

# DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Skenario produksi nasional energi primer terbarukan 2015-2050.....	21
Tabel 2.	Rata-rata tingkat emisi biodiesel relatif terhadap solar (%)	28
Tabel 3.	Data Produksi BBM Dalam Negeri 2015-2017 (ribu kiloliter).....	37
Tabel 4.	Pertanaman Kemiri Sunan di Indonesia .....	53
Tabel 5.	Tanaman Penghasil Minyak Nabati di Indonesia.....	54
Tabel 6.	Stok akhir CPO setelah digunakan untuk berbagai keperluan di Indonesia tahun 2015 – 2019 (ribu ton) .....	58
Tabel 7.	Indikasi Rencana Pengembangan Bioenergi per Provinsi Tahun 2015-2025 .....	73
Tabel 8.	Perbandingan bahan baku dan produk yang dihasilkan dari proses transesterifikasi, <i>Green diesel standalone</i> , dan <i>co-processing</i> (Syarif, 2018). .....	86
Tabel 9.	Perbandingan Kualitas Biodiesel (FAME), <i>Green Diesel</i> dan Fosil Diesel .....	87
Tabel 10.	Hasil analisa biodiesel B100 dari CPO dan kemiri sunan produksi Laboratorium Bioenergi Kementerian Pertanian di Sukabumi .....	99
Tabel 11.	Perbandingan hasil uji laboratorium pada traktor roda dua menggunakan biodiesel dan solar .....	100
Tabel 12.	Harga Pokok Produksi Biodiesel B-100 per Liter (Bulan Februari 2019).....	108

Tabel 13. Perkiraan dampak peningkatan produksi biodiesel 2019 .	115
Tabel 14. Perkiraan dampak pengembangan industri biodiesel terhadap angka kemiskinan dan serapan tenaga kerja nasional .....	117

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Bauran konsumsi energi primer global 1800-2017 (Ritchie and Roser, 2019b) .....	7
Gambar 2. Estimasi kurva Hubert Peak Oil dan data produksi minyak actual di Amerika Serikat (Ritchie and Roser, 2019b).....	10
Gambar 3. Perkiraan produksi BBF global 1900-2096 .....	11
Gambar 4. Perkiraan lama ketersediaan cadangan bahan bakar (Ritchie and Roser, 2019b) .....	12
Gambar 5. Perkiraan produksi minyak dan gas bumi Indonesia, 1966-2020 (PWC, 2018) .....	13
Gambar 6. Jumlah ekspor minyak kasar global menurut wilayah asal (Ritchie and Roser, 2019b).....	14
Gambar 7. Dinamika minyak dunia dan kejadian luar biasa penyebabnya (Shea, 2019).....	16
Gambar 8. Emisi CO2 global (Ritchie and Roser, 2019a) .....	18
Gambar 9. Emisi CO2 (atas) dan GHG (bawah) dunia dirinci menurut sektor (Ritchie and Roser, 2019b) .....	19
Gambar 10. Perbandingan ongkos produksi listrik menurut sumber energi primer (Ritchie and Roser, 2019 b) .....	26
Gambar 11. Tingkat kematian terkait produksi energi (orang/TWh ..	29
Gambar 12. Grafik perkembangan produksi dan konsumsi BBM Indonesia 1965-2017.....	38
Gambar 13. Konsumsi Jenis BBM menurut Harga Jual per tahun .....	39

Gambar 14. Cadangan minyak terbukti dan potensial 2012-2016.....	41
Gambar 15. Peta cadangan minyak mentah 2016 .....	42
Gambar 16. Perkembangan volume ekspor dan impor minyak mentah Indonesia 1996-2018 (BPS, 2019) .....	45
Gambar 17. Perkembangan nilai ekspor dan impor minyak mentah Indonesia 1996-2017 (Milyar US \$) .....	46
Gambar 18. Perkembangan volume ekspor dan impor hasil minyak 1996-2017 (ribu ton) .....	46
Gambar 19. Perkembangan nilai ekspor dan impor hasil minyak Indonesia 1996-2017 (Juta US\$).....	47
Gambar 20. Volume impor BBM berdasarkan jenisnya .....	48
Gambar 21. Perkembangan Luas Pertanaman Kelapa Sawit di Indonesia.....	57
Gambar 22. Perbandingan luas areal menurut status perusahaan tahun 2018.....	57
Gambar 23. Perbandingan Produksi menurut status perusahaan tahun 2018.....	58
Gambar 24. Kompor tekan dengan bahan bakar minyak nabati (CPO, minyak kelapa dll), tipe lama (a), dan tipe baru (b) .....	61
Gambar 25. a) Mesin penyangrai kopi; b) menggunakan kompor tipe tekan; c) Pembakaran dengan bakar minyak nabati (CPO, minyak kelapa, minyak kemiri sunan dll) .....	62
Gambar 26. Kiri: Reaktor multifungsi dengan Sistem Metanol Recovery untuk membuat biodiesel/B100 rekayasa Kementan di Instalasi Bioenergi di Pakuwon; Kanan: Mentan RI saat meninjau pengembangan biodiesel 100% (B100) di Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar (Balittri, Sukabumi) .....	63

