentrasi pasir besi dan vanadinite di lokasi ini yang sangat tinggi. Konsentrasi Ce dalam residu berada di atas kerak bumi rata-rata (46 ppm). Sedangkan konsentrasi Cr pada batuan rhyolitic ± 10 ppm, 130 ppm pada batuan mafic, sedangkan 56 ppm pada *shale rocks*. Sehingga konsentrasi Cr diduga hasil analisis relatif sama dengan kandungan batuan intermediate. Ini sesuai dengan sumber bahan yang berasal dari bahan andesit gunung Merapi.

Peningkatan konsentrasi Ce dan Cr dalam residu yang membandingkan ini di pasir asli masing-masing sebesar $\pm 35\%$ dan 44% , memang perlu ditangani. Dengan ini perlu menjadi pertimbangan jika kemudian dilakukan kegiatan penambangan

dan pengolahan, yang dalam hal ini diambil dari besi dan mineral vanadinite maka residu yang dihasilkan perlu diolah lebih lanjut, yaitu mengekstraksi elemen lain sehingga residu yang dihasilkan adalah tidak mengandung unsur yang membahayakan nyawa manusia. Budidaya tanaman pangan di darat dengan bahan residu memiliki elemen penyerapan potensial seperti Ce, Cr dan As menjadi tanaman, yang kemudian ketika dikonsumsi oleh manusia berpotensi mengganggu kesehatan manusia. Solusi alternatif yang bisa dilakukan adalah dengan menanam tanaman non-pangan (*non-edible*), sehingga diambil atau dikonsumsi bukan sebagai makanan.

3. Tambang batubara

Dalam proses penambangan batubara di Indonesia secara umum dilakukan secara terbuka (*open pit mining*) dengan melakukan penggalian sampai lapisan batubara. Jika ditemukan material yang berpotensi menghasilkan asam tambang atau *potentially acid formation* (PAF) maka setelah material tersebut terekspos ke udara dan tersedia air maka bereaksi menjadi asam sulfat. Menurut Nurcholis *et al.* (2018) permasalahan pada pembentukan asam air tambang (AAT) atau disebut sebagai *acid mine drainage* (AMD) pada pertambangan batubara dapat terjadi. Dalam penelitian ini diperoleh hasil bahwa pertambangan batubara dapat menyebabkan perubahan lingkungan di lokasi penambangan dan di luar lokasi. Ada upaya perbaikan yang perlu dilakukan untuk mengendalikan terbentuknya AAT. Aplikasi bahan yang bereaksi basa, seperti kalsit (CaCO_3) atau kapur tohor (CaO) selama ini yang lazim dan umum dilakukan untuk menetralkan AMD. Namun

dibutuhkan dalam jumlah yang banyak dan lama dengan biaya besar karena harga bahan-bahan ini tinggi. Prinsip aplikasi bahan ini harus mendatangkan material dari lokasi lain yaitu penambangan batugamping (*limestone*).

Dalam rangka memanfaatkan kembali lahan hasil reklamasi dan pasca tambang perlu dilakukan analisis kesesuaian lahan secara teliti. Jika lahan sesuai untuk komoditas tertentu, namun mempunyai potensi pemunculan unsur yang membahayakan hasil produk untuk dikonsumsi oleh manusia atau ternak, maka perlu dicarikan alternatif pemanfatannya. Pemanfaatan produk secara mudah adalah untuk tidak dikonsumsi sebagai bahan pangan atau *non-edible product*. Peluang pemanfaatan yang lebih bijak adalah untuk pengembangan tanaman penghasil energi (*energy crops*).

3. 3. Potensi dan Kendala Lahan Marginal

Lahan marginal mempunyai kendala untuk dikembangkan tanaman pangan. Namun lahan ini mempunyai potensi untuk pengembangan tanaman energi, terutama yang mampu memproduksi di lahan marginal. Disamping itu perlu dipilih jenis tanaman energi yang juga dapat berfungsi sebagai perbaikan lahan, atau dinamakan tanaman konservasi.

Mendasarkan luas dan jenis lahan marginal, maka dapat dikatakan sebagai potensi. Lahan marginal diarahkan untuk pengembangan tanaman energi. Tanaman energi diusahakan dalam rangka menutup lahan yang terbuka menjadi terlindungi. Permukaan lahan yang terbuka mempunyai risiko mendapatkan energi dari luar, diantaranya:

- Pukulan air hujan menyebabkan dispersi tanah dan *sealing*
- Aliran air permukaan menyebabkan pengangkutan partikel tanah
- Energi sinar matahari menyebabkan peningkatan suhu permukaan tanah
- Hembusan angin menerbangkan partikel tanah

Dengan menutup permukaan tanah dengan tanaman energi dapat meningkatkan produktivitas lahan, diantaranya:

- Melindungi tanah di permukaan bumi
- Menyerap CO₂ menghasilkan O₂
- Menurunkan suhu permukaan bumi
- Menjaga kelembaban tanah
- Menghasilkan biomassa
- Menghasilkan energi yang *renewable* dan menyediakan tanaman penyerap emisi karbon hasil pembakaran bahan bakar

Pandangan dalam berfikir untuk pengembangan tanaman energi harus menekankan pada profit adalah benar. Namun pemikiran bahwa pengembangan tanaman energi untuk dalam rangka meningkatkan kemanfaatan (*benefit*) lahan marginal juga perlu dipertimbangkan. Hal ini karena proses pemanasan global juga terus berlangsung. Dengan meningkatkan penyerapan karbon di atmosfer dapat menghambat laju pemanasan global. Dalam hal ini tanaman energi mempunyai kemanfaatan terhadap jasa lingkungan. Valuasi jasa lingkungan ini jika dilakukan maka sebenarnya juga dapat menjadi profit.

Kendala dalam pemanfaatan lahan marginal untuk pengembangan tanaman energi ada yang bersifat intrinsik karakteristik lahan, dan dari luar atau yang bersifat kompetitif, kemauan, dan atau kebijakan. Kendala yang bersifat intrinsik dapat diatasi dengan perbaikan anasir lahan atau penyesuaian jenis komoditas tanaman energi yang dikembangkan. Disamping itu perlu pengembangan jenis tanaman secara genetis yang mampu beradaptasi terhadap lingkungan sangat membantu untuk pemanfaatan lahan marginal. Bidang pemuliaan tanaman (*plant breeding*) baik secara konvensional maupun menggunakan energi nuklir diperlukan untuk menghasilkan varietas yang mampu beradaptasi di lingkungan marginal dan berproduksi sesuai yang diinginkan.

Kendala yang dari luar faktor lahan memang banyak berhubungan dengan banyak hal. Disini peran manusia sebagai produsen atau konsumen bahan bakar sangat besar. Dari sisi produsen maka yang ditekankan adalah profit. Untuk kendala dari konsumen dapat berupa harga, kemudahan pemakaian, kebiasaan, dan permasalahan yang lain. Dalam hal kebijakan maka permasalahan bahan bakar nabati juga masih sangat rumit dalam implementasinya.

BAB IV

TANAMAN PENGHASIL

BIOFUEL

4.1. Prinsip Dasar Tanaman Penghasil Energi

Berdasarkan sumber bahan baku yang digunakan, terdapat empat generasi biofuel. Generasi pertama adalah biofuel dengan bahan baku yang berasal dari tanaman pangan. Contoh biofuel generasi pertama adalah tetes gula, kelapa dan jagung dan gula atau pati apa pun (Awudu I, Zhang J, 2012); Sikarwar VS, Zhao M, Fennell PS, et al., 2017). Karena sumber dari bahan baku generasi pertama bersaing dengan makanan, biofuel generasi pertama sering memperdebatkan apakah bahan baku ini lebih baik digunakan sebagai bahan bakar atau digunakan sebagai makanan. Untuk itu, BBM generasi kedua hingga generasi keempat dikembangkan sebagai respon terhadap kontroversi yang terjadi pada generasi pertama biofuel (Mohr A, Raman S, 2013). Bahan bakar generasi kedua adalah bahan bakar yang bersumber dari bahan baku atau lignoselulosa dan bahan non-makanan seperti residu hutan dan jerami. Bahan bakar generasi pertama telah diproduksi secara komersial secara global, tetapi bahan bakar generasi kedua masih diproduksi hanya di lima wilayah hingga 2016, yaitu AS, Cina, Kanada, UE,

dan Brasil. Biofuel generasi ketiga adalah bahan bakar yang bersumber dari Alga dan masih dalam tahap penelitian hingga saat ini (Awudu I, Zhang J, 2012). Biofuel generasi keempat menggunakan biomassa alga yang dimodifikasi secara genetik untuk meningkatkan produksi biofuel (Abdullah B, Muhammad SAFAS, Shokravi Z, et al., 2019).

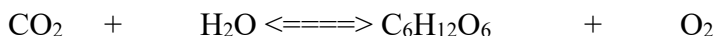
Ada beberapa jenis biofuel yang tersedia, tetapi biofuel yang sudah populer secara global adalah biodiesel dan bioetanol (Putrasari Y, Praptijanto A, Santoso WB, et al., 2016). Saat ini, biofuel yang telah berhasil dikomersialkan di Indonesia adalah biodiesel dengan bahan baku dari minyak sawit dan etanol, yang terbuat dari molase (lihat Tabel 2). Untuk biofuel yang berasal dari biomassa lain, mereka masih dalam tahap pengembangan. Sebagai contoh, pada tahun 2007, pemerintah Indonesia telah meluncurkan proyek Desa Swasembada Energi Jarak Pagar dan mengalokasikan USD 1,1 juta. Namun *Jatropha* gagal bertahan di Indonesia (Fatimah YA, 2015). Oleh karena itu, hingga saat ini penulisan biomassa lain masih dalam tahap penelitian dan pengembangan sebelum dikomersialkan.

Tabel 2. Klasifikasi generasi biofuel dan potensi Indonesia

Generasi	Deskripsi (Sikarwar VS, Zhao M, Fennell PS, et al., 2017)	Jenis Sumberdaya	Potensi Indonesia (Abdullah B, Muhammad SAFAS, Shokravi Z, et al., 2019), Kementerian PPN/Bappenas,2015)	Telah dikomersialkan di Indonesia (Kementerian PPN/Bappenas,2015))
Pertama	Berasal dari tanaman pangan	Jagung, gandum, singkong, lemak hewani, minyak kelapa sawit, tebu, kedelai, minyak kelapa sawit.	Minyak kelapa sawit, singkong, tebu, singkong, jagung, sagu, gula aren, sorgum, molase.	Minyak kelapa sawit (biodiesel), molase tebu (bioetanol).

Kedua	Hasil bumi dari tanaman non-pangan (<i>Lignocellulosic</i> biomassa dan biomassa limbah)	jarak pagar, rumput yang tumbuh cepat, tongkol jagung, jerami, sisa-sisa hutan, limbah minyak goreng	residu hutan, tebu bagasi, jerami padi, kayu keripik, rumput, Jathopra, kemiri sunan (<i>Reutealis trisperma</i>), nyamplung (<i>Calophyllum inophyllum L.</i>), pongamia, limbah minyak goreng, dll.	
Ketiga	Berasal dari ganggang dan lainnya Mikroba	Ganggang	Ganggang	
Keempat	Pengembangan generasi ketiga	fotobiologis bahan bakar surya	Ganggang	

Tanaman mempunyai ciri mampu melakukan fotosintesis, yaitu reaksi sintesis dengan bahan CO₂ dari atmosfer dengan H₂O yang secara umum berasal dari tanah. Reaksi terjadi di dalam zat hijau daun (*chlorophyl*) dan menggunakan energi foton dari matahari. Hasil fotosintesis secara umum adalah karbohidrat, dalam hal ini reaksi yang terjadi:



Hasil fotosintesis tersebut disimpan sebagai cadangan makanan bagi tumbuhan tersebut dalam berbagai bentuk dan di berbagai bagian tubuh tanaman. Dengan adanya kegiatan fotosintesis ini tanaman tumbuh dan berkembang dan meningkat massa dari tumbuhan tersebut. Sehingga dapat dikatakan bahwa massa tumbuhan tersebut dinamakan biomassa. Pertumbuhan tanaman dapat menyebabkan penambahan massa di atas permukaan dan bawah tanah. Biomassa tersebut kemudian ada yang diubah menjadi gula, minyak, atau sebagai pati (*starch*) dengan tempat penyimpanan yang beragam sesuai dengan jenis tumbuhannya. Gula dapat disimpan dalam batang misalnya di tanaman tebu dan sorgum manis (Pabendon *et al.*, 2012). Ada yang disimpan dalam bunga, misalnya aren atau kelapa (Lempang, 2012). Kandungan gula yang tinggi mempunyai potensi untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol.

Biomasa: material yang dihasilkan oleh makhluk hidup. Untuk biomasa yang berasal dari tanaman merupakan biomasa hasil fotosintesis hijau daun. Biomasa yang dihasilkan berupa minyak. Sehingga C₆H₁₂O₆ diubah oleh tanaman tersebut secara

fisiologi menjadi minyak. Hasil fotosintesis dalam bentuk minyak dapat juga sebagai bahan yang potensial untuk dijadikan bahan bakar nabati. Jenis tanaman ini diantaranya adalah: jarak pagar, kemiri sunan, nyamplung, kepuh, kelapa, dan sawit.

4.2. Jenis Tanaman Energi

Semua tanaman tingkat tinggi mampu melakukan fotosintesis yang dapat mengubah CO₂ dan H₂O menjadi biomassa. Biomassa ini dapat menjadi bahan bakar dengan proses oksidasi dengan menghasilkan energi. Namun dengan peralatan atau mesin yang memerlukan jenis bahan bakar yang khusus, maka perlu jenis senyawa spesifik. Secara umum mesin yang memerlukan bahan bakar ada 2 jenis bahan bakar yang diperlukan, yaitu bensin dan solar. Oleh karena itu biofuel yang digunakan harus dapat menggantikan atau dapat dicampur (*blending*) dengan jenis bahan bakar yang dimaksud. Bahan bakar jenis bensin dapat digantikan etanol, sedang solar dengan biodisel. Berikut jenis-jenis tanaman yang dapat memproduksi bahan baku produksi biofuel:

1. Jarak Pagar (*Jatropha curcas*)

Tanaman jarak pagar termasuk tanaman tahunan perdu, yaitu tanaman tahunan yang tumbuh dan berkembang tidak mencapai ketinggian puluhan meter. Secara alami tanaman ini dapat tumbuh sekitar 7 meter. Buah jarak pagar yang masih mudah berwarna hijau segar (Gambar 2). Biji jarak pagar mempunyai kandungan minyak yang tinggi, untuk genotype Nusa Tenggara Barat yaitu $\pm 45\%$ (Santoso dan

Purwoko, 2018) dan berpotensi untuk diproses menjadi biodiesel (Nurcholis dan Sumarsih, 2007).



