

Orasio Dies Natalis XXIII

Fakultas Teknologi Industri

**Potensi, Pengelolaan, dan Teknologi
Pemanfaatan Biomassa serta Listrik Terbarukan
untuk Ketahanan Energi Indonesia
di Masa Depan**

Dr. Tedi Hudaya, S.T., M.Eng.Sc.



Jurusan Teknik Kimia / Fakultas Teknologi Industri

Universitas Katolik Parahyangan

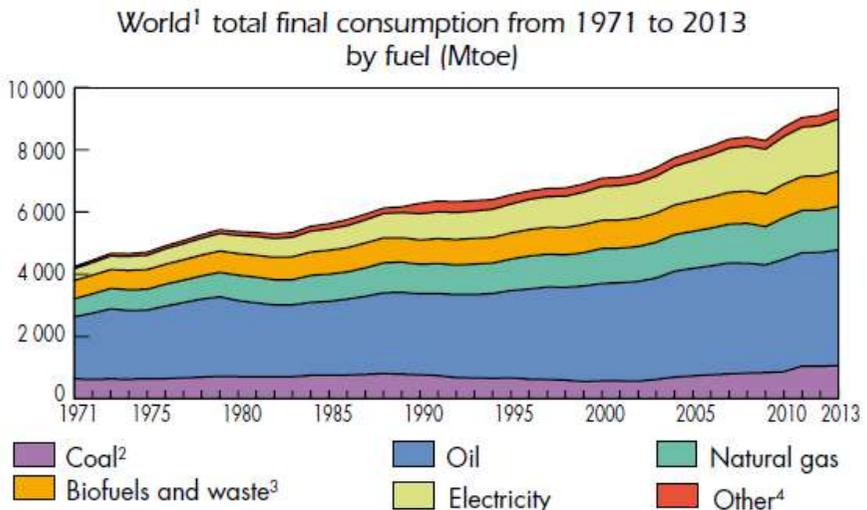
21 April 2016

ABSTRAK

Isu dampak pemanasan global yang akhir-akhir ini sudah sangat genting dan kesadaran akan sangat terbatasnya cadangan energi fosil yang saat ini adalah sumber utama energi dunia telah mendesak semua negara, termasuk Indonesia, untuk melakukan revolusi energi global yang secara pasti tapi bertahap beralih dari sistem energi fosil menuju sistem energi baru dan terbarukan (EBT). Indonesia sebenarnya memiliki potensi EBT berupa biomassa dan energi pembangkit listrik terbarukan (angin, air, laut, surya, dan panas bumi) yang sangat melimpah, untuk dijadikan bahan bakar dan listrik sebagai energi final, namun masih sangat sedikit (sekitar 1,1%) yang sudah dimanfaatkan. Orasio kali ini akan menyoroti bauran energi Indonesia yang masih didominasi oleh bahan bakar fosil, terutama minyak bumi, sementara saat ini cadangan minyak Indonesia sudah sangat kritis (akan habis dalam 18 tahun) dan kebutuhan BBM nasional yang sangat besar harus separuhnya diimpor. Laporan OEI (Outlook Energi Indonesia) 2014 yang disusun oleh Kementerian ESDM memuat fakta-fakta dan prakiraan (proyeksi) yang cukup penting tentang penyediaan dan konsumsi energi Indonesia di masa depan beserta tantangannya. Penulis juga membahas Kebijakan Energi Nasional (KEN) 2050 yang disusun oleh Dewan Energi Nasional yang menjadi panduan dalam pengelolaan dan pemanfaatan aneka jenis sumber daya energi (fosil, EBT, dan nuklir) yang dimiliki Indonesia untuk menjamin ketahanan energi nasional di masa depan. Selanjutnya, penulis akan mengupas kebijakan-kebijakan pendukung KEN 2050 seperti di bidang keuangan dan fiskal, dan langkah-langkah awal pengembangan EBT di Indonesia. Selain itu, tantangan yang dihadapi Indonesia dalam masa peralihan (transisi) basis sistem energi tersebut di atas perlu juga dicermati. Di samping itu, penulis juga telah menggali informasi mengenai sumber-sumber dan teknologi konversi biomassa Indonesia untuk dijadikan bahan bakar nabati (biofuel) dan biogas yang amat sangat penting di masa transisi tersebut. Kontroversi penggunaan nuklir di Indonesia juga akan kemudian disinggung secara singkat. Akhirnya, listrik surya gurun dan teknologi konversi listrik menjadi bahan bakar cair sebagai tumpuan harapan utama energi dunia di masa depan juga akan diulas.