Gambar 27. Sasaran Bauran Energi Nasional 2025 (Sumber : PP 79/2014 tentang Kebijakan Energi Nasional) .....	69
Gambar 28. Sasaran Bauran Energi Nasional 2050 .....	69
Gambar 29. Stasiun Pengisian Bahan Bakar Biodiesel di lingkungan kantor pusat Kementerian Pertanian di Jakarta (kiri) dan Balittri di Sukabumi (Kanan) .....	81
Gambar 30. Penggunaan biodiesel B100 untuk kendaraan dinas Kementerian Pertanian .....	81
Gambar 31. Lokasi karet pada sistem bahan bakar konvensional (Akhlaghi <i>et al.</i> , 2015) .....	82
Gambar 32. Kebutuhan energi final per jenis (Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi-BPPT, 2018) .....	84
Gambar 33. Skema pengolahan minyak kelapa sawit (Syarif, 2018). .	86
Gambar 34. Beberapa jenis minyak nabati sebagai bahan baku biodiesel .....	90
Gambar 35. Pengembangan tanaman kemiri sunan sebagai penghasil biofuel di lahan bekas tambang batu bara di Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. ....	93
Gambar 36. Pengembangan kemiri sunan sebagai tanaman penghasil biofuel dan tanaman konservasi di lahan penyangga waduk Gajah Mungkur Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah .....	93
Gambar 37. Pengembangan tanaman kemiri sunan sebagai penghasil biofuel di lahan penyangga waduk Jati Gede di Kabupaten Sumedang, Jawa Barat. ....	94
Gambar 38. Pengembangan tanaman kemiri sunan sebagai penghasil biofuel di lahan kering iklim kering di Kabupaten Ngada, NTT .....	94
Gambar 39. Perbandingan konsumsi bahan bakar antara B50 dan solar (PPKS, 2019) .....	97

Gambar 40. Hasil jelaga pada silinder head dan torak/piston .....101

Gambar 41. Perkembangan Harga Indeks Pasar Biodiesel Periode  
April 2018-April 2019 (sumber : EBTKE – ESDM,2019)...108

# Bab 1.

## Menipisnya Cadangan Energi Fosil dan Pentingnya *Biofuel* untuk Penyeimbang

**B**erdasarkan proses dan ketersediaan sumbernya, energi dibedakan menjadi energi tidak terbarukan dan energi terbarukan. Energi tidak terbarukan adalah energi yang ketersediaannya sumbernya tidak dapat dipulihkan atau membutuhkan proses yang sangat lama. Contoh energi tak terbarukan ialah energi fosil termasuk bahan bakar minyak, batubara dan gas bumi. Energi fosils disebut pula sebagai energi konvensional yang telah mendominasi bauran energi global maupun nasional sejak pertengahan abad 19. Masyarakat dunia kini menyadari bahwa energi fosil tak terbarukan dan menimbulkan pencemaran lingkungan sehingga perlu diseimbangkan dengan penggunaan energi bersih dan terbarukan. *Biofuel* dipandang sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang dapat dikembangkan sebagai penyeimbang atau bahkan pengganti energi fosil.

Berikut diuraikan status perkembangan cadangan, produksi konsumsi energi fosil dan implikasinya terhadap ketahanan energi energi, ekonomi dan lingkungan alam pada tataran global dan nasional, serta urgensi pengembangan *biofuel* sebagai alternatif sumber energi. Tinjauan ini diharapkan dapat menambah pemahaman atau referensi terkait pengembangan *biofuel* yang sudah dilaksanakan di Indonesia sejak 2008. Tinjauan

mencakup makna energi fosil dan biofuel, status kemajuan bauran energi pada tataran global dan nasional (Indonesia), bahaya laten ketergantungan yang tinggi pada bahan bakar fosil, dan multi manfaat pengembangan Bahan Bakar Nabati (BBN).

## **Apakah Energi Fosil dan *Biofuel*?**

Energi adalah kemampuan untuk melakukan pekerjaan. Energi terwujud dalam bentuk panas (termal), cahaya (radian), gerakan (kinetik), listrik, kimia, energi nuklir dan gravitasi. Energi terdiri dari dua jenis, energi tersimpan (potensial) dan energi kerja (kinetik). Energi esensial bagi segala sesuatu agar dapat hidup dan atau bergerak. Energi adalah kebutuhan dasar kehidupan yang berfungsi sebagai bahan baku dan sumber tenaga penggerak perekonomian. Sumber daya energi dapat pula disebut salah satu modal pembangunan nasional.