Gambar 2. Jarak Pagar

Tanaman jarak pagar dapat tumbuh di lahan dengan kisaran kesuburan tanah dan iklim yang beragam. Perlu disadari bahwa tanaman jarak pagar itu seperti tanaman yang lain, yang membutuhkan unsur hara. Sehingga anggapan bahwa tanaman jarak pagar dapat tumbuh di lahan marjinal perlu dipertimbangkan. Tanaman ini dapat tumbuh, akan tetapi dengan kondisi lahan yang marjinal menyebabkan produksinya kurang optimal. Mulai dapat berproduksi mulai usia 6 bulan. Tanaman berbuah tergantung kondisi ekosistem tanaman tersebut (Nurcholis *et al.*, 2015). Produktivitas beranekaragam tergantung agroekosistem.

2. Sawit (*Oil Palm*)

Tanaman kelapa sawit termasuk dalam kelompok palmae dengan ketinggian dapat mencapai lebih dari 20 m (Gambar 3). Potensi sawit sebagai penghasil minyak adalah dari buah dan nya yang mengandung minyak sangat tinggi. Tanaman ini sejak tahun 1980 an mulai diusahakan sebagai tanaman perkebunan. Spesies sawit yang digunakan sebagai

sumber utama minyak kelapa sawit adalah *Elaeis guineensis* dari Afrika, dan kelapa sawit amerika *Elaeis oleifera* yaitu yang berasal dari Amerika Selatan dan Tengah. Buah sawit yang masak mempunyai kandungan minyak yang tinggi, yaitu 35-45% (Wenni, 2019). Menurut penelitian sujadi et al. (2016) rata-rata kadar minyak dari buah sawit mesokarp kering dari sembilan (9) varietas kelapa sawit DxP komersial di PPKS adalah 76,3%, sedang kadar minyak dari kernel kering adalah berkisar 47,1 sd 54,1%. Tujuan utama dari pengembangan kebun sawit adalah untuk penghasil minyak untuk bahan pangan. Dengan perkembangan teknologi biodiesel yang mencampurkan bahan bakar minyak terbarukan dengan minyak solar, maka pemanfaatan minyak sawit juga kemudian diperuntukkan sebagai bahan baku bahan bakar nabati. Kemudian dari kebijakan pemerintah untuk meningkatkan persentase biodiesel maka terjadi peningkatan produksi biodiesel dari minyak sawit.



Gambar 3. Perkebunan sawit di Kalimantan Timur

3. Kemiri Sunan

Kemiri sunan (*Reutealis trisperma* Blanco) merupakan tanaman penghasil biji kemiri. Namun kemiri jenis ini tidak termasuk dikonsumsi sebagai bahan pangan (Gambar 4).

Kemiri sunan termasuk yang bukan merupakan tanaman pangan sehingga pengembanan kemiri sunan tidak terpengaruh dengan adanya kontaminsi bahan berbahaya. Tanaman kemiri sunan dapat tumbuh dan berkembang di lahan marginal seperti lahan berpotensi kekeringan, juga lahan dengan solum tanah dangkal. Jenis tanaman ini mempunyai potensi sebagai tanman konservasi, yaitu untuk penghijauan lahan kering. Disamping itu mempunyai potensi untuk reklamasi lahan bekas tambang, yang arealnya sangat luas. Tanaman ini mulai berbuah sejak berumur 3 tahun sampai usia produksi yang sangat panjang, yaitu >50 tahun.

Tanaman kemiri sunan dibudidayakan dengan jarak tanam 10 m x 10 m, sehingga populasi tanaman kemiri sunan adalah 100 pohon per hektar. Tanaman ini dapat menghasilkan biji 250 kg per pohon per tahun, atau 25 ton/ha per tahun dengan kadar minyak 50 % dan dapat diolah menjadi biodiesel 12,5 ton/ha per tahun. Dalam proses pengolahan minyak kemiri sunan, menghasilkan biodiesel 80%, sehingga produksi biodiesel adalah 10 ton biodiesel per hektar per tahun.



Gambar 4. Kemiri sunan yang ditanam di Bantul berumur 1 tahun

4. Kepuh

Pohon kepuh (*Sterculia foetida* L.) termasuk famili *Malvaceae* merupakan jenis tanaman yang langka yang perlu dikeonservasi. Penyebaran tanaman ini sebenarnya sangat luas (Yuliantoro dan Siswo, 2016) meliputi: Afrika Timur, Asia Selatan, Asia Tenggara, Sumatera, Jawa, Madura, Bali, Kalimantan, Sulawesi, Nusa Tenggara, Kepulauan Maluku). Tanaman ini tumbuh dengan baik di ketinggian 10 sd 500 m dpl, dengan pertumbuhan pohon dapat menjadi besar dan tinggi. Untuk taanaman kepuh, ada yang mengatakan sebagai tanaman multi fungsi, kulitnohon untuk obat, aroma bunga berbau busuk, kulit buah untuk bahan pembuat makanan, biji dapat dipakai untuk kosmetik. Tanaman ini termasuk memang belum ada yang membudidayakan untuk tujuan tertentu. Tanaman ini tumbuh secara alami dan belum ada yang merawat secara teknologi agronomi. Menurut penelitian Metananda *et al.* (2015) tanaman kepuh berinteraksi dengan tumbuhan lain pada lokasi tertentu. di Biji kepuh ada yang memanfaatkan

sebagai bahan pewarna kerajinan wayang kulit. Gambar 5 menunjukkan tanaman kepuh yang tumbuh di puncak bukit Gunung Kelir di zona Sesar Opak di Kelurahan Pleret Bantul.



Gambar 5. Pohon Kepuh yang tumbuh secara alami

Pohon ini berada di puncak bukit, dan ditemukan mata air di bawah pohon yang oleh masyarakat setempat dibuat kolam atau sendang (istilah lokal). Walaupun musim kemarau, mata air pun tidak mati. Akar tunggang pohon kepuh sampai dalam dan akar serabut yang banyak. Berdasarkan fenomena ini maka pohon kepuh dapat dikatakan sebagai tanaman konservasi mata air (Yuliantoro dan Siswo, 2016). Kemanfaatan kepuh sebagai tanaman energi, menurut kajian *Hartono et al.* (2014). Kadar minyak dalam buah dan biji inti beragam dengan kisaran 40 sd 54%.

No	Nama Lokal	Nama Latin	Famili	Kecocokan Kondisi Batuan Dasar
1	Aren	<i>Arenga Pinnata</i>	Arecaceae	Vulkan dan Kapur
2	Gayam	<i>Inocarpus Fagifer</i>	Fabaceaea	Kapur

3	Kedawung	Parkia Roxburghi G Don	Fabaceaea	Vulkan
4	Trembesi	Samanea Saman (Jacq Mer)	Fabaceaea	Kapur
5	Beringin	Ficus Benjamina L	Moraceae	Vulkan dan Kapur
6	Elo	Ficus Glomerata	Moraceae	Vulkan dan Kapur
7	Preh	Ficus Retusa L	Moraceae	Vulkan dan Kapur
8	Bulu	Ficus Annulata	Moraceae	Vulkan dan Kapur
9	Benda	Artocarpus Elasticus Re B	Malvaceae	Kapur
10	Kepuh	Sterculia Foetada L	Malvaceae	Kapur
11	Randu	Ceiba Petandra L	Malvaceae	Kapur
12	Jambu Air	Syzygium Aequum	Myrtaceae	Kapur
13	Jambu Alas	Syzygium Picanthum	Myrtaceae	Kapur
14	Bambu	Dendrocalamus sp	Poaceae	Vulkan dan Kapur
15	Picung	Pangium Edule Reinw	Archariaceae	Kapur

5. Nyamplung (*Tamanu*)

Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* Linn) termasuk tanaman keras yang dan tumbuh dnegan baik di areal pantai

secara alami (Gambar 6). Tanaman ini termasuk familia *mangosteen*, berasal dari lingkungan Asia tropika yang secara geografis tersebar di Melanesia dan Polynesia (Dweck and Meadowsy, 2002). Tanaman ini menghasilkan buah yang mempunyai kenampakan yang hijau segar, yang banyak bermanfaat, diantaranya sebagai bahan kosmetik dengan kualitas tinggi.



Gambar 6. Pohon tamanu yang tumbuh di pantai pasir di Bantul.

Sebagai tanaman keras yang berusia panjang (lebih dari 25 tahun), nyamplung dibudidayakan dengan jarak tanam 10 meter. Nyamplung termasuk jenis anaman hutan, dan berdasarkan penelitian Basuki *et al.* (2021) termasuk yang populer dan secara efektif dikembangkan untuk restorasi landscape hutan serta untuk pengembangan energi biomassa. sekarang ini Satu pohon tamanu dapat menghasilkan buah 100kg dengan hasil minyak 18 kg. namun untuk kernel tananu dapat mempunyai kandungan minyak 75% (Dweck and Meadowsy, 2002)

6. *Coconot Plant*

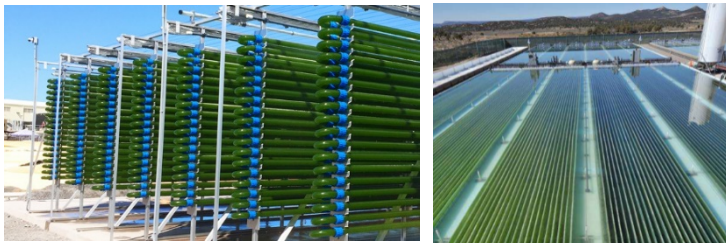
Tanaman kelapa sangat melimpah keberadaannya di seluruh wilayah kepulauan dengan iklim tropika basah seperti di Indonesia. Kelapa sudah dimanfaatkan sejak nenek moyang terdahulu sebagai tanaman untuk penghasil buah dengan kegunaan berbagai macam. Buah muda sebagai minuman penyegar dan bermanfaat untuk kesehatan. Buah yang tua dapat diekstrak dan diambil santannya untuk diproses menjadi masakan. Orang terdahulu memanfaatkan kelapa untuk diproses menjadi minyak goreng kelapa, dan diperjual belikan di pasar tradisional. Ada yang dikeringkan menjadi kopra dan dijual ke pabrik. Minyak kelapa dapat dipakai langsung untuk lentera atau dapat diubah menjadi bahan bakar nabati jenis biodisel.

Perkembangan minyak kelapa pada lima dekade akhir ini tidak menggembirakan seperti perkembangan sawit. Sebelum lima dekade yang lalu sawit belum populer, namun sekarang sudah meninggalkan kelapa untuk produksi minyak. Disamping itu kelapa sebagai jenis tanaman pangan maka perlu pertimbangan untuk dijadikan tanaman energi.

7. *Micro-algae*

Mikroalga (*micro-algae*) merupakan kelompok organisme akuatik yang beragam yang tidak memiliki struktur sel kompleks yang ditemukan pada tumbuhan tingkat tinggi (Borowitzka, 2013; Slade & Bauen, 2013). Alga ini dapat ditemukan di lingkungan yang beragam, ada

beberapa spesies tumbuh subur di air tawar, yang ada yang tumbuh di air payau dan air laut. Sebagian besar spesies adalah *fotoautotrof*, mengubah energi matahari menjadi bentuk kimia melalui fotosintesis. Permasalahan yang muncul adalah bagaimana pembudidayaan dan pemanenan serta proses selanjutnya untuk ekstraksi dan mengubah menjadi bahan bakar. Secara umum fraksi yang besar dari *micro algae* ini adalah air. Sehingga biaya yang diperlukan untuk pemanenan, yang terdiri dari *sentrifugasi*, *fraksionasi*, *flokulasi*, *filtrasi* membran, dan pemisahan secara ultrasonic (Slade & Bauen, 2013).



Gambar 7. Micro algae

8. Soybeans

Kedelai atau *soybean* dengan nama ilmiahnya adalah *Glycine max* L. adalah jenis tanaman pangan dengan kadar protein nabati yang tinggi. Di Amerika Serikat, kedelai disamping untuk bahan pangan, juga sebagai bahan pakan ternak, dan juga diolah menjadi biodiesel. Amerika Serikat dengan iklim sedang sampai dingin merupakan agroklimat yang sesuai untuk tanaman kedelai. Sebagai tanaman legume, budidaya kedelai dapat menghemat konsumsi pupuk yang mengandung nitrogen (N), seperti urea. Adanya

simbiosis mutualisme antara akar tanaman kedelai dengan bakteri *bradyrhizobium* dengan membentuk nodule. Dengan simbiosis ini maka akar tanaman kedelai dapat mendapatkan unsur N dari udara, yang ini tidak dimiliki oleh tanaman lain yang tidak bersembiosis dengan bakteri ini.

Pada tahun 1980 an sampai tahun 2000, dilakukan penelitian penggunaan langsung minyak dari kedelai untuk bahan bakar kendaraan diesel. Namun hasilnya ditemukan permasalahan pada mesin. Kemudian dengan pengolahan menjadi biodiesel, yang merupakan senyawa ester, bahan bakar ini kemudian menjadi layak untuk mesin diesel. Proses yang digunakan untuk mengubah minyak nabati ini menjadi biodiesel adalah transesterifikasi minyak ini dengan methanol atau ethanol dengan menggunakan katalis NaOH. Adapun hasil sampingnya adalah gliserin yang juga mempunyai nilai ekonomi yang tinggi. Untuk Indonesia yang masih belum swasembada kedelai sebagai komoditas tanaman pangan, maka kedelai bukan bahan baku untuk dikembangkan sebagai biodiesel.

9. *Cassava*

Ketela pohon atau singkong (*Cassava*) dengan nama ilmiah *Manihot utilisima* C. merupakan jenis tanaman semusim yang tumbuh di daerah tropika. Singkong termasuk tanaman semusim dengan pemanfaatan bagian tanamn berupa ubi yang banyak mengandung pati (*starch*). Disamping itu daun singkong juga dimanfaatkan sebagai sayuran. Ubi singkong dapat diolah menjadi etanol dengan

proses pengubahan menjadi gula dan difermentasi menjadi alkohol.

Sifat tanaman singkong dapat dibudidayakan di lahan yang marginal, dengan teknologi masukan rendah. Dengan ini maka potensi tanaman singkong untuk produksi masal etanol sangat memungkinkan. Namun perlu dipertitungkan juga permasalahan konservasi tanah dan air. Hal ini karena pembantukan ubi berada di bawah permukaan tanah. Pemanenan ubi memerlukan usaha mengeuarkan ubi ke permukaan tanah. Hal ini dapat menyebabkan pengusikan tanah, yang menyebabkan terjadinya potensi erosi. Disamping itu setiap menanam memerlukan permukaan tanah yang bersih untuk memberikan kesempatan tanaman tumbuh dan berkembang. Dalam fase ini permukaan tanah juga terbuka, sehingga dapat berpotensi terjadi erosi. Ketela pohon juga sebagai komoditas tanaman pangan, yang tidak layak untuk dikembangkan sebagai bahan baku industri bioethanol untuk bahan bakar.

10. *Sugarcane*->*molasses*

Tebu atau *sugarcane* (*Saccharum officinarum* L) merupakan jenis komoditas tanaman perkebunan penghasil gula. Tanaman tebu memang jenis komoditas tanaman industri gula yang sangat sesuai untuk lahan dengan iklim tropika basah, seperti Indonesia dan Brazil. Umur tanaman tebu sekitar sebelas bulan untuk dipanen. Namun tanaman tebu dapat diratoon setelah dipanen, sehingga umur panen berikutnya tidak perlu menunggu sampai sebelas bulan. Tebu diusahakan sebagai tanaman industri gula sudah dikembangkan sejak zaman kolonial Belanda. Pabrik gula

sangat berkembang di pulau Jawa sejak zaman tersebut. Sebagai limbah industri gula adalah tetes atau *molases* yaitu bagian gula yang sudah tidak ekonomis untuk dibuat gula kristal. Tetes ini mempunyai kadar gula yang tinggi, dan dapat disimpan dalam waktu lama. Hanya beberapa pabrik gula, tetes ini diolah menjadi etanol setelah diencerkan menjadi bahan baku dengan kadar gula yang optimum untuk proses fermentasi. Belum berkembangnya industri etanol dari tetes ini merupakan cerminan bahwa belum dimanfaatkannya etanol sebagai bahan bakar di Indonesia. Masih banyak kendala untuk pengembangan bioethanol sebagai bahan bakar dari tetes ini. Berbeda dengan negara Brazil yang sudah sejak awal abad 20 memproduksi etanol dari tebu ini untuk bahan bakar kendaraan. Bahkan sekarang ini Negara Brazil juga mengembangkan etanol dari tebu ini untuk *jet fuel* atau bioavtur.

11. *Sweet sorghum*

Secara morfologi batang tanaman sorgum manis (*Sorghum bicolor*) mirip dengan batang tanaman jagung. Di Indonesia sorgum manis masih jarang dimanfaatkan atau diolah menjadi bioetanol. Padahal, batang sorgum manis mengandung gula yang tinggi dengan angka brix sampai 18. Di Indonesia produksi tanaman sorgum masih rendah dibandingkan produksi di beberapa negara di Asia tenggara. Tanaman sorgum ini dapat tumbuh dan berproduksi walaupun dalam kondisi kekeringan dan dapat tumbuh kembali telah dipangkas batangnya (*ratoon*). Tanaman sorgum harus lebih dikembangkan di Indonesia. Sorgum merupakan komoditas alternatif untuk pangan, pakan

ternak, bioenergi, dan industri farmasi maupun kimia, yang tidak mudah terpengaruh terhadap serangan hama. Di dalamnya juga terkandung lignin, serat tinggi hingga senyawa flavonoid bagian dari antioksidan.

Secara umum sorgum mempunyai tinggi rata-rata 2,6 sampai 6 meter, tanamannya sangat mirip dengan jagung, tidak mempunyai kambium sedangkan jenis sorgum manis memiliki kambium. Jenis sorgum manis mempunyai kandungan yang tinggi pada batang gabusnya, sehingga sangat potensial untuk dijadikan sumber bahan baku gula, seperti halnya tebu. Daunnya sorgum mempunyai bentuk lurus dan panjang, biji sorgum bulat dan ujungnya mengerucut, dengan diameter lebih kurang 2mm. Satu tanaman memiliki satu tangkai buah yang mempunyai beberapa cabang buah.

Tanaman sorgum dapat ditanam sebagai tanaman monokultur, atau juga di masyarakat petani diusahakan sebagai tanaman sela pada tanaman pokok padi gogo, kedelai atau tanaman palawija lainnya. Tanaman sorgum manis dapat ditanam pada dataran rendah maupun lahan pegunungan yang dapat. Bila ditanam secara monokultur populasi tanaman per hektar sekitar 100.000 - 150.000 tanaman. Jarak tanam yang dianjurkan adalah 75 X 25 cm atau 75 X 20 cm dengan masing-masing 2 tanaman per lubang. Menurut hasil penelitian, peningkatan populasi di atas 150.000 tanaman/hektar, masih cenderung meningkat hasil walaupun tidak begitu besar.

12. Aren

Tanaman aren atau enau dengan nama ilmiah *Arenga pinata* Merr. adalah jenis *Aracaceae* (tanaman pinang-pinangan) dengan batangnya yang tidak berduri, tidak bercabang, tinggi tanaman dapat mencapai 25 meter dan diameter batang dapat mencapai 0,5 meter. Tangkai daun aren panjangnya dapat mencapai 1,5 meter, helai daun panjangnya dapat mencapai 1,45 meter. Tanaman aren dapat tumbuh di areal dataran rendah sampai pegunungan. Pada umumnya tanaman ini tumbuh secara liar, tidak dibudidayakan oleh masyarakat. Di sekitar tanaman aren juga sering ditemukan mata air. Tanaman ini mempunyai banyak kemanfaatannya dari daun untuk dibuat bahan atap, batang dapat diambil pati untuk bahan pangan, ijuk untuk berbagai kemanfaatan, buahnya untuk bahan pangan dengan nilai ekonomi tinggi, nira dari hasil penyadapan bunga untuk gula aren yang bernilai kesehatan dan ekonomi. Adapun nira yang difermentasi dapat menghasilkan bioethanol untuk bahan bakar nabati.

4.2. Jenis Bahan Bakar dari Nabati

Bahan pembuat gasohol (gasolin dari alkohol) dapat dibuat dari tebu, singkong (umbi-umbian), sagu, jagung, sorgum atau cantel. Bagaimana peluang untuk singkong dan jagung untuk pembuatan bioethanol atau gasohol?

Menurunkan produksi pangan, karena bahan yang dihasilkan dari singkong dan jagung yang seharusnya untuk bahan pangan dipakai untuk membuat bahan bakar. Bagaimana

memproduksi singkong? Produktifitas tinggi. Yang diambil umbinya, bagaimana umbi? Pohon dicabut sehingga dapat merusak struktur tanah. Pada waktu menanam, kondisi tanah harus cangkul dan lahan harus terbuka. Hal ini dapat mengakibatkan erosi tanah. Dengan demikian pengembangan lahan untuk produksi bioetanol dari singkong dapat membahayakan kelestarian tanah. Mengapa produksi singkong untuk pangan tidak membahayakan? Karena makan pokok sudah beralih ke beras, dan produksi tidak perlu diekstensifikasi dan intensifikasi. Sedang pembuatan etanol harus dalam skala besar. Di samping umbi-umbian jika digunakan sebagai bahan baku etanol harus secara besar-besaran.

BAB V

ENERGY BIOMASSA DAN EMISI KARBON

Dalam memproduksi energi biomassa dilakukan dahulu budidaya tanaman penghasil energi, yang juga sebagai penyerap CO₂. Pemanfaatan energi berbasis biomassa berarti membakar biomasa dengan melepaskan atau mengemisikan karbon ke udara. Karbon yang teremisikan ini kemudian diserap kembali oleh tanaman penghasil energi kembali. Ini berbeda dengan produksi energi fosil, yang tidak menyiapkan tanaman penyerap karbon kembali.

Koshel. P and K. McAllister (2010) mengatakan bahwa industri bahan bakar nabati (*biofuels*) di Amerika Serikat sudah tumbuh sangat pesat. Pada tahun 2000 produksi *biofuels* di AS masih 1,6 milyar gallon, kemudian pada tahun 2008 sudah mencapai 9 milyar gallon. Sebagian besar bahan baku *biofuels* adalah dari jagung. Jagung dapat dipakai sebagai bahan baku produksi etanol karena mempunyai senyawa hidrokarbon yang berupa karbohidrat. Karbohidrat yang kemudian diolah menjadi etanol dan produk pengikutnya. Mengapa Amerika memproduksi bioetanol dari jagung? Padahal jagung dapat dibuat menjadi berbagai bahan-makan dan minyak goreng.

Mengapa tidak dari singkong, tebu atau yang lainnya. Karena di Amerika bahan baku yang dapat diproduksi besar-besaran dari jagung. Hal ini dalam mengembangkan industri *biofuels* disesuaikan dengan kondisi iklim. Tanaman tebu hanya ada di Hawaii dengan iklim mendekati tropis. Di samping itu di AS bahan baku untuk industri biodiesel adalah dari kedelai dan kacang-kacangan.

Di Amerika Serikat sudah diperhitungkan pengembangan *biofuels* terutama dalam hal penyediaan air. Dalam hal ini pengembangan tanaman penghasil *biofuels* juga berhubungan dengan pemberian air untuk irigasi. Setelah hasil berupa produksi jagung, lalu permasalahan muncul dalam hal pemrosesan jagung menjadi bioetanol. Untuk fermentasi jagung harus dibuat tepung, lalu dibuat adonan yang kemudian diproses dengan fermentasi. Hasilnya berupa etanol yang masih bercampur dengan bahan lain. Kemudian proses selanjutnya dengan destilasi yang hanya mengambil etanol nya saja. Proses ini dilakukan dengan menaikkan suhu sampai 80°C, yang pada suhu ini etanol sudah menguap, sedang air perlu 100°C (Nurcholis *et al.*, 2021). Dalam proses destilasi diperlukan air untuk pendingin uap menjadi cair yang merupakan etanol murni. Produk etanol 90% dapat digunakan untuk bahan bakar kompor etanol, sedang untuk etanol kadar 99,5% dapat dicampur (*blending*) bahan bakar lain yaitu bensin untuk mesin kendaraan bermotor.

Kebutuhan air sudah diperhitungkan dan diprediksi masa yang akan datang untuk produksi jagung dan proses pemurnian etanol memerlukan air. Hal ini karena kebutuhan bahan bakar sangat besar, sehingga kebutuhan air juga sangat besar. Sisi lain

yang juga penting adalah kualitas air. Untuk memproduksi jagung dalam jumlah atau volume besar diperlukan air irigasi yang besar pula. Perlu diperhatikan bahwa kebutuhan air tidak hanya untuk pertanian biofuel, tetapi kebutuhan untuk air minum, ternak, sanitasi, dll.

Di samping itu diperlukan agrochemistry (kimia pertanian) yang berupa industri pupuk dan pestisida. Permasalahan harus dilihat dampak sampai air tanah (*groundwater*), kualitas air di pantai dan lepas pantai (*offshore*). Sehingga perlu difikirkan kualitas air di masa mendatang

5.1. Pemanfaatan energy dan emisi karbon

Perkembangan pemanfaatan bahan bakar dari perut bumi ini secara intensif itu baru sekitar 50 tahun. Setelah 50 tahun pemanfaatan bahan bakar dari bumi menyebabkan *global warming*. Lantas bagaimana pengaruhnya 50 tahu kedepan, kalau terjadi peningkatan pemanfaatan atau pembakaran bahan bakar dari perut bumi ini? Akankah suhu permukaan bumi menjadi lebih tinggi lagi? Kalau ini terjadi maka kemungkinan menyebabkan bumi bukan merupakan habitat yang sesuai bagi manusia yang nyaman. Atau akankah terjadi seleksi alam atau adaptasi yang sangat ekstrim dari manusia?

Permasalahan perubahan iklim? Kalau akan memperluas lahan pertanian maka diperlukan pembukaan hutan, yang dapat memberikan dampak dampak negatif. Sehingga kegiatan ini dapat kemungkinan akan mempercepat perubahan iklim. Hanya saja produk dari biofuel akan memperlambat pemanasan global, atau berdampak positif. Dengan ini perlu dikaji seberapa

pengaruh positif pengembangan industri biofuel terhadap penyerapan karbon dari atmosfer? Kemudian dibandingkan dengan pengaruh negatif dari pengubahan hutan menjadi lahan penghasil energi biomassa?

Mengembangkan biofuels yang penting adalah memproduksi bahan yang dapat diambil minyak atau bahan padatan yang dapat dipakai untuk bahan bakar. Bahan bakar dari padatan contohnya: kayu, sampah, jerami, tempurung kelapa, dsb. Hanya saja perlu diingta bahwa kalau berasal dari kayu dapat berpengaruh pengurangan tngakan atau pohon sehingga dapat menyebabkan pemanasan bumi. Untuk itu diperlukan usaha untuk mendapatkan bahan dari non kayu, dan merupakan limbah. Bagaiman dengan sampah? Permasalahan yang dpat terjadi dengan menggunakan sampah untuk bahan bakar dapat menimbulkan gas yang membahayakan, yang disebut dioxin. Contoh limbah pertanian yang potensial untuk biofuels misalnya: bagas (ampas tebu, batang jagung. Adapun prinsip dari pengembangan biofuels adalah dapat mereduksi emisi gas rumah kaca sampai 50% atau lebih dari sikius hidup (*lifecycle*).

Di Amerika Serikat dikenal dengan *Energy Independence and Security Act of 2007*: Sissine (2007), yang diantaranya berisi:

1. Diperlukan peningkatan volume produksi bahan bakar nabati (BBN) dan bahan lain yang terbarukan yang diperoleh dari bahan baku pembuat bioetanol dan biodiesel
2. Modifikasi definisi bahan bakar terbarukan yang mencakup bahan yang dapat mengurangi ambang batas GHG (*green house gas*). Emisi gas ini mencakup

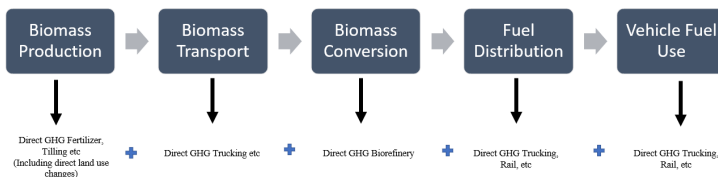
yang langsung dan tidak langsung menyebabkan perubahan tataguna lahan secara internasional

3. Membatasi penggunaan bahan pangan untuk pengembangan BBN
4. Perlu memberikan insentif bagi produsen *biofuels*

5. 2. Konsumsi energy fosil

Alur produksi sampai pemakaian BBN dan hubungannya dengan peningkatan GHG dirumuskan oleh Sheehan (2009):

1. Produksi biomasa menyebabkan perubahan hutan menjadi non hutan, dan memerlukan pengolahan tanah dan penambahan pupuk. Proses ini dapat meningkatkan GHG.
2. Transportasi biomasa memerlukan truk pengangkut dan dapat menyebabkan penambahan GHG
3. Konversi biomasa menjadi BBN juga memerlukan bahan bakar, sehingga dapat meninfgkatkan GHG
4. Distribusi BBN juga memerlukan pengangkutan dan meningkatkan GHG
5. Pemakai juga meningkatkan GHG



Gambar 8. Attributional LCA, A system view
(Sheehan, 2009)

5. 3. Tanaman dan serapan karbon

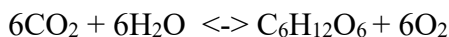
Ada permasalahan lain mengenai bahan bakar dari perut bumi ini, yaitu pembakaran bahan bakar tersebut yang sebenarnya mengubah senyawa organik, terutama dari bahan bakar fosil menjadi CO_2 dan H_2O . Secara akumulatif proses pembakaran menyebabkan pemanasan permukaan bumi. Kemudian CO_2 yang dihasilkan menyelimuti permukaan bumi. Sehingga terjadi penutupan atmosfer oleh CO_2 tersebut. Hasil dari pembakaran menyebabkan kenaikan suhu udara. Penyelimutan CO_2 menyebabkan emisi panas dari bumi juga terhambat. Proses yang berlangsung puluhan tahun ini menyebabkan peningkatan suhu udara di muka bumi. Sehingga sekarang ini terkenal dengan adanya pemanasan global (*global warming*).