Manusia membutuhkan energi baik secara langsung dalam menopang kehidupan biologisnya maupun dalam menjalankan aneka peralatan penopang kehidupannya. Sebagai contoh, bahan pangan yang dimakan seseorang adalah energi kimia yang kemudian disimpan dalam badan sebagai energi potensial untuk kemudian dipergunakan sebagai energi kinetik tatkala bekerja atau beraktivitas. Manusia membutuhkan energi untuk menjalankan peralatan rumah, kendaraan, mesin-mesin pabrik, mesin pembangkit listrik, dan sebagainya. Energi mungkin juga sebagai bahan baku untuk diolah menjadi aneka produk kebutuhan hidup manusia. Energi termasuk kebutuhan dasar manusia dan komoditas strategis untuk pembangunan. Oleh karena itulah, mewujudkan kedaulatan, kemandirian dan ketahanan energi menjadi salah satu tujuan pembangunan setiap negara di dunia.

Makna energi fosil dapat dipahami dari pengertian semantik akar katanya. Energi biasanya dinamai berdasarkan sumber

energi primernya. Fosil berasal dari kata Latin “*fossa*” yang berarti menggali keluar dari dalam tanah. Fosil adalah adalah sisa-sisa atau bekas-bekas makhluk hidup yang telah membatu atau menjadi mineral dan tertanam di bawah lapisan tanah. Energi fosil adalah energi dari hasil transformasi fosil. Per logika, adalah melawan akal sehat jika suatu jenis energi disebut energi fosil walau dipahami tidak berasal dari fosil. Jika suatu energi dipahami tidak berasal dari fosil maka tentunya energi tersebut tidak patut dinamai energi fosil. Per logika semantik, energi fosil adalah energi hasil transformasi geologis sisa atau bekas makhluk hidup di dalam lapisan tanah dalam tempo yang sangat lama.

Kopp (2019) mendefinisikan bahan bakar fosil adalah setiap material mengandung hidrokarbon asal organisme biologis dalam kerak bumi yang dapat dipergunakan sebagai sumber energi. Material organisme bahan pembentuk bahan bakar fosil itu adalah fosil. Bahan bakar fosil termasuk batubara, minyak bumi, gas bumi, minyak *shales*, aspal (bitumen), pasir tar dan *heavy oils*. Semua material tersebut mengandung karbon dan terbentuk sebagai hasil dari proses geologis pada sisa-sisa bahan organik yang diproduksi melalui proses fotosintesa 4,0- 2,5 milyar tahun lalu (masa Archean Eon). Sebagian besar material karbon yang terbentuk sebelum 419,2-358,9 juta tahun lalu (periode Devonian) adalah derivat algae dan bakteri, sedangkan yang terbentuk selama dan sesudah interval tersebut adalah derivat tumbuhan (Kopp, 2019).

Batubara, minyak bumi dan gas bumi adalah tiga jenis energi konvensional yang umum diterima dalam satu rumpun energi fosil. Energi fosil sesungguhnya adalah hasil transformasi dari bahan organik yang bahan dasar kimianya termasuk kelompok molekul hidrokarbon hasil fotosintesa. Transformasi fosil menjadi energi berlangsung secara alami dalam tempo sangat lama, yang diperkirakan mencapai ratusan atau bahkan milyaran tahun.

Namun demikian, ada pula yang berpandangan bahwa batubara, minyak bumi dan gas bumi tidak berasal dari fosil.

Pandangan yang mengatakan bahwa bahan bakar fosil berasal dari fosil bahan organik sebagaimana diuraikan di atas disebut teori pembentukan petroleum biogenik (*biogenic petroleum formation theory*). Sedangkan pandangan yang mengatakan bahwa bahan bakar fosil berasal bahan anorganik disebut teori pembentukan petroleum abiogenik (*abiogenic petroleum formation theory*). Kedua teori ini berkebalikan sempurna.

Teori abiogenik berpandangan bahwa petroleum berasal dari hidrokarbon anorganik yang sudah ada di kerak bumi, yang kemudian mengalami proses kimiawi lalu menghasilkan bahan bakar petroleum. Energi hidrokarbon anorganik inilah yang selanjutnya digunakan untuk mendukung kehidupan organisme yang ada di biosfir perut bumi yang amat dalam dan panas (*hot deep biosphere*) (Gold 1999). Organisme hidup yang kini berada di biosfir permukaan bumi berasal dari biosfir perut bumi. Berbeda dari pandangan biogenik atau fosils, pandangan *abiogenik* berkesimpulan bahwa batubara, minyak, dan gas bumi bersifat terbarukan karena berasal dari bahan anorganik melalui proses kimiawi. Namun demikian, Höök *et al.* (2010) mengatakan bahwa pandangan abiogenik adalah hipotesis ekstrem dan mustahil terjadi.