Perlu juga difikirkan dengan jumlah penduduk yang semakin bertambah dan memerlukan ruang sebagai habitat dan aktifitasnya. Ada kecenderungan manusia memanfaatkan lahan untuk dipakai dalam aktivitas hidupnya. Kecenderungan masyarakat moderen semakin mengurangi tumbuhan di sekitarnya karena dinilai tumbuhan mengganggu kemudahan beraktivitas. Hal ini dapat dilihat untuk kawasan perkotaan jumlah vegetasi atau pepohonan semakin sedikit. Sebaliknya produksi CO_2 semakin tinggi sebagai hasil dari pemanfaatan bahan bakar. Vegetasi dalam aktivitasnya selalu memanfaatkan CO_2 untuk kebutuhan fotosintesis. Sehingga suhu udara di kawasan perkotaan lebih tinggi daripada di perdesaan.

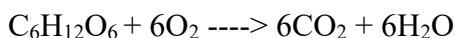
Konsep mengenai pengembangan biofuel adalah memproduksi bahan bakar yang berasal dari hasil fotosintesis tumbuhan. Dengan ini CO_2 hasil dari pembakaran akan diserap

oleh tumbuhan penghasil bahan bakar. Atau orang akan memperoleh dan memanfaatkan bahan bakar harus menanam tumbuhan dahulu. Sehingga hasil pembakaran yang berupa CO₂ langsung diserap oleh tanaman lagi. Konsep ini dapat juga disebut sebagai konsep emisi nol (*zero emission*). Kalau konsep ini dapat dilaksanakan maka selimut CO₂ di udara dapat dikurangi atau bahkan dapat dihilangkan.

Fotosintesis:



Pembakaran:



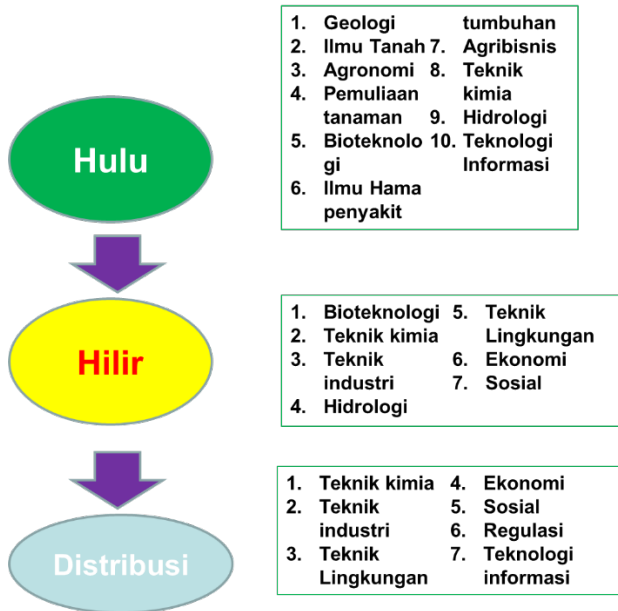
Sekarang pengembangan *biofuels* sudah dimulai dari negara-negara maju. Negara yang sedang berkembang masih mengandalkan kelimpahan bahan bakar fosil dari perut bumi yang sifatnya tidak terbarukan dan emisi CO₂ yang dihasilkan tidak ada yang memanfaatkan (dalam hal ini tumbuhan). Sehingga apabila manusia ingin hidup di bumi atau bumi sebagai habitat yang nyaman dan berlanjut perlu pengembangan *biofuels*.

BAB VI

PENGEMBANGAN BIOENERGY

Pengembangan bioenergi perlu direncanakan untuk sistem produksi dan distribusi sampai ke konsumen (Gambar 9). Sistem produksi ada dua kegiatan yaitu hulu dan hilir. Kegiatan hulu diperlukan perencanaan dengan mempertimbangkan bidang geologi, tanah, hidrologi, agronomi (produksi), pemuliaan tanaman, bioteknologi, hama penyakit tumbuhan, agribisnis, teknik kimia, dan teknologi informasi.

Untuk hilirisasi diperlukan bidang bioteknologi, teknik kimia, teknik industri, hidrologi, teknik lingkungan, ekonomi dan sosial. Untuk distribusi bioenergi ke konsumen diperlukan bidang: teknik kimia, teknik industri, teknik lingkungan, ekonomi, sosial, regulasi, dan teknologi informasi.



Gambar 9. Skema sistem produksi dan bidang keilmuan yang diperlukan

6.1. *Bioenergy Crops versus Food Crops*

Permasalahan yang menghantui dunia di era sekarang dan yang akan datang adalah kebutuhan air, pangan, dan energi. Ketiganya seharusnya tidak saling bersaing. Lahan di bumi tidak bertambah, namun yang terjadi adalah terjadinya pengurangan karena pemanfaatan lahan banyak ditujukan untuk keperluan pembangunan. Pembangunan selalu memerlukan ruang (*space*) dan menempati areal lahan. Dengan perkembangan ilmu pengetahuan menyebabkan perubahan budaya dari era dan bentuk lama menjadi moderen. Seiring dengan ini kemudian terjadi peningkatan jenis dan jumlah infrastruktur, yang juga

memerlukan ruang. Sebagai konsekuensinya adalah terjadi okupasi lahan yang secara umum mengubah lahan yang dapat dibudidaya untuk menumbuhkan vegetasi menjadi bangunan. Di sisi lain pertumbuhan populasi manusia juga semakin besar dan memerlukan tambahan pasokan pangan.

Pengembangan *bioenergy* secara prinsip adalah menumbuhkan vegetasi di lahan, dan ini memerlukan lahan. Sehingga dalam pengembangan energi biomasa diperlukan pertimbangan:

1. Lahan untuk produksi pangan dan penggunaan lain
2. Kebutuhan air untuk keperluan rumah tangga, fasilitas publik, dan penggunaan lain
3. Kebutuhan air untuk irigasi
4. Kebutuhan air untuk pengolahan
5. Residu untuk perbaikan tanah
6. Pengangkutan biomassa dari sumber ke pengolahan memerlukan biaya besar, karena kandungan energi rendah
7. Perubahan pola pikir dari minyak bumi ke BBN dari para pelaku bisnis

Berdasarkan kegunaannya secara umum bahan bakar nabati ada dua macam. Bahan bakar pengganti solar, adalah biodisel, sedang bahan bakar pengganti premium adalah bioetanol. Sekarang ini ada pengembangan yang lebih luas. Bahan bakar nabati tidak hanya dalam bentuk minyak, akan tetapi juga dalam bentuk padatan dan gas. Dalam bentuk padatan sekarang dikembangkan briket dari bahan baku nabati, misalnya dari sampah organik, hasil tanaman yang dibuat briket, misalnya dari buah jarak pagar. Buah jarak pagar dapat dibuat briket

dengan mencampur bahan-bahan lain. Hal ini karena sulit memproses buah jarak menjadi minyak. Diperlukan energi yang besar dalam mengekstrak minyak dari buah jarak pagar. Atau biji jarak langsung dipakai sebagai bahan bakar. Bahan bakar terbarukan yang berbentuk gas adalah biogas. Biogas dapat dipakai untuk mesin penggerak generator listrik.

Contoh penggunaan biogas untuk ternak sapi. Dari kotoran sapi dipakai membuat biogas. Hasil biogas dapat dipakai untuk penerangan (lampu petromax), gas sebagai pengganti minyak tanah. Atau dengan biogas dapat dipakai bahan bakar penggerak generator listrik. Lalu biogas juga untuk membuat air hangat untuk keperluan makanan sapi, dan untuk sapi perah dipakai membuat air hangat untuk membersihkan ambing. Disamping itu gas untuk memanaskan susu dalam rangka pasteurisasi. Sehingga ternak sapi akan bebas biaya untuk listrik dan bahan bakar minyak untuk pemanas.

Minyak jarak atau minyak kelapa yang dipakai untuk memproduksi biokerosin. Biokerosin adalah minyak tanah (minyak bakar) yang dibuat dari biofuel berasal dari minyak jarak atau minyak kelapa. Pohon kelapa, yang menghasilkan kelapa, langsung diperas dan minyaknya dipakai untuk bahan bakar nabati, maka dapat mensuplai kebutuhan minyak solar, disebut sebagai cocobiodisel. Bahan bakar ini dapat dipakai untuk mesin-mesin stasioner (yang tidak bergerak). Contoh mesin stasioner: pembangkit listrik, penggiling gabah menjadi beras, mesin industri atau pabrik.

6.2. Bioavtur

Bahan bakar untuk pesawat terbang adalah avtur atau *aviation turbine*. Selama ini avtur merupakan bahan bakar dari fraksi minyak bumi dengan komponen utama senyawa hidrokarbon parafin (C10 sampai C14).

Era sekarang semua aspek kehidupan didorong untuk semua berperilaku ramah lingkungan. Industri penerbangan juga mempunyai komitmen untuk mengurangi emisi karbon sebagai gas rumah kaca. IATA (*International Air Transport Association*) mempunyai strategi mengurangi gas buang sebesar 50% dari tahun 2005 sampai dengan 2050. Dengan mendorong produksi bioavtur dengan sistem *drop in* maka dapat mempermudah mencapai target tersebut. Industri bioavtur dapat dikembangkan dengan lokasi yang lebih fleksibel. Dengan membangun industri di lokasi pengisian bioavtur maka tidak memerlukan energi untuk mengangkut bahan bakar dari lokasi pabrik ke lokasi pengisian.

Secara global, maskapai penerbangan telah membentuk komunitas pengguna bahan bakar penerbangan yang berkelanjutan yaitu Sustainable Aviation Fuel Users Group (SAFUG), yaitu organisasi yang berfokus pada percepatan pengembangan dan komersialisasi biofuel penerbangan yang berkelanjutan (Brazil B.I., 2013).

Indonesia sebagai negara penghasil sawit yang besar mempunyai potensi untuk memproduksi bioavtur. Berdasarkan metode *Analytical Hierarkhi Process* (AHP), menunjukkan bahwa minyak sawit adalah bahan baku yang paling potensial,

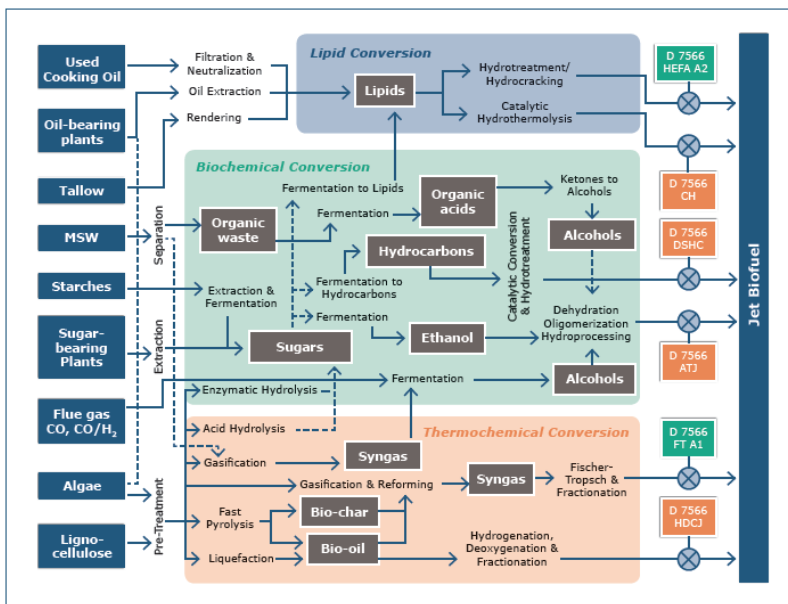
dan kemudian disusul oleh biomassa (Siswahyu & Hendrawati, 2014).

Negara yang sangat terkenal dalam menggunakan bahan bakar nabati sebagai sumber energi mesin penggerak adalah Brasil. Semenjak abad 20 Brasil menggunakan bioetanol sebagai bahan bakar untuk mesin kendaraan. Mulai awal abad 21, Brasil bertekad menggunakan biofuels untuk bidang penerbangan. Sejak tahun 2013 dicanangkan antara 20 sampai dengan 40 tahun diproyeksikan untuk mengganti *jet fuels* dari fosil dengan bioavtur.

Dalam pengembangan jet fuels dari nabati, Brazil telah mencanangkan program produksi bioavtur (Gambar 10), dengan bahan baku sebagai berikut:

- Minyak goreng bekas
- Tanaman penghasil minyak
- Lemak (*tallow*)
- Msw (*municipal solid waste*)
- Pati (*starches*)
- Tanaman penghasil gula
- *Algae*
- *Lignin cellulose*

Masing-masing bahan tersebut sudah dirancang jalur-jalurnya untuk sampai pada produk *jet biofuels*.



Gambar 10. Beberapa jalur (*pathways*) untuk produksi jet *biofuel* secara berkelanjutan di Brasil

keterangan: HEFA – hydroprocessed Esters and Fatty Acids; CH – Catalytic hydrothermolysis; DSHC – direct fermentation of Sugars to Hydrocarbons; ATJ – Alcohol to Jet; FT – Fischer-Tropsch hydroprocessed synthesized paraffinic kerosene; HDCJ – hydrotreated depolymerized Cellulosic to Jet

Sumber: BRAZIL, B. I. (2013).

6.3. Budidaya Tanaman Energi

Tumpangsari tanaman serealia seperti sorgum dibawah tegakan kayu putih sangat menguntungkan. Tanaman sorgum lebih agresif dan competitive, sehingga menyumbangkan keuntungan pada *land equivalent ratio* total dan *area time*

equivalent ratio dan *actual yeild loss* total pada kawasan tanaman kayu putih.

Komoditas sorgum yang ditanam dibawah tegakan dan sebagai tanaman sela mempunyai beberapa keunggulan antara lain: dapat dipanen 3 – 4 kali dalam satu tahun; mempunyai daerah adaptasi yang sangat luas; toleransi yang lebih baik terhadap kekeringan dan tahan terhadap genangan air; serta mempunyai resiko gagal panen akibat hama dan penyakit yang relatif kecil.

1. Produktivitas Biomassa Primer, Potensi Hasil Saat Ini, Ketersediaan Air dan Lahan

Kegiatan dan teknologi dalam rantai produksi biofuels:

Kegiatan Produksi Feedstock:

- Kecenderungan perubahan tataguna lahan
- Kecenderungan perubahan rotasi tanaman dan munculnya tanaman baru
- Kecenderungan pemanfaatan GMO (*genetically modified organsms*) untuk mendapatkan tanaman yang berproduksi tinggi dalm hal biomasa
- Kecenderungan pemanfaatan irigasi, pemupukan dan pestisida

2. Pemanenan, Logistik, dan Pengiriman Biomassa

Kegiatan logistik feedstock:

- Kecenderungan pemanenan dan penyimpanan sisa produk pertanian
- Transportasi feedstock

Kegiatan dalam produksi biofuel:

- Kegiatan integrasi teknologi konversi dalam hal termokimia, biokimia, biologi, kimia
- Penggunaan GMO untuk proses biokimia
- Produksi BBN, tenaga dan kimia untuk operasional pabrik
- Membutuhkan lahan dan infrastruktur
- Produksi co-product, contohnya gliserol, DDG dan limbah

Distribusi BBN:

- Penggunaan pipa atau alat transport
- Penyimpanan: infrastruktur tanki dan pencegahan bahan yang tidak kompatibel
- Pembangunan infrastruktur baru

Pemakai:

- Mencari formula berpa konsentrasi untuk etanol, biodisel atau bahan lain. Contohnya B5 itu biodisel 5% dan solar 95%, atau B10, B30 dll
- Keragaman dalam hal kemauan adopsi teknologi dan distribusi (geografis)

BAB VII

DUKUNGAN DAN KENDALA

7.1. Kebijakan Peraturan Perundangan

Pada tahun 2006, Presiden Republik Indonesia mengeluarkan Instruksi Presiden (Inpres) No.1 tentang penyediaan dan aplikasi biofuel atau Bahan Bakar Nabati (BBN) sehubungan dengan yang lain bahan bakar (Inpres No.1 Tahun 2006). Untuk memperkuat instruksi tersebut, pemerintah mengeluarkan Peraturan Presiden No.5 Tahun 2006 yang secara resmi mempromosikan penggunaan biofuel domestik dan menetapkan target 5% untuk proporsi penggunaan etanol dan biodiesel dalam konsumsi energi nasional pada tahun 2025 (Perpres No.5 Tahun 2006). Ringkasan dokumen kebijakan pengembangan biodiesel di Indonesia ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kebijakan Pengembangan Biodiesel di Indonesia

Tahun	Kebijakan	Konten Utama
2006	Instruksi Presiden No.1	Penyediaan dan pemanfaatan biofuel sebagai bahan bakar lain

2006	Peraturan Presiden No.5	Target biofuel sebesar 5% untuk proporsi etanol dan penggunaan biodiesel dalam konsumsi energi nasional pada tahun 2025
2007	Undang Undang No.30	Prioritas penyediaan dan pemanfaatan baru dan terbarukan energi, salah satunya adalah biofuel
2008	Permen ESDM No.32	Pemanfaatan wajib biofuel dalam transportasi, sektor industri, komersial dan pembangkit listrik
2013	Permen ESDM No.25 Tahun 2013, No.20 Tahun 2014 dan No.12 Tahun 2015	Perubahan pertama, kedua dan ketiga atas peraturan Menteri ESDM No. 32 tahun 2008 tentang kewajiban industri sektor tertentu/ wajib menggunakan biodiesel dan bioetanol sebagai campuran bahan bakar dengan campuran tertentu dari tahun 2015 hingga 2025

2014	Peraturan pemerintah No.79	The EBT target in 2025 is 23% of the national energy mix, and biofuel is targeted at 26% of the EBT target.
2015	Keputusan Menteri ESDM No 0726K/12/MEM/2015	Roadmap penggunaan biodiesel, bioetanol, bioavtur. Penentuan indeks harga pasar biofuel dicampur ke dalam jenis bahan bakar tertentu dan jenis bahan bakar khusus.
2015	Peraturan Presiden No.61	Pembentukan Badan Dana Perkebunan Kelapa Sawit Indonesia (Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit/BPDPKS)
2018	Peraturan Menteri ESDM No.41	Penyediaan, pemanfaatan bahan bakar biodiesel yang dibiayai oleh Indonesia <i>Oil Palm Estate Fund</i> .

Dalam rangka mendukung pertumbuhan energi terbarukan, pemerintah mengeluarkan Peraturan No.30 Tahun 2007 tentang penyediaan dan pemanfaatan energi baru dan terbarukan, termasuk biofuel. Pada tahun 2008, Kementerian

ESDM mengeluarkan arahan yang mengatur tentang campuran biofuel selama periode 2008-2025 melalui Peraturan Menteri ESDM No.32 Tahun 2008. Peraturan tersebut menetapkan volume minimum biofuel yang digunakan di sektor transportasi, industri dan komersial, serta untuk pembangkit listrik. Konsumsi global energi terbarukan meningkat. Untuk itu, berdasarkan Peraturan Pemerintah No.79 tahun 2014, Indonesia menargetkan peningkatan 23% dalam proporsi energi terbarukan dalam produksi energi nasional, dengan 26% disediakan oleh biofuel. Dalam rangka menjaga stabilitas harga biofuel, pada tahun 2014 pemerintah mengeluarkan Keputusan Menteri ESDM mengenai penentuan Harga Indeks Pasar (HIP) untuk biofuel yang dicampur dengan minyak yang berasal dari fosil. Antara 2013 dan 2015, amandemen dibuat untuk Peraturan pemerintah No. 32 tahun 2008 yang mengatur jumlah minimum biofuel yang dapat dicampur dengan bahan bakar fosil [46–48]. Kebijakan mengenai penggunaan biofuel diperkenalkan pada tahun 2006 dengan B2.5 dan dihentikan pada tahun 2013 dengan B7.5. Pada tahun 2014, kebijakan penerbitan B10 dan dilanjutkan dengan B15 selama tahun berikutnya.

1. Rencana Umum Energi Nasional (RUEN)

Pada tahun 2017, Pemerintah Indonesia (Pemerintah Indonesia) merilis Rencana Umum Energi Nasional (secara lokal dikenal sebagai RUEN). RUEN adalah perpanjangan kebijakan energi nasional, yang memiliki target seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. Selain itu, prospek energi nasional Indonesia setiap tahun dirilis oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.

Tabel 4. Target Kebijakan Energi Nasional Indonesia

Target	2015	2020	2025	2050
Energi primer (MTOE)			400	1000
Energi Primer (TOE/capita)			1.4	3.2
Pembangkit Listrik (GW)			115	430
Konsumsi Listrik (kWh/capita)			2500	7000
Elastisitas Energi (%)			< 1	
Pengurangan Intensitas Energi Akhir (% per year)	1	1	1	1
Bauran Energi Nasional:				
Energi Terbarukan (%)			> 23	> 31
Minyak (%)			< 25	< 20
Batubara (%)			> 30	> 25
Gas Alam (%)			> 22	> 24
Rasio Elektrifikasi (%)	85	100		

Pada tahun 2018, pemerintah mengeluarkan Peraturan Menteri ESDM No.41 yang mengatur tentang penyediaan dan pemanfaatan biofuel biodiesel. Dekrit ini menetapkan kewajiban entitas komersial di semua sektor ekonomi untuk menggunakan B20 dan sanksi bagi mereka yang tidak mematuhi. Selanjutnya, pada tahun yang sama, pemerintah mempercepat implementasi mixing

directive dari 2,5% pada tahun 2013 menjadi 10% pada tahun 2014 melalui Peraturan Menteri ESDM No. 25. Inisiatif ini mengakibatkan kegagalan pemenuhan target pemerintah padahal penggunaan biodiesel di Indonesia telah meningkat secara signifikan dari tahun ke tahun. Penurunan konsumsi biodiesel yang digunakan sematamata untuk transportasi terjadi pada tahun 2015. Penurunan ini karena kebijakan tersebut diterapkan karena melemahnya harga minyak dunia sehingga harga biodiesel menjadi tidak kompetitif.

2. Arah Kebijakan

Arah kebijakan energi nasional ke depan adalah transisi dari energi fosil ke Energi Baru Terbarukan (EBT) sebagai energi yang lebih bersih, memiliki emisi minimal, dan ramah lingkungan. Hal ini sejalan dengan komitmen Indonesia terhadap Paris Agreement, yaitu pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK) sesuai dengan Nationally Determined Contributions/NDC pada tahun 2030 sebesar 29% dari Business as Usual (BaU) dengan kemampuannya sendiri dan 41% dengan bantuan internasional. Sektor energi diperkirakan akan mengurangi emisi sebesar 314 - 446 juta ton CO₂e (setara karbon dioksida). Aksi mitigasi yang berperan terbesar dalam upaya penurunan emisi GRK di sektor energi adalah pengembangan EBT.

Salah satu strategi yang didorong untuk mempercepat implementasi EBT dan mengurangi emisi gas rumah kaca adalah dengan mensubstitusi energi primer dan final pada teknologi yang ada. Salah satu upaya yang saat ini sedang dilakukan Pemerintah adalah dengan mengurangi emisi di

sektor transportasi, baik darat maupun udara, dengan menggunakan biodiesel dan bioavtur sebagai bahan bakar pesawat, yang telah berhasil melakukan uji terbang pada Bulan Oktober 2021 yang lalu. Pada sub sektor transportasi darat, melalui program mandatori B₃₀, dimana manfaatnya cukup besar dalam mencapai target EBT dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) melalui Peraturan Menteri ESDM Nomor 12 Tahun 2015 telah mengatur kewajiban mencampurkan biofuel dalam bahan bakar avtur dengan persentase 3% pada tahun 2020, dan pada tahun 2025 akan meningkat menjadi 5%.

Sektor transportasi udara berkontribusi 2% dari total emisi CO₂ global dan diperkirakan akan meningkat di masa depan. Hal ini tentunya memberikan kontribusi yang signifikan terhadap isu pemanasan global dan perubahan iklim serta keberlangsungan bisnis penerbangan. Oleh karena itu, merupakan tanggung jawab bersama untuk membantu mencegah atau memperlambat dampak negatif dari emisi gas rumah kaca, termasuk di bidang transportasi udara. Untuk itu melalui Keputusan Menteri Perhubungan Tahun 2013 tentang Rencana Aksi Nasional Gas Rumah Kaca dan Keputusan Menteri ESDM Tahun 2015 tentang Penyediaan, Pemanfaatan dan Perdagangan Biofuel, telah ditetapkan rencana penggunaan campuran bioavtur di sektor transportasi udara mulai dari 2% dari tahun 2016, 3% dari 2020 dan 5% dari 2025.

Pengembangan bioavtur merupakan isu strategis tidak hanya di dalam negeri tetapi juga di dalam negeri, hal ini

membutuhkan proses teknis yang panjang dan koordinasi yang tak ada habisnya untuk meyakinkan para pemangku kepentingan mengingat ini merupakan terobosan baru di Indonesia untuk sektor penerbangan. Indonesia telah berkomitmen dalam forum internasional dan nasional untuk melakukan upaya yang diperlukan dalam hal mitigasi perubahan iklim dan pengurangan emisi. seperti diketahui bahwa pada Juli 2021, Indonesia telah menetapkan target yang lebih ambisius dalam NDC dan Strategi Jangka Panjang untuk Rendah Karbon dan Tahan Iklim 2050 yang diperbarui.

Pengembangan biofuel akan menurunkan polusi udara karena sebelum memanfaatkan BBM, kita sudah siapkan tanaman yang mengabsorpsi gas buang berupa CO ataupun CO₂. Dengan memanfaatkan bahan dari tumbuhan, maka masyarakat akan terlepas dari ketergantungan ketersediaan BBM atau gas dari pabrik atau pemerintah. Di samping itu dengan program-program pengalihan bahan bakar dari minyak ke gas, akan tidak menyebabkan keguncangan di masyarakat. Atau dengan meningkatnya harga pasaran dunia, masyarakat dapat memenuhi sendiri, sehingga tidak mengalami keguncangan ekonomi. Untuk industri, harga BBM adalah harga nonsubsidi, sehingga pemakaian BBM nabati akan dapat mengurangi biaya produksi. BBM nabati merupakan EBT energi baru terbarukan, sehingga keersediaan tidak menunggu jutaan tahun.

3. Kebijakan Energi Nasional

Sesuai dengan Keputusan Presiden Nomor 5 Tahun 2006, Kebijakan Energi Nasional, yang dikenal sebagai

"Skenario Bauran Energi Nasional", ditetapkan pada tahun 2025 penggunaan energi dari biofuel yang diperkirakan akan mencapai 5%, setara dengan 4,7 juta kiloliter. Tarif ini setara dengan 22,26 juta kiloliter biofuel, yang akan pasokan biodiesel sebesar 10,22 juta kiloliter. Kebijakan Energi Nasional yang dirumuskan secara berkala (dalam waktu 10 tahun), dimulai pada tahun 1981, 1987, 1991, 2003, dan berikutnya. Saat ini, Nasional kebijakan energi tertuang dalam Keputusan Menteri ESDM selaku Ketua Badan Koordinasi Energi Nasional tentang Manajemen Energi Nasional 2005-2015.

Pemerintah telah menetapkan kebijakan tentang penggunaan biofuel (biodiesel, bioetanol, minyak nabati murni, bioavtur) untuk substitusi bahan bakar minyak. Namun, belum ada kebijakan yang mengatur bioavtur. Sedangkan Regulasi Biodiesel dapat dilihat pada Tabel 3. Direktorat Jenderal Energi Baru, Konservasi Energi Terbarukan dan Energi membentuk Satuan Tugas Biofuel penerbangan dan Energi Terbarukan (ABRETF), yang terdiri dari berbagai maskapai penerbangan, universitas, dan pusat penelitian. Program ABRETF dapat dilihat pada Gambar 11.

Programs	Mid-Term (RPJMN)			Long-Term (RPJP)					
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Pengembangan kebijakan dan regulasi	Rumusan kebijakan, strategi, sistem, prosedur dan regulasi								
Pengembangan sistem, database dan kapasitas sumberdaya manusia	Basis data, metode perhitungan emisi dan peningkatan kapasitas sumberdaya manusia								
Konservasi energi bahan bakar fosil dan penggunaan biofuel untuk penerbangan		Studi, riset dan pengembangan			Uji Coba	Penggunaan Biofuel 2%			
							Penggunaan Biofuel 3%		
Pemanfaatan EBT untuk kelistrikan bandara		Studi dan riset		Penggunaan 7.5 MW EBT di 20 bandara					

Gambar 11. Rencana Pemanfaatan Biofuel dan Energi Terbarukan untuk Pesawat Terbang

7.2. Preferensi pengguna

Perkembangan teknologi untuk mengeksplorasi, eksploitasi, pemrosesan dan pendistribusian serta pemakaian bahan bakar dari perut bumi ini sudah lanjut (*advance*). Sehingga manusia sudah sangat mudah dalam menggunakan bahan bakar untuk keperluan rumah tangga, industri, jasa dan juga bisnis. Walaupun demikian kenyamanan ini tidak serta merta dapat dinikmati. Diperlukan penelitian dan pengembangan dengan waktu yang lama serta aplikasi dari teknologi ini. Orang zaman sekarang hanya dengan menekan tombol maka bahan bakar langsung dapat dipakai secara cepat dan aman. Hanya saja kegiatan riset dan pengembangan teknologi ini hanya dilakukan oleh negara-negara yang sudah maju. Hasilnya diekspor ke negara-negara yang sedang berkembang. Di samping itu sifat manusia dari negara yang

sedang berkembang hanya bersifat konsumtif. Orang lebih senang memakai teknologi yang sudah ada, walaupun teknologi tersebut masih diimpor. Sehingga budaya menggantungkan kepada kemajuan teknologi dari asing sangat tinggi.