Proses pembentukan energi fosil sesungguhnya berlangsung terus-menerus atau berkelanjutan. Akan tetapi, oleh karena proses transformasinya sangat lama, laju pertambahan cadangan sumber energi fosil lebih cepat dari penggunaannya, sehingga volume cadangannya cenderung atau tidak dapat pulih kembali sebesar stok awalnya. Oleh karena itu, energi fosil digolongkan sebagai energi tak terbarukan. Dapat dikatakan bahwa ketersediaan cadangan energi fosil tergantung pada karunia Sang Pencipta.

Energi terbarukan adalah energi yang ketersediaanya dapat dipulihkan karena proses produksinya dapat dikelola oleh manusia dalam tempo singkat. Contoh energi terbarukan ialah energi yang bersumber dari biomassa, matahari, tenaga air, angin, panas bumi dan arus laut. Manusia dapat mempertahankan besaran kersediaan sumber energi dengan mengelola proses produksi dan konsumsi sedemikian rupa sehingga ketersediaan energi lestari sepanjang masa. Energi terbarukan menjadi tumpuan manusia untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat. Pengembangan energi terbarukan menjadi agenda pembangunan setiap negara guna menjaga ketahanan, kemandirian, dan kedaulatan energinya.

Biofuel berasal dari kata bahasa Inggris yang dapat diuraikan menjadi *bio* + *fuel*. "*Bio*" berasal dari kata "*biology*", yang berarti materi hayati atau biomassa. Biomassa adalah materi organik berasal dari tumbuh-tumbuhan atau hewan atau mikro-organisme selain fosil. "*Fuel*" diterjemahkan sebagai bahan bakar, adalah materi pembawa energi (*energi carrier*) untuk dikonversikan melalui proses pembakaran. Dengan demikian, *biofuel* adalah bahan bakar yang dihasilkan langsung atau tidak langsung dari biomassa sehingga termasuk rumpun bioenergi.

Untuk definisi yang lebih teknis, *biofuel* adalah bahan bakar yang energinya diperoleh melalui proses fiksasi karbon biologis seperti proses foto sintesa pada tumbuh-tumbuhan untuk menghasilkan pati pembawa energi kimiawi. Bahan bakar yang dihasilkan dari biomassa tanaman disebut bahan bakar nabati sedangkan yang dihasilkan dari biomassa hewan disebut bahan bakar hewani. Bahan Bakar Nabati (BBN) sudah dikembangkan secara komersial di banyak negara termasuk Indonesia, seperti biodiesel dari kelapa sawit dan *bioethanol* dari limbah pengolahan tebu.

*Biofuel* sepadan dengan bahan bakar fosil (BBF). Keduanya dapat berwujud fisik cair (minyak nabati, minyak bumi), gas (biogas, gas bumi) atau padat (arang, batu bara). Bahan bakar fosil yang banyak dipergunakan hingga saat ini ialah bensin dan solar, sedangkan biofuel yang sudah dikomersialkan ialah biodiesel (B100) dan *bioetanol*. Secara kimiawi, keduanya adalah molekul hidrokarbon. Oleh karena itulah *biofuel* dapat digunakan bersama-sama (dicampur) atau menggantikan bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil cair seperti bensin maupun solar digantikan oleh biogasolin dan biodiesel.

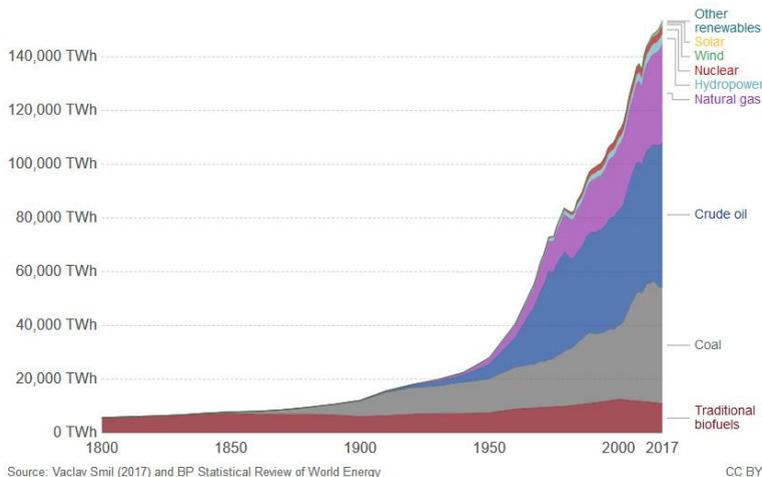
## **Dominasi Energi Fosil dalam Bauran Energi**