Konsumsi avtur Indonesia pada tahun 2014 mencapai 4,2 juta kiloliter (KL) sedangkan produksi dari kilang dalam negeri hanya mencapai 3,3 juta KL, sehingga neraca komoditas Avtur mencatat defisit 0,9 juta KL. Situasi ini tidak menguntungkan bagi negara, baik secara ekonomi maupun ketahanan energi. Salah satu peluang untuk mengatasi defisit komoditas Avtur adalah menggunakan bioavtur. Bioavtur yang dihasilkan oleh teknologi hidrogenesis, yaitu membelah komponen minyak nabati dengan hidrogen. Trigliserida tak jenuh (komponen minyak sayur) terhidrogenasi menjadi asam lemak jenuh dan propana (C_3H_8). Lemak jenuh asam adalah dekarboksilasi ulang dan terhidrogenasi menjadi hidrokarbon.

Dibandingkan dengan Avtur diproduksi dari kilang minyak bumi, bioavtur memiliki keunggulan yang lebih ramah lingkungan, serta pelumasan dan sifat mesin pembersih (sehingga mempengaruhi kinerja mesin). Namun, meskipun tidak memerlukan modifikasi pada kendaraan bahan bakar mesin, bioavtur memiliki kecenderungan untuk membeku lebih cepat, dan konsumsi spesifik (jumlah penggunaan untuk kinerja yang sama) lebih besar 4, 5% hingga 6, 0%.

Di luar negeri, banyak upaya telah telah dibuat bioavtur dari beberapa jenis minyak nabati, seperti minyak jarak, minyak camelina, dan mikroalga minyak. Kenaikan harga avtur adalah salah satu alasan mengapa maskapai akan mulai terlihat bioavtur sebagai bahan bakar alternatif. Kombinasi dari faktor-faktor ini

menyebabkan pengembangan proses untuk konversi lemak hewani, minyak nabati dan biomassa menjadi hidrokarbon parafin yang dapat memanfaatkan pirolisis yang ada, hydrotreatment dan teknologi cracking yang sudah ada di kilang minyak bumi (ÉcoRessources Consultants, 2012).

Tes pertama dilakukan pada pesawat terbang dari São José dos Campos ke Brasília menggunakan biokerosene murni (tidak ada mineral tambahan minyak tanah tradisional) yang disebut cent. Seames dan Aulich (2008) dengan teknologi proses sintesis bioavtur menggunakan bahan baku minyak kedelai dan minyak canola. Sementara, McCall et al. (2009) menggunakan bahan baku minyak kedelai olahan (Refined bleached deodorised / RBD) dan Bradin (2011) dengan bahan baku minyak kedelai mentah, minyak kedelai murni, minyak jagung, minyak rapseed, dan minyak biji kapas.

Perusahaan biofuel dari Brasil bekerja sama dengan NASA dan Boeing pada tahun 2006 untuk mengembangkan bahan bakar pesawat dalam bentuk biokerosene yang disebut jet biofuel menggunakan reaksi transesterifikasi. Keberhasilan pengembangan nabati teknologi bahan bakar diikuti oleh beberapa maskapai penerbangan lain yang sukses. Industri penerbangan secara aktif mencari pengganti bahan bakar jet konvensional melalui penggunaan biofuel. Air New Zealand dan Continental Airlines baru-baru ini melakukan dua tes yang sukses penerbangan (Air New Zealand, 2008; ATW, 2009). Selanjutnya, Virgin Atlantic (2008) melaporkan keberhasilan penerbangan uji coba menggunakan biofuel. Untuk saat ini biofuel lebih merupakan masalah bagi industri penerbangan karena masalah dengan FAME. Produksi bahan bakar bio-jet

sejauh ini hanya untuk tujuan penelitian dan jauh dari pada skala industri.

Di Indonesia, sumber mentah bahan bioavtur cukup beragam, tetapi berdasarkan ketersediaan, minyak inti sawit dan daging kelapa adalah kandidat potensial. Saat ini, Indonesia merupakan negara penghasil minyak sawit terbesar di dunia; Crude Palm Oil (CPO) produksi minyak sawit nasional pada tahun 2014, mencapai 29,5 juta ton dan diperkirakan akan mencapai 61,06 juta ton pada tahun 2030. Lokasi bioavtur produksi CPO adalah pulau-pulau yang merupakan pusat produksi tanaman kelapa sawit, yaitu Sumatera dan Kalimantan. Sementara itu minyak juga berpotensi untuk digunakan sebagai bioavtur bahan baku. Keunggulan kelapa dibandingkan CPO adalah 98% dari luas areal adalah perkebunan rakyat. Namun konsumsi kelapa segar dan variasi produksi minyak di dalam negeri sangat tinggi sehingga produksi untuk Crude Coconut Oil (CCO) hanya 700-800 ton/tahun.

Penelitian telah dilakukan oleh berbagai lembaga seperti Pertamina, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Institut Migas (Indonesia: Lembaga Minyak dan Gas Bumi (Lemigas), dan perguruan tinggi untuk mempelajari pembuatan dan pemanfaatannya bioavtur sebagai pengganti atau campuran Avtur untuk bahan bakar pesawat. Kementerian Perhubungan menargetkan konsumsi bioavtur sebesar 2% dari seluruh pasokan bahan bakar penerbangan dapat direalisasikan pada tahun 2016 untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Program Bioavtur untuk pesawat juga telah menjadi prioritas Dirjen Energi Baru terbarukan dan Konservasi Energi (Indonesia: Energi Baru dan Terbarukan dan Konservasi Energi

(EBT-KE)). Penetrasi pengguna bioavtur dilakukan secara bertahap dan diharapkan dapat mengurangi konsumsi bahan bakar (diversifikasi energi), meningkatkan ketahanan energi nasional dan mengurangi emisi gas rumah kaca sebagai ketahanan energi Faktor.

1. Bahan Bakar Jet (Avtur)

Avtur atau Jet Fuel atau ATF (Aviation Turbine Fuel) adalah bahan bakar pesawat terbang dengan mesin turbin gas. Jenis avtur yang paling umum digunakan untuk maskapai komersial adalah Jet A dan JetA1. Jenis lain bahan bakar jet adalah Jet-B adalah digunakan untuk cuaca dingin. Avtur adalah campuran hidrokarbon ringan dengan jumlah rantai destillate karbon dibatasi oleh persyaratan produk seperti titik beku atau titik asap. Avtur tipe minyak tanah (termasuk Jet A dan Jet-A1) memiliki jumlah rantai atom karbon antara 8 dan 16 (atom karbon per molekul); sedangkan nafta tipe Avtur (termasuk Jet-B), memiliki jumlah rantai atom karbon antara 5 dan 15. Bahan bakar yang dominan adalah bahan bakar jet berasal dari minyak mentah karena digunakan di semua pesawat besar. Bahan bakar jet hampir secara eksklusif diekstraksi dari fraksi minyak tanah minyak mentah, yang penyulingan antara fraksi bensin dan fraksi diesel. IEA telah memperkirakan bahwa total produksi kilang dunia pada tahun 2006 sebesar 3861 juta ton (Mt). Bagian bahan bakar penerbangan adalah 6,3%, menyiratkan produksi bahan bakar penerbangan tahunan sebesar 243 Mt (sesuai dengan sekitar 5 Mb/d), termasuk bahan bakar jet dan bensin penerbangan (IEA, 2008).

2. Keekonomian Avtur

Hampir semua bahan bakar jet saat ini adalah diproduksi dari minyak mentah (Liu, Yan, & Chen, 2013). Persentase yang relatif kecil dibuat dari tiga sumber yang tidak konvensional minyak bumi—pasir minyak Kanada, VHO Venezuela, dan serpih minyak (Liu, Yan, & Chen, 2013; Panjang, dkk. al., 2007; Jiang, dkk., 2008; Al-Otoom, dkk. al., 2009; Kok dan Pamir, 2000). Bahan bakar alternatif adalah masa depan industri penerbangan saat ini (Blakey, Rye, & Wilson, 2011).

Industri penerbangan dapat mengharapkan potensi bahan bakar alternatif kepentingan lingkungan pengurangan emisi gas rumah kaca dan siklus hidup ekonomi yang bermanfaat dengan peningkatan ketersediaan bahan bakar dan biaya bahan bakar lebih rendah (Bailis dan Bake, 2010). Studi ekonomi bioavtur dilakukan di luar negeri dengan berbagai macam bahan baku untuk menghasilkan angka-angka yang disajikan pada tabel di bawah ini:

Tabel 5. Keekonomian Bioavtur dari Berbagai Produksi Bahan Baku

	Pongamia	Sugarcane	Algae
Total Capital Investment (\$M)	\$506	\$259	\$3,451
Annual Operating Cost (\$M)	\$303	\$253	\$984
Facility--dependent Costs ^{1,2}	31.93%	18.84%	84.17%
Raw Materials ¹	57.86%	70.89%	10.11%

Utilities ¹	5.56%	8.13%	4.43%
Labor Cost ¹	4.53%	2.14%	1.25%
Consumables ¹	0.12%	0.01%	0.04%
The minimum sale price (\$/bbl)	\$373.68	\$301.35	\$1,343.18

¹ As percentage of annual operating cost

² Facility-dependent costs include depreciation, maintenance, insurance and overhead

Bahan baku tebu menunjukkan biaya per barel lebih rendah dari Pongamia dan ganggang. Mulai tahun 2016 setiap liter Avtur harus dicampur dengan 2% biofuel atau bioavtur. Namun, dengan harga bahan bakar pesawat bioavtur lebih mahal daripada Avtur. Di Indonesia, perhitungan biaya bioavtur tanaman minyak masih kira-kira. Menurut Heru Setiawan (Vice President Corporate Strategic Planning Pertamina Company), proses ini sekitar 70-80% dari harga CPO. Sebagian besar produk minyak bumi yang dapat didasarkan pada biofuel terbarukan karena minyak lebih mahal daripada konvensional. Dengan biofuel mix hanya 2% tidak memberatkan maskapai dan penumpang sebagai end user. Saat ini harga avtur bergerak dibanderol dengan tarif rata-rata USD 12.000/liter hingga Rp 15.000/liter, sedangkan harga CPO lebih mahal dari harga BBM, maka harga CPO lebih mahal dari harga BBM, maka harga bioavtur lebih dari Rp 15.000 per liter. Hal itu tentu akan menjadi beban bagi maskapai penerbangan. Dengan biaya operasional maskapai penerbangan 30% - 40% untuk bahan bakar, harganya adalah bioavtur yang lebih mahal 20% -30% dari harga bahan bakar jet biasa.

3. Bioavtur untuk Lingkungan

Boeing memperkirakan bahwa biofuel dapat mengurangi gas rumah kaca emisi sebesar 60 hingga 80 persen. Mulai tahun 2016, pemerintah Indonesia memberlakukan aturan wajib untuk mencampur 2% minyak berbasis biofuel menjadi Avtur. Menurut Garuda Indonesia Perusahaan Airlines, gunakan bioavtur hanya membantu mengurangi gas buang dan menghemat penggunaan bahan bakar. Menurut Novianto, Direktur Operasional Garuda Indonesia Airlines Company, meskipun tidak ada penghematan biaya, tetapi emisi gas buang CO₂ dan sulfur adalah berkurang lebih banyak hampir 50%. Semua jenis pesawat yang menggunakan bahan bakar jenis bioavtur umumnya spesifikasi lebih baik daripada Avtur.

7.3. Persaingan dengan energy fosil

Energi adalah kebutuhan dasar manusia yang tanpanya ekonomi nasional tidak dapat berkembang karena tidak ada barang dan jasa yang dapat diproduksi atau diangkut antar lokasi. Sumber energi dikategorikan menjadi dua jenis; yakni tidak terbarukan dan terbarukan. Energi tidak terbarukan berasal dari bahan bakar fosil dan mineral alami. Adapun energi terbarukan bersumber dari energi matahari, panas bumi, angin dan biomassa. Masyarakat modern sangat bergantung pada energi tak terbarukan. Hingga akhir 2017, penggunaan energi terbarukan secara global diperkirakan sebesar 26,5%, dan ini telah meningkat sebesar 5% karena penggunaan energi terbarukan pada tahun 2016 hanya 20,5% dari total konsumsi

energi (REN21, 2018). Kita dapat melihat bahwa penggunaan energi terbarukan masih sangat sedikit dibandingkan dengan energi fosil. Di sisi lain, produksi minyak bumi menurun, misalnya di Indonesia, pertumbuhan penduduk membutuhkan peningkatan pola konsumsi, tetapi selama sepuluh tahun terakhir peningkatan produksi sebesar 1 juta barel per hari pada tahun 2006 menjadi 737 ribu barel per hari pada tahun 2016 atau meningkat 26,3% (*Secretariat General of Indonesian National Energy Council*, 2017). Karena bahan bakar fosil akan habis di masa depan, umat manusia terpaksa mencari sumber energi alternatif. Oleh karena itu, meningkatkan eksploitasi energi terbarukan merupakan tujuan ekonomi utama bagi setiap negara.

Indonesia juga menargetkan persentase penggunaan energi terbarukan secara total energi yang digunakan. Peraturan Pemerintah No.79 (2014) menetapkan bahwa energi terbarukan nasional konsumsi harus meningkat menjadi 23% pada tahun 2025, dengan 26% dari energi terbarukan tersebut dihasilkan dari biofuel yang bersumber dari sumber organik (Government regulation No.79 of 2014). Selain mempromosikan ketahanan energi, pengembangan energi terbarukan di Indonesia sejalan dengan Perjanjian COP21 tahun 2016, yang ditandatangani di Paris, yang berupaya mengurangi emisi karbon, mengganti bahan bakar fosil dengan sumber energi terbarukan dan menerapkan inisiatif lanjutan yang membahas masalah pemanasan global (Masripatin N, 2017). Di bawah ketentuan perjanjian tersebut, Indonesia berkomitmen untuk memperkenalkan langkah-langkah yang dirancang untuk mengurangi emisi. Salah satu inisiatif pemerintah tersebut adalah dengan menerapkan kebijakan terkait eksploitasi energi terbarukan yang dihasilkan dari biomassa.

Untuk mencapai target persentase penggunaan energi terbarukan, pemerintah telah menerapkan kebijakan yang diamanatkan penggunaan energi terbarukan sejak tahun 2006 berupa penggunaan biodiesel dan bioetanol sebagai campuran bahan bakar minyak. Salah satu kebijakan yang diperkenalkan pemerintah tahun 2018 mengesahkan penggunaan campuran bahan bakar biofuel dan solar, khususnya pemanfaatan biodiesel 20% sebagai campuran dengan bahan bakar diesel di semua sektor pengguna bahan bakar fosil (B₂0). Biodiesel adalah bahan bakar mesin diesel yang terbuat dari sumber daya nabati. Produk komersial dari biodiesel dari minyak sawit dan sumber generasi pertama lainnya adalah disebut FAME (Asam Lemak Metil Ester) (Soerawidjaja TH, 2013). Intervensi pemerintah seperti itu didorong karena dari daya saing harga biofuel yang buruk vis-à-vis dari bahan bakar fosil (Moncada JA, Junginger M, Lukszo Z, et al, 2017). Kebijakan ini dinilai menawarkan banyak keuntungan bagi sektor ekonomi dan sosial di Indonesia, salah satunya biodiesel yang diproduksi di dalam negeri melibatkan pengolahan minyak sawit, bahan baku asli. Kebijakan mandatori B₂0 berdampak signifikan dalam konsumsi biodiesel karena dari total konsumsi energi, 30% konsumsi berasal dari sektor transportasi (Sukarno I, Matsumoto H, Susanti L, 2016). Pada tahun 2018, total konsumsi minyak diesel di Indonesia untuk sektor transportasi sekitar 32000 KL (USDA, 2019). Oleh karena itu, komponen wajib biodiesel 20% ini akan meningkatkan permintaan minyak sawit, sekaligus meningkatkan kesejahteraan produsen dalam negerinya.