Bauran energi yang dihasilkan dan dikonsumsi manusia secara langsung maupun tidak langsung berkembang seiring dengan kemajuan peradaban. Pada awal peradaban, sumber energi utama ialah bahan *biofuel* tradisional melalui pembakaran kayu dan bahan organik lainnya. Penggunaan bahan bakar fosil diawali dengan pemanfaatan batubara, yang tergolong pada rumpun bahan bakar fosil berbentuk padat, untuk mesin uap yang menjadi basis Revolusi Industri 1.0 pada akhir abad ke 18. Hingga pada tahun 1800 konsumsi batubara hanya sekitar dua persen (Ritchie and Roser, 2019). Revolusi Industri 1.0, yang berbasis peralatan mekanis, mengakselerasi peningkatan konsumsi batubara sehingga menggeser biomassa sebagai sumber energi utama dunia. Dapat dikatakan bahwa dominasi sumber energi fosil sudah berlangsung sejak sekitar tahun 1900 yang diawali oleh penggunaan batubara.

Konsumsi bahan bakar minyak bumi baru dimulai pada tahun 1870 didorong oleh penemuan tambang minyak bumi. Peningkatan konsumsi bahan bakar minyak bumi meningkat pesat seiring dengan penemuan dan meluasnya penggunaan kendaraan dan mesin penggerak bermotor berbahan bakar

bensin dan solar. Peranan gas bumi dalam bauran energi global berkembang pesat pada pertengahan abad 20. Hingga kini, bauran energi global amat didominasi oleh bahan bakar fosil konvensional yang terdiri dari batubara, minyak bumi dan gas bumi.

Sementara, pengembangan energi terbarukan non-biofuel tradisional diawali oleh listrik hidro sekitar tahun 1820. Produksi energi nuklir dimulai pada tahun 1960. Sumber energi terbarukan seperti biofuel moderen, angin, dan matahari, baru berkembang sekitar periode 1980-1990, sementara peranan sumber energi panas bumi dan arus laut masih sangat kecil. Secara umum dapat dikatakan bahwa konsumsi dan produksi energi global sangat didominasi oleh bahan bakar fosil (Gambar 1).



Gambar 1. Bauran konsumsi energi primer global 1800-2017 (Ritchie and Roser, 2019b)

Ketimpangan bauran energi tersebut merupakan salah satu pusat perhatian masyarakat dunia karena berdampak negatif terhadap ketahanan energi dan kelestarian alam global. Perbaikan bauran energi adalah dengan mengurangi ketergantungan pada bahan

bakar fosil yang tidak berkelanjutan dan tidak ramah lingkungan, serta mendorong peningkatan kontribusi bahan bakar terbarukan ramah lingkungan utamanya biofuel. Data PBB menunjukkan bahwa pangsa sumber energi fosil (batubara, minyak bumi, gas bumi) cenderung menurun dari 83,5 persen pada 1990 menjadi 82,3 persen pada tahun 2015 (UN, 2018). Penurunan peran energi fosil diisi oleh *biofuel* dan sampah yang meningkat dari 7,7 persen pada 1990 menjadi 9,2 persen pada 2015. Bauran energi Indonesia pun sangat didominasi oleh bahan bakar fosil. Dominasi bahan bakar fosil dalam bauran energi Indonesia pada 2015 mencapai 95 persen (Cornot-Gandolphe, 2017) yang berarti lebih tinggi daripada dalam bauran energi global. Kebijakan energi nasional sebagaimana dijabarkan dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN, 2017) telah menetapkan untuk meningkatkan peran energi terbarukan paling sedikit 23 persen pada 2025 dan meningkat menjadi 31 persen pada 2050.

## **Bahaya Laten Ketergantungan pada Energi Fosil**

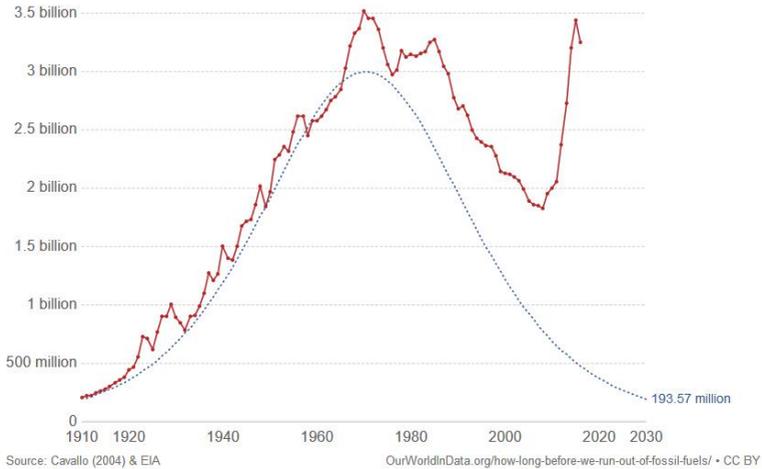
Ketergantungan yang tinggi terhadap sumber energi fosil dipandang sebagai masalah fundamental sistem energi global maupun nasional. *Pertama*, produksi sumber energi fosil tidak terbarukan pasti menurun dan habis pada suatu saat sehingga tidak dapat diandalkan. Ketergantungan tinggi pada sumber energi fosil akan menyebabkan ancaman pada ketersediaan energi sebagai salah satu pilar utama ketahanan energi global maupun nasional. *Kedua*, bauran konsumsi energi yang amat timpang (sumbangan energi fosil amat tinggi) menyebabkan ketahanan energi sensitif terhadap gejolak pasokan maupun akses (fisik dan ekonomi) energi asal fosil. Akses energi dapat dicerminkan oleh gejolak harga minyak di pasar global.

*Ketiga*, senjang distribusi spasial energi. Sebaran lokasi spasial negara-negara surplus tidak merata atau tidak sepadan dengan

sebaran negara-negara defisit bahan bakar fosil, sehingga sistem logistik akan menjadi sumber faktor resiko ketahanan energi. *Keempat*, penggunaan energi sebagai senjata politik ekonomi. Aspek keempat ini merupakan ancaman bagi kedaulatan energi suatu negara. Kebutuhan akan kedaulatan energi mendorong banyak negara berusaha mewujudkan kemandirian ekonomi. Selain mengancam kedaulatan, kemandirian dan ketahanan energi, ketergantungan tinggi pada energi fosil juga mengancam kelestarian lingkungan hidup karena aneka cemaran yang ditimbulkannya. Untuk lebih jelasnya, berikut diuraikan bahaya laten ketergantungan pada Bahan Bakar Fosil (BBF).

### ***Sumber energi fosil cenderung semakin langka dan habis pada waktunya***

Telah dikemukakan di atas bahwa energi fosil adalah energi yang tidak terbarukan. Volume stok cadangan energi tak terbarukan menurun sesuai dengan volume eksploitasinya sehingga pasti akan habis pada suatu waktu. Penjelasan itu konsisten dengan hipotesis *Peak Oil* yang menyatakan bahwa produksi energi terbarukan pada awalnya meningkat lambat, lalu mengalami percepatan dan perlambatan, stagnasi atau titik puncak, lalu kemudian menurun hingga berhenti. Teori *Peak Oil* diperkenalkan oleh Hubbert (1956) sehingga dikenal pula sebagai “hipotesis *Peak Oil Hubert*”. Teori ini diterima secara luas dan dianggap valid secara empiris hingga awal tahun 2000-an. Model Hubbert berhasil menduga dengan tepat bahwa titik puncak produksi minyak bumi Amerika Serikat terjadi pada tahun 1970 (Gambar 2).

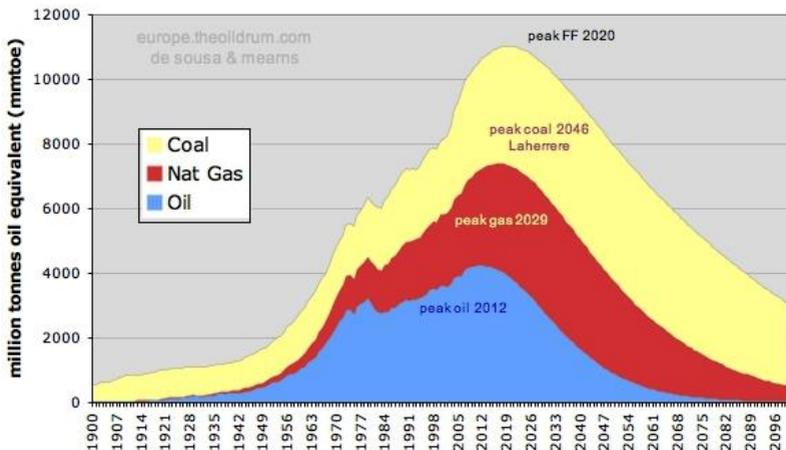


Gambar 2. Estimasi kurva Hubert Peak Oil dan data produksi minyak actual di Amerika Serikat (Ritchie and Roser, 2019b).