7.4. Pentingnya Biofuel

Pentingnya penggunaan biofuel selain menipisnya energi fosil, juga dengan pemanfaatan energi fosil di sektor transportasi dan industri yang dapat menyebabkan lebih banyak emisi di udara dibandingkan dengan penggunaan biofuel. Penggunaan bahan bakar fosil yang dominan telah menyebabkan risiko pemanasan global yang muncul, efek rumah kaca dan penipisan ozon (Gürel AE, Ağbulut Ü, Ergün A, et al., 2019). Karena penggunaan energi fosil menghasilkan gas buang berbahaya yang telah menyebabkan jutaan orang menderita penyakit parah seperti kanker, masalah pernapasan, dll., Pengurangan bahan bakar fosil akan secara langsung mempengaruhi kesehatan manusia (Ağbulut Ü, Sarıdemir S, 2019; Haines A, McMichael AJ, Epstein PR, 2000). Jelas, ada kebutuhan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil karena pemanfaatan biodiesel dapat menyebabkan pengurangan emisi yang signifikan terhadap kualitas udara. Biodiesel adalah pilihan bahan bakar alternatif yang lebih baik karena sifat fungsinya yang serupa dengan bahan bakar diesel, terbarukan dan dapat diproduksi secara langsung dan ramah lingkungan. Selanjutnya, biofuel akan meningkatkan kualitas bahan bakar ketika dicampur dengan bahan bakar konvensional (Hao H, Liu Z, Zhao F, et al. 2018).

Secara keseluruhan, kebijakan yang ada memiliki banyak keunggulan di Indonesia. Namun, selama masa depan implementasi, kebijakan yang dikembangkan cenderung menghadapi banyak tantangan dan peluang. Ada kebutuhan mendesak dalam menilai kelayakan kebijakan biodiesel dan faktor-faktor yang membuat kebijakan ini berhasil. Selain

kebutuhan mendesak untuk memenuhi target pembaruan biodiesel, ada beberapa masalah teknis terkait proyeksi implementasi kebijakan mandatori biodiesel. Dengan tujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut, dilakukan tinjauan komprehensif terhadap pengembangan biodiesel di Indonesia. Oleh karena itu, penelitian ini akan mengulas sejarah penggunaan biodiesel di Indonesia, kebijakan terbaru inisiatif, pengembangan sektor kelapa sawit, status penggunaan biodiesel saat ini, dan akhirnya tantangan dan peluang yang ada di depan.

Di tingkat global, 66 negara telah menerapkan kebijakan pencampuran biofuel dan fosil bahan bakar: 14 di Amerika, 12 di kawasan Asia Pasifik, 11 di Afrika dan Samudra Hindia, serta dua anggota non-UE di Eropa. Indonesia merupakan salah satu negara yang menerapkan kebijakan ini dengan tujuan untuk mendorong penggunaan energi terbarukan di dalam negeri.

Kebijakan pemerintah Indonesia tentang penggunaan energi terbarukan sejak tahun 2006 berupa penggunaan biodiesel dan bioetanol sebagai campuran bahan bakar minyak telah menjadi topik penelitian yang dilakukan untuk mendukung kebijakan tersebut. Beberapa penelitian melakukan penelitian untuk melihat peluang untuk mencapai target dan skenario pemerintah untuk mencapainya. Putrasari et al. (2016) pesimis bahwa target pemerintah Indonesia sebesar 5% konsumsi biodiesel dari total konsumsi energi nasional pada tahun 2025 dapat tercapai mengingat pada periode 2006 hingga 2016 pengembangan biofuel Indonesia belum berkembang dengan baik. Sebuah studi oleh Rahmadi et al. (2013) menyatakan bahwa target Indonesia untuk memiliki setidaknya 5% biofuel dari total bauran energi primer pada tahun 2025 dapat dicapai

dengan maksimum alternatif pencampuran berdasarkan pertumbuhan permintaan energi konstan sebesar 6%. Mayasari dkk. (2019) menghitung proyeksi produksi biodiesel di Indonesia untuk mencapai wajib nasional dan menunjukkan bahwa ada tiga skenario untuk meningkatkan produksi biodiesel: lahan budidaya kelapa sawit, produktivitas minyak sawit dan CPO olahan bersama. Dengan analisis yang berbeda, studi oleh Sukarno et al. (2016) dan Widyaparaga et al. (2020) merekomendasikan bahwa untuk memenuhi target nasional dan pengurangan minyak, salah satu contoh kebijakan yang dapat kita terapkan adalah menerapkan kebijakan pensiun kendaraan.

Penelitian telah mulai berfokus pada biofuel generasi kedua dan ketiga. Namun, biodiesel di Indonesia masih berasal dari pembangkit generasi pertama, yaitu kelapa sawit, di mana negara ini merupakan produsen global terbesar. Kritik keras yang dilontarkan di sektor kelapa sawit berfokus pada perluasan perkebunan, alih fungsi lahan dan dampak negatif di kawasan hilangnya keanekaragaman hayati, ancaman terhadap ketahanan pangan dan kerusakan ekosistem. Bahkan, bersama Malaysia, Indonesia menyumbang 85% dari produksi minyak sawit global (Varkkey H, Tyson A, Choiruzzad SAB, 2018). Namun, peningkatan produksi minyak sawit yang dicapai melalui perluasan di area lahan pertanian masih menjadi bahan perdebatan. Rulli et al. (2019) menyatakan dampak negatif dari sejumlah besar penggunaan lahan untuk biodiesel. Mereka mengukur dampak dari meningkatnya penggunaan lahan untuk perkebunan kelapa sawit sebagai sarana untuk memenuhi permintaan biofuel, bahan pangan, dan komoditas lainnya melalui indikator seperti deforestasi, emisi karbon yang dihasilkan dari perubahan penggunaan lahan dan polusi udara

yang disebabkan oleh pupuk. Penelitian ini menyimpulkan bahwa peningkatan emisi CO₂ dan pencemaran air bersih disebabkan oleh meningkatnya permintaan minyak sawit. Sejalan dengan penelitian itu. Nugroho dan Zhu (2019) berpendapat bahwa menggunakan minyak sawit sebagai bahan baku biodiesel tidak berkelanjutan karena bersaing dengan permintaan rumah tangga.

Untuk menjawab tantangan mengenai penggunaan lahan untuk biodiesel generasi pertama, beberapa peneliti mulai mencari bahan baku biodiesel yang bersumber dari generasi kedua atau generasi ketiga dengan studi kasus di Indonesia. Baik pemanfaatan biomassa sebagai biofuel maupun eksploitasi sumber potensialnya di Indonesia semakin menjadi bahan penyelidikan. Nugroho dan Zhu (2019) melakukan studi kasus rantai pasok yang berkaitan dengan biofuel yang bersumber dari jerami padi dan limbah minyak goreng di Indonesia. Khalil et al. (2019) menyelidiki potensi produksi biogas dari kotoran hewan dan menyimpulkan bahwa sumber bahan baku biogas yang prospektif terdiri dari: kotoran ternak, rumen dan darah atau materi lain yang berasal dari unggas yang disembelih. Astuti dan Mufrodia (2019) melakukan penelitian pemanfaatan limbah minyak goreng menjadi biodiesel. Sasmita (2019) melakukan pilot project di suatu wilayah di Indonesia untuk mengembangkan pabrik Kemiri Sunan sebagai bahan baku biodiesel. Soegiantoro et al. (2019) menggunakan limbah minyak goreng dan lemak ayam sebagai bahan baku biodiesel. Namun, kajian yang telah dilakukan masih dalam tahap penelitian dan pengembangan dan belum memasuki tahap komersialisasi.

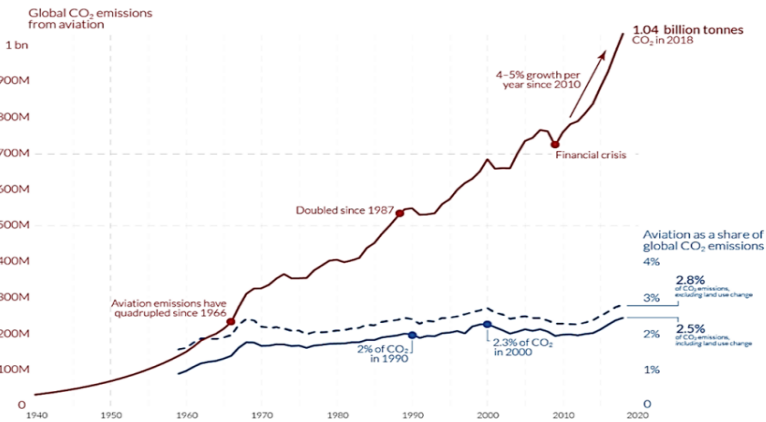
Pada tahun 2018, sebagai tanggapan atas dugaan dampak lingkungan akibat alokasi lahan untuk perkebunan kelapa sawit, Pemerintah Indonesia memberlakukan moratorium penerbitan izin. Kebijakan tersebut merupakan instruksi untuk mengevaluasi efektivitas izin tersebut dalam meningkatkan produktivitas perkebunan kelapa sawit. Penting untuk meningkatkan kualitas minyak sawit dan teknologi yang digunakan untuk memenuhi permintaan domestik yang terus meningkat tanpa meningkatkan jumlah lahan yang dialokasikan untuk perkebunan. Penelitian Afriyanti et al. (2016) untuk memenuhi permintaan minyak sawit selama periode hingga 2050 menyimpulkan bahwa, bahkan tanpa penebangan intensif dan konversi lahan gambut menjadi perkebunan kelapa sawit, Indonesia mampu memenuhi proyeksi permintaan di wilayah Asia. Lebih lanjut, Harahap dan Khatidawa (2019) menginvestigasi peluang untuk meningkatkan daya saing industri biodiesel berbasis kelapa sawit di Indonesia dengan mengkonfigurasi sistem produksi biodiesel (Harahap F, Silveira S, Khatiwada D, 2019) agar kebutuhan biodiesel dapat terpenuhi tanpa perluasan lahan hutan.

Sejarah program pemerintah, insentif keuangan dan otorisasi resmi campuran biofuel untuk pengembangan biodiesel di sektor transportasi di Indonesia akan dirangkum dalam bagian ini.

BAB VIII

KEBERLANJUTAN

Perjalanan udara adalah sarana transportasi penting bagi banyak orang. Penerbangan umumnya cepat, nyaman, dan sepadan dengan investasi untuk frequent flyer; namun, karena emisi CO₂ global terus meningkat, pandangan menyeluruh ke dalam keberlanjutan industri dan dampak lingkungan dijamin.



Gambar 12. Diagram Emisi Karbon Global

Sumber: *Our World in Data*

Maskapai penerbangan berdampak pada perekonomian dan memiliki tanggung jawab transportasi global. Perjalanan udara global saja menyumbang 2,5 persen dari semua emisi CO₂

(Gambar 12); bagian yang sangat besar mengingat ini hanya mewakili satu alat transportasi. Pada tingkat ini, PBB memprediksi bahwa industri penerbangan akan mengeluarkan 12% dari anggaran karbon global sebesar 1,5 derajat Celcius pada tahun 2050. Jika industri terus mengandalkan bahan bakar fosil, pengeluaran ini akan meningkat menjadi 27%.

8.1. Transportasi Udara dan CO₂

Emisi CO₂ dan gas rumah kaca yang dilepaskan oleh pesawat menyebabkan banyak efek lingkungan yang merugikan. Dalam semangat pengambilan perspektif dan berjuang melawan keinginan untuk bencana, ada solusi potensial yang dapat mengurangi efek paling ekstrem ini: Biofuel berkelanjutan.

Sebelum membahas solusi, penting untuk mengatasi bahwa krisis iklim saat ini bukanlah pertama kalinya Bumi menghangat dan mengkatalisasi respons atmosfer yang intens, kepunahan, dan konsekuensi serupa. Perbedaan penting dalam periode pemanasan saat ini, bagaimanapun, adalah bahwa persentase kerusakan yang cukup besar sekarang merupakan hasil dari aktivitas manusia. Namun demikian, Bumi secara historis telah melewati siklus pemanasan dan pendinginan alami. Fakta ini tidak dimaksudkan untuk berargumen bahwa peningkatan emisi tidak merusak iklim; mereka adalah. Namun, emisi ini juga disebabkan oleh manusia: Krisis iklim secara konseptual dapat dikurangi, sampai batas tertentu, oleh populasi yang sama yang menyimpannya.

Mungkin mudah untuk menjelek-jelekkan tindakan peningkatan emisi tertentu, termasuk perjalanan maskapai

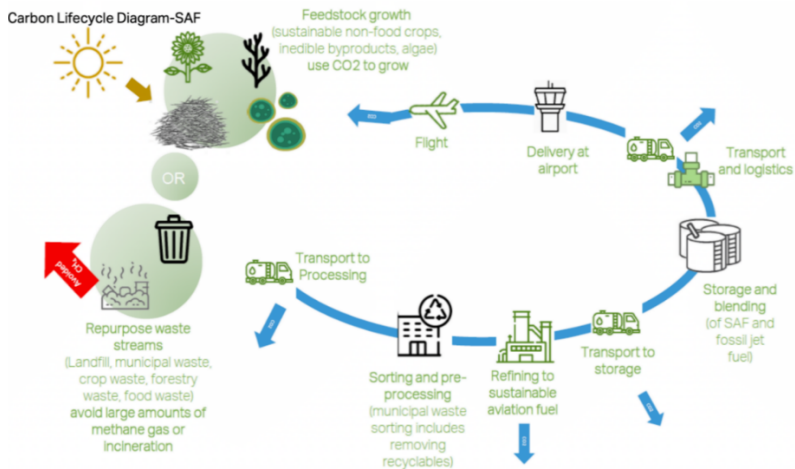
penerbangan. Industri penerbangan itu sendiri telah berada di bawah pengawasan ketat karena efek negatifnya terhadap iklim. Industri ini, bagaimanapun, menghadapi tantangan sulit untuk menyediakan transportasi yang nyaman dan memperluas pembangunan ekonomi dan perdagangan global sambil juga mempertimbangkan insentif berkelanjutan.