Keraguan terhadap validitas empiris hipotesis *Peak Oil Hubert* muncul setelah adanya data empiris yang menunjukkan bahwa produksi BBM Amerika Serikat memang mencapai titik puncak tahun 1970 dan kemudian menurun, namun kemudian mengalami titik balik dari kecenderungan menurun menjadi meningkat kembali pada awal tahun 2000-an (Gambar 2). Sejumlah penelitian juga menunjukkan kegagalan model Hubbert dalam menduga produksi minyak dan gas bumi (Ritchie and Roser, 2019). Tidak saja meragukan model Hubbert, sebagian pihak bahkan menolak teori bahwa bahan bakar fosil adalah sumber energi tak terbarukan. Bagi mereka, bahan bakar fosil adalah sumber energi terbarukan atau tersedia dalam jumlah tak terbatas.

Sejumlah penelitian mencoba menjelaskan kegagalan prediksi model Hubert dan implikasinya terhadap kebenaran teori bahan bakar fosil adalah sumber energi tak terbarukan dengan cadangan terbatas. Cavallo (2004) mengatakan bahwa produksi

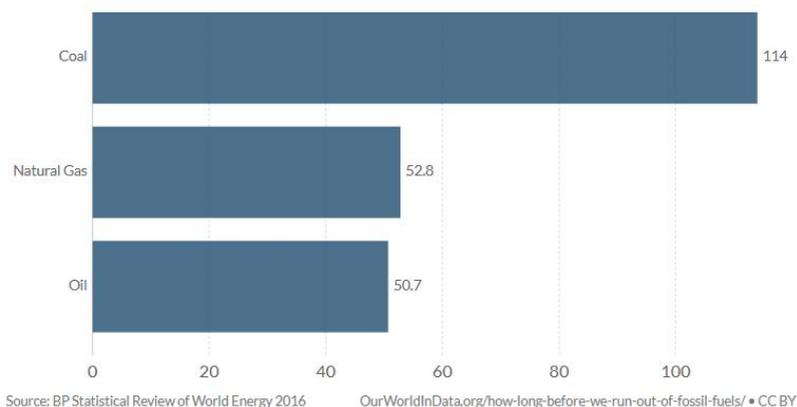
aktual bahan bakar fosil lebih ditentukan oleh kendala politik daripada oleh kendala sumberdaya. Peningkatan kembali produksi minyak Amerika Serikat pada tahun 2000-an disebabkan oleh keberhasilan dalam menjaga stabilitas pasar, pertumbuhan tinggi permintaan, dan penemuan cadangan baru. Penjelasan senada juga dikemukakan oleh Helm (2011). Secara umum, para ahli tetap sepakat bahwa BBF adalah sumber energi tak terbarukan dan ketersediaannya terbatas. Namun demikian, penetapan titik puncak produksi bahan bakar fosil ditentukan oleh banyak faktor sehingga tidak dapat diduga dengan cukup akurat. Puncak produksi minyak bumi diperkirakan sudah terjadi pada tahun 2012, sementara puncak produksi gas bumi dan batu bara akan terjadi berturut-turut pada tahun 2019 dan 2046 (Gambar 3).



Gambar 3. Perkiraan produksi BBF global 1900-2096

Indikator yang kini diterima luas ialah perkiraan lama ketersediaan cadangan (R) terhadap produksi (P) atau rasio R/P berdasarkan data yang terus diperbarui (Gambar 4). Berdasarkan data yang tersedia pada tahun 2015, cadangan global minyak

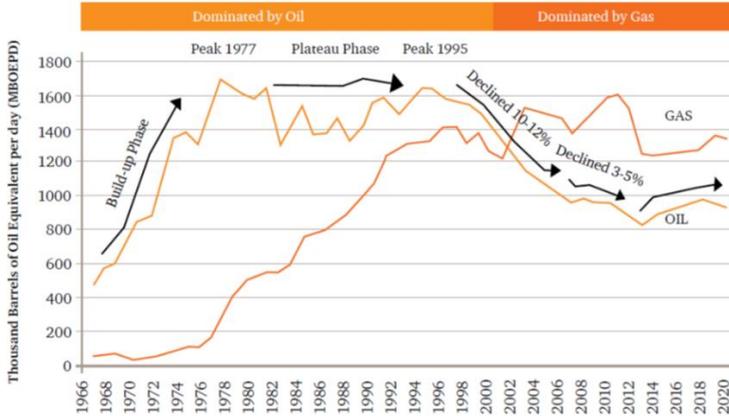
bumi diperkirakan masih tersedia hingga 50 tahun ke depan (tahun 2065), gas bumi hingga 52 tahun ke depan (2067) dan batubara hingga 114 tahun ke depan (2129). Walau ada saja yang berbeda pandangan, masyarakat dunia umumnya sepakat bahwa bahan bakar fosil adalah energi tak terbarukan yang ketersediaannya terbatas sehingga jika terus dieksploitasi maka produksinya akan semakin langka dan pasti habis pada waktunya.