8.2. Mitigasi Masalah Emisi

Biofuel berkelanjutan mungkin terbukti membantu dalam mengurangi negativitas drastis perjalanan udara sambil tetap menawarkan manfaat yang dibanggakan oleh moda transportasi ini. Sementara bahan bakar fosil tetap menjadi sumber daya yang paling menonjol bagi industri penerbangan digunakan terutama dalam bentuk Jet A, Jet B, dan AvGas—biofuel semakin mendapatkan traksi sebagai sumber bahan bakar alternatif atau aditif mesin yang mengurangi emisi. Biofuel adalah subjek dari bidang penelitian yang luas dan abadi dan dikategorikan ke dalam beberapa 'generasi'. Generasi pertama biofuel terbuat dari bahan baku seperti etanol dan biodiesel (masing-masing terbuat dari gula dan jagung) dan digunakan dalam transportasi, pemanasan, dan daya. Namun, itu adalah secara karakteristik tidak berkelanjutan karena menghasilkan pergeseran suci dalam penggunaan lahan pertanian, ketersediaan air, dan kadang-kadang deforestasi.

Biofuel generasi kedua dianggap lebih berkelanjutan karena secara komparatif ketergantungan minimal pada bahan baku, air, dan hutan. Mereka juga umumnya digunakan di pesawat karena kemampuannya untuk mempertahankan

spesifikasi kinerja dan keselamatan yang tinggi. Dikenal sebagai bahan bakar penerbangan berkelanjutan (SAF), mereka mewakili puncak kemajuan berkelanjutan di antara bahan bakar penerbangan karena mereka benar-benar dapat menggantikan bahan bakar jet: SAF dan bahan bakar jet memiliki hidrokarbon yang sama, tetapi yang ada di SAF berasal dari sumber yang berkelanjutan. SAF diproduksi dari sumber bio-berlebih dan regeneratif, termasuk limbah kota padat—dari klipng organik, pakaian, produk kertas, kemasan, dan banyak lagi—dan limbah selulosa, atau bahan tanaman (Gambar 13).



Gambar 13. Diagram Siklus Hidup Karbon

Sumber: International Air Transportation Association

Sumber SAF lainnya dapat mencakup minyak goreng bekas, kelebihan bahan pakan ternak, alga, dan energi listrik yang lebih jarang. Mengingat mereka terbuat dari bahan yang digunakan kembali, SAF memiliki jejak karbon minimal sepanjang siklus hidupnya dan sering dikutip sebagai jawaban

substantif untuk masalah lingkungan industri penerbangan. Meskipun kritik dari luar dan kritik terhadap industri itu sendiri, fokus pada keberlanjutan menjadi lebih umum. Sebagai dirinci oleh Koalisi Penerbangan Bisnis untuk Bahan Bakar Penerbangan Berkelanjutan, industri penerbangan terus-menerus mengejar efisiensi sambil mengurangi dampak emisinya.

SAF dapat mengurangi masa pakai emisi gas rumah kaca industri penerbangan sebesar 80%. Transisi ke SAF mungkin juga lebih mudah diterapkan daripada metode keberlanjutan lainnya karena ini adalah bahan bakar 'drop-in'—bahan bakar berkelanjutan yang dapat segera digunakan dan tidak memerlukan modifikasi pada mesin atau penyimpanan dan infrastruktur pengisian bahan bakar. Sayangnya, SAF mahal dan harganya bisa mencapai 8 kali lipat dari harga bahan bakar penerbangan biasa. Meskipun demikian, karena kemampuan mereka untuk mengganti bahan bakar jet dan memanfaatkan infrastruktur minyak bumi yang ada, kelangsungan ekonomi SAFs tetap menjadi satu-satunya tantangan produksi utama. Jika SAF dapat ditingkatkan dengan cepat, kelangsungan hidup ini akan meningkat, menjadikannya sumber bahan bakar yang lebih menguntungkan. Untuk mencapai hal ini, pertama-tama kita harus memberlakukan kebijakan yang mendukung penggunaan bahan bakar penerbangan yang berkelanjutan, ramah lingkungan, dan hemat biaya.

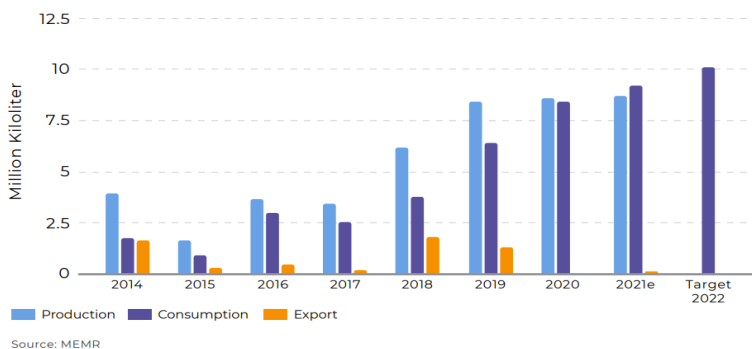
8.3. Kebijakan

Ada banyak pilihan kebijakan untuk serapan SAF, termasuk yang disarankan oleh Atlantic Council Global Energy System. Beberapa diantaranya:

1. Menarik modal untuk memperluas pasokan SAF
Membantu pengoperasian fasilitas SAF melalui insentif yang ditargetkan dan keringanan pajak
2. Mengakui manfaat lingkungan dari SAFs
3. **Menciptakan** permintaan dengan memasukkan SAF lebih lanjut ke dalam kebijakan sumber bahan bakar terbarukan yang ada
4. Menciptakan permintaan dengan memasukkan SAF lebih lanjut ke dalam peraturan jenis standar bahan bakar rendah karbon yang ada
5. Menunjukkan kepemimpinan pemerintah melalui pembelian SAF yang berkelanjutan, penelitian, kegiatan demonstrasi, dan pernyataan arah kebijakan yang jelas

Tahun ini, pemerintah melanjutkan pencampuran B₃₀ karena ekspansi ke B₄₀ secara ekonomi mahal. Diperkirakan juga konsumsi biodiesel akan mencapai 9,2 juta kl pada akhir tahun ini. Hingga November 2021, konsumsi biodiesel mencapai 8,1 juta kl. Ekspor biodiesel hanya mengalami peningkatan sederhana dari sekitar 28.000 kl pada tahun 2020 menjadi sekitar 100.000 kl pada tahun 2021, jauh lebih sedikit dari ratusan ribu hingga juta kiloliter pada tahun-tahun sebelumnya. UE, pasar ekspor terbesar untuk biodiesel Indonesia, lebih memilih mengimpor biodiesel minyak jelantah (UCO) dari China karena memenuhi syarat untuk penghitungan ganda dalam memenuhi

mandat bahan bakar terbarukan (USDA, 2021). Permintaan dari China, pasar terbesar kedua, juga rendah karena harga biodiesel yang tidak kompetitif (USDA, 2021b).



Gambar 14. Produksi, Konsumsi dan Ekspor Biodiesel (2014-2021)

Dengan penambahan kapasitas 2 juta kl pada tahun 2021, total kapasitas produksi biodiesel kini telah mencapai 14,5 juta kl dan diperkirakan akan meningkat menjadi 16 juta kl tahun depan. Artinya, pada tahun 2022, akan ada sekitar 3 juta kl kapasitas produksi tambahan yang tersedia dengan tingkat pemanfaatan 80%. Namun, karena tingginya harga CPO, permintaan ekspor masih lesu sementara permintaan domestik stagnan. Dengan demikian, tingkat pemanfaatan mungkin telah menurun. Permintaan tambahan diperlukan untuk menghindari pabrik baru menjadi menganggur.

Fasilitas produksi diesel hijau Pertamina sebesar 3.000 BPD (~130.000 kl/tahun) di Cilacap diharapkan dapat mulai beroperasi pada Desember 2021. Namun, belum ada rencana yang jelas tentang pengenalan diesel hijau ke pasar karena

kapasitasnya tidak cukup untuk pencampuran B40 nasional. Pembangunan tahap kedua, pabrik 6.000 BPD, akan ditunda hingga 2024, bukan 2022 karena kendala ekonomi seperti harga CPO yang tinggi.

Tonggak penting dicapai dalam pengembangan bioavtur karena Pertamina berhasil melakukan uji terbang menggunakan 2,4% bioavtur yang diproduksi di kilang Cilacap melalui co-processing minyak inti sawit dan minyak bumi mentah. Komersialisasi lebih lanjut, bagaimanapun, kemungkinan akan membutuhkan dukungan kebijakan tambahan, termasuk insentif keuangan. Perlu juga dicatat bahwa kemajuan dalam pencampuran bioavtur lebih lambat dari target yang ditetapkan dalam KEMENTERIAN ESDM No. 12/2015: 2% pada tahun 2016, 3% pada tahun 2020, dan 5% pada tahun 2025.

Tabel 6. Kriteria Keberlanjutan yang Digunakan untuk Mengevaluasi Biofuel Nabati

Sustainability	Criteria Explanation
Economic	
Cost of production	Cost competitiveness with respect to other fuel alternatives
Economic development	Effects on the standard of living and economic health
Fiscal effects	Effects on fiscal balances
Employment	Employment creation
Resource Use and Environmental	
Energy balance	Energy output in fuel per unit of fossil energy input to make the fuel over its life cycle
Resource use including land and Water	Land and water requirements to produce one unit of fuel

Pollutant emissions including GHG and criteria pollutants	Emissions (for example, CO ₂ and sulfur oxides) over the life cycle of one unit of fuel
Biodiversity	Effects on ecological species and communities (for example, habitat destruction or enhancement)
Social	
Competition for resources being used for other human activities	Effects of resource use (for example, water and nutrients) for biofuel production on other activities (for example, farming food crops and animals)
Cultural acceptability	Acceptability of the effects of biofuel production
Visual impacts	Perception of landscape aesthetics
Health effects	Effects of emissions (for example, air-quality emissions) on human health

DAFTAR PUSTAKA

- Basuki, T. M., Leksono, B., Baral, H., Andini, S., Wahyuni, N. S., Artati, Y dan Windyarini, E. (2022). Allometric Equations for the Biomass Estimation of *Calophyllum inophyllum* L. in Java, Indonesia. *Forests*, 13(7), 1057.
- Borowitzka, M.A. (2013). Energy from Microalgae: A Short History. In: Borowitzka, M., Moheimani, N. (eds) *Algae for Biofuels and Energy*. Developments in Applied Phycology, vol 5. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5479-9_1
- Brazil, B. I. 2013. Flightpath to Aviation Biofuels In Brazil: Action Plan. <https://fapesp.br/publicacoes/flightpath/eng.pdf>
- Buringh, P., & Buringh, P. (1979). *Introduction to the study of soils in tropical and subtropical regions* (No. 631.4913 B8 1979.). Wageningen: Pudoc.
- Dweck, A. C., & Meadows, T. (2002). Tamanu (*Calophyllum inophyllum*)-the African, Asian, polynesian and pacific panacea. *International journal of cosmetic science*, 24(6), 341-348.
- Hartono, R., Pitaloka, F., & Karina, M. (2014). PEMBUATAN BIODESEL DARI MINYAK BIJI KEPUH (*Sterculia Foetida* L.) DENGAN PROSES TRANSESTERIFIKASI. *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, 10(1), 9-18.
- Koshel, P., & McAllister, K. (2010). Expanding biofuel production and the transition to advanced biofuels:

lessons for sustainability from the upper midwest: summary of a workshop. National Academy of Sciences. http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=12806

- Lempang, M. (2012). Pohon aren dan manfaat produksinya. *Buletin Eboni*, 9(1), 37-54.
- Metananda, A. A., Zuhud, E. A., & Hikmat, A. (2015). Populasi, Sebaran dan Asosiasi Kepuh (*Sterculia foetida* L.) Di Kabupaten Sumbawa Nusa Tenggara Barat. *Media Konservasi*, 20(3).
- Nurcholis, M., & Mulyanto, D. (2017). Study on the Residue Resulted from the Metallic Minerals separations to the Coastal Iron-sand of Yogyakarta Indonesia. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(15), 5218-5225.
- Nurcholis, M., & Sumarsih, S. (2007). Seri Budi Daya BUDI DAYA JARAK PAGAR DAN PEMBUATAN BIODIESEL. Kanisius.
- Nurcholis, M., S. Sumarsih, R. R. R. Brotodjojo and D. Haryanto. (2015). Environmental Factors in the Growth of *Jatropha* at Potorono Village, Yogyakarta. *SAINS TANAH – Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 12 (1) , 2015, 10-19
- Nurcholis, M., T. Wibawa, A. Utami, H. Krismawan, R. H. Prasetyo, A. R. Rifai, N. A. Sudarto. (2021). Hilirisasi Sorghum Manis: Pembuatan Bioethanol. LPPM UPNVY Press. Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta. Yogyakarta.
- Nurcholis, M., Wijaya, M., & Ratminah, W. D. (2018). Application of biostimulant and CaO to remediate acid mine drainage on the coal mining land in Lampung

- Sumatra Island. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 5(4), 1347-1354.
- Nurcholis, M., Wijayani, A., & Widodo, A. (2013). Clay and organic matter applications on the coarse quartz tailing material and the sorghum growth on the post tin mining at Bangka Island. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 1(1), 27.
- Pabendon, M. B., Aqil, M., & Mas'ud, S. (2012). Kajian sumber bahan bakar nabati berbasis sorgum manis. *IPTEK TANAMAN PANGAN VOL. 7 NO. 2*: 123-129
- Santoso, B. B., & Purwoko, B. S. (2018). Karakter dan kandungan minyak biji jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) Genotipe Nusa Tenggara Barat. *CROP AGRO, Jurnal Ilmiah Budidaya*, 4(1), 46-51.
- Setyaningsih, D., Hambali, E., Permatasari, S., & Muna, N (2013). Bioavtur Production Process From Palm Oil Based Through Hydrogenation And Catalytic Cracking. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/70087>
- Sheehan, J. J. (2009). Biofuels and the conundrum of sustainability. *Current opinion in biotechnology*, 20(3), 318-324.
- Sissine, F. (2007, December). Energy Independence and Security Act of 2007: a summary of major provisions. Library of Congress Washington DC Congressional Research Service.
- Siswahyu, A., & Hendrawati, T. Y. (2014). Pemilihan prioritas bahan baku bioavtur di Indonesia dengan metode Analytical Hierarki Process (AHP). *Jurnal Teknologi*, 6(2), 137-143.

- Slade, R., & Bauen, A. (2013). Micro-algae cultivation for biofuels: cost, energy balance, environmental impacts and future prospects. *Biomass and bioenergy*, 53, 29-38.
- Soepraptohardjo and Ismangun (1980). Classification of Red Soils in Indonesia by the Soil Research Institute. *dalam* Buurman, P. (ed). Red soils in Indonesia (No. 889). Pudoc.
- Sujadi, S., Hasibuan, H. A., Rahmadi, H. Y., & Purba, A. R. (2016). Komposisi Asam Lemak dan Bilangan IOD Minyak dari Sembilan Varietas Kelapa Sawit DxP Komersial di PPKS. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 24(1), 1-11.
- Wenni, W. L. (2019). *Studi Kandungan Minyak Tandan Buah Segar (Tbs) Sawit Menggunakan NIR Pada Berbagai Umur Buah* (Doctoral dissertation, Universitas Andalas).
- Yuliantoro, D. O. D. Y., & Siswo, B. D. (2016). *Pohon Sahabat Air. Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Surakarta.*



ISBN 978-623-369-177-6



9 786233 891776