Gambar 4. Perkiraan lama ketersediaan cadangan bahan bakar (Ritchie and Roser, 2019b)

Teori bahwa bahan bakar fosil adalah sumber energi tidak terbarukan berlaku juga di Indonesia. Salah satu indikasinya ialah pelandaian yang kemudian diikuti oleh penurunan produksi minyak bumi Indonesia. Seperti yang terlihat pada Gambar 4, produksi minyak dan gas bumi Indonesia mulai menurun pada 1977, mendatar hingga tahun 1995, lalu menurun cepat hingga tahun 2013, lalu kemudian melandai naik turun sedikit demi sedikit. Jika tidak ada kejadian luar biasa, sebagaimana perkiraan Sugiyono (2016), maka Indonesia akan menjadi importir netto energi pada sekitar 2030-2033. Respon terbaik dalam menghadapi ancaman defisit energi tersebut ialah

meningkatkan produksi energi terbarukan, utamanya melalui pengembangan *biofuel*. Indonesia memiliki potensi besar untuk peningkatan produksi *biofuel*.

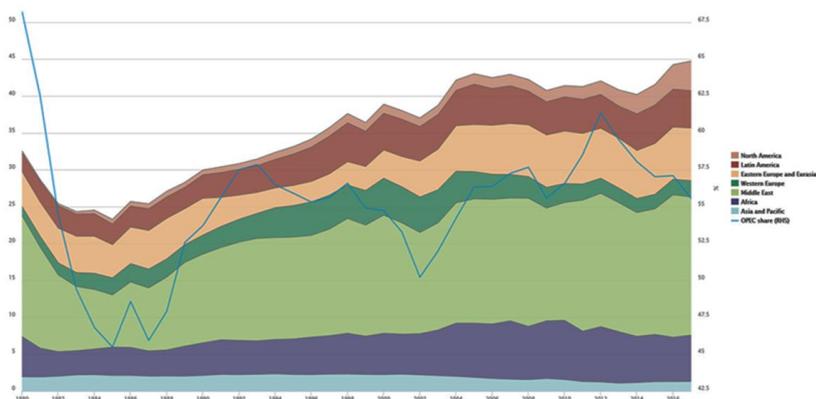


Gambar 5. Perkiraan produksi minyak dan gas bumi Indonesia, 1966-2020 (PWC, 2018)

### *Goncangan dan Volatilitas Pasokan dan Harga*

Bauran energi yang amat didominasi oleh bahan bakar fosil menyebabkan pasokan dan harga energi di pasar global amat sensitif internal terhadap perubahan penawaran dan permintaan. Sensitivitas internal dapat dipandang sebagai daya lentur (*resilience*) yang tercermin pada kemampuan pasar untuk mengabsorpsi gejolak permintaan dan penawaran sehingga tidak menimbulkan instabilitas pasar. Selain oleh sensitivitas internal pasar, instabilitas pasar yang dicerminkan oleh volatilitas atau gejolak harga juga ditentukan oleh besaran volatilitas atau gejolak permintaan dan penawaran akibat kekuatan eksternal. Permintaan dan penawaran minyak global terkenal dengan sifatnya yang volatil dan kerap berkejolak sehingga harga minyak dunia pun volatil dan kerap berkejolak.

Ada beberapa penyebab penawaran dan permintaan bahan bakar fosil volatil atau bahkan rawan gejolak. *Pertama*, sebaran geospasial produksi tidak sepadan dengan konsumsi. Ketidakesesuaian distribusi geospasial produksi dan konsumsi mungkin dapat dicerminkan oleh sebaran geokemikspasial ekspor minyak bumi. Seperti yang terlihat dari Gambar 6, eksportir terbesar minyak bumi ialah kawasan Timur Tengah dengan pangsa sekitar 19 persen pada 2006-2017, kemudian diikuti oleh Eropa Timur sekitar 7 persen dan Afrika sekitar 6 persen. Sebagaimana diketahui, kawasan Timur Tengah masih terus tidak stabil secara sosial politik yang berdampak pada instabilitas pasokan minyak bumi mentah ke pasar global.



Gambar 6. Jumlah ekspor minyak kasar global menurut wilayah asal (Ritchie and Roser, 2019b)

*Kedua*, negara-negara eksportir utama minyak bumi melakukan kartelisasi pasokan di pasar dunia dengan nama Organization of Petroleum Exporting Countries (OPEC). OPEC memiliki anggota 14 negara dan menguasai lebih dari separuh pasar ekspor dunia