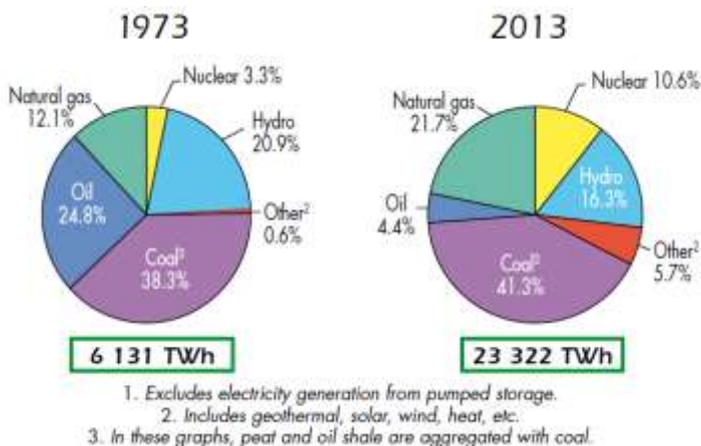
1. Pendahuluan dan latar belakang

Tidak dapat dipungkiri bahwa dalam dunia modern sekarang ini **kebutuhan akan energi amatlah besar** dan cenderung akan terus **meningkat dengan pesat** (Gambar 1) seiring dengan pertambahan jumlah penduduk dunia dan kemajuan ekonomi di berbagai belahan dunia. **Energi apapun** yang ada dan telah dimanfaatkan manusia untuk aneka kegiatannya, bila ditelusuri **berasal dari matahari sebagai sumber energi induk**. Walaupun bentuk energi sangat beragam, namun hanya **listrik dan bahan bakar** (seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1) yang merupakan **energi final dalam arti bisa dimanfaatkan secara langsung oleh masyarakat dalam hidup sehari-hari**. Misalnya, energi potensial yang dimiliki air di bendungan baru akan bermanfaat setelah memutar turbin air dan menghasilkan listrik. Energi surya bisa dikonversi menjadi listrik yang kemudian berguna untuk penerangan, pemanas air, dan lain-lain. Demikian juga dengan energi angin, nuklir, panas bumi, dsb. baru bisa dimanfaatkan langsung setelah diubah menjadi listrik.



Gambar 1. Total konsumsi energi dalam Mtoe (*million tons of oil equivalent*) di dunia dalam kurun 1971 – 2013 [1]

Selama lebih dari satu abad sejak revolusi industri, **sumber utama untuk bahan bakar dan energi pembangkit listrik adalah bahan bakar fosil berupa batu bara, minyak bumi, dan gas alam.** Proporsi **energi fosil untuk pembangkitan listrik** (Gambar 2) tidak banyak berubah dari sejak tahun 1973 (75,2%) sampai tahun 2013 (67,4%). Ironisnya, kecuali tenaga nuklir dan PLTA, proporsi energi pembangkit listrik terbarukan (panas bumi, matahari, angin, biomassa, dan lain-lain) hanya naik dari 0,6% menjadi 5,7% dalam kurun 40 tahun tersebut.



Gambar 2. Sumber energi pembangkit listrik di tahun 1973 dibandingkan tahun 2013 [1]

2. Kebergantungan dunia terhadap bahan bakar fosil dan konsekuensinya

Bahan bakar merupakan energi primer yang **sangat penting dalam sektor industri, pertanian, rumah tangga, maupun transportasi.** Selama lebih dari 100 tahun terakhir, dunia menggunakan dengan serakah semua jenis **bahan bakar fosil berupa minyak bumi, gas alam, dan batu bara** untuk mendukung pertumbuhan ekonomi dan kemajuan peradaban atau lebih tepatnya kenyamanan hidup manusia. Sampai hari ini, **hampir 80% dari kebutuhan energi dunia** (termasuk untuk pembangkit listrik) **dipenuhi dari bahan bakar fosil.** Ironisnya, laporan IEA (*International Energy Agency*) tahun 2015 menunjukkan ketimpangan yang sangat mencolok telah terjadi di mana sekitar 1,2 milyar (17%) penduduk dunia belum bisa menikmati listrik dan 2,7 milyar (38%) masih mengandalkan kayu bakar untuk memasak [2]. Perlu dicatat bahwa selain untuk energi, **produk-produk turunan minyak bumi dan gas alam juga merupakan bahan baku penting**

bagi industri kimia untuk menghasilkan aneka ragam plastik (termasuk PVC), serat dan karet sintetis, detergen, cat, pewarna sintetik, pupuk, pestisida, herbisida, dan lain-lain.

Penggunaan secara masif sumber daya fosil tersebut harus dibayar mahal, karena tidak saja menimbulkan **masalah lingkungan yang sangat serius berupa pencemaran lingkungan dan pemanasan global**, tetapi juga mendorong dunia ke arah tebing **krisis energi** yang akut, tidak menentu, dan makin mengkhawatirkan. Misalnya, akibat ketergantungan dunia yang sangat besar akan minyak mentah, maka ketidakstabilan politik, pasokan, dan harga minyak mentah akhir-akhir ini (Gambar 3) telah menyulitkan perencanaan ekonomi pada berbagai level dan sektor di berbagai belahan dunia.



Gambar 3. Fluktuasi harga minyak mentah dunia 2006 – 2015 [3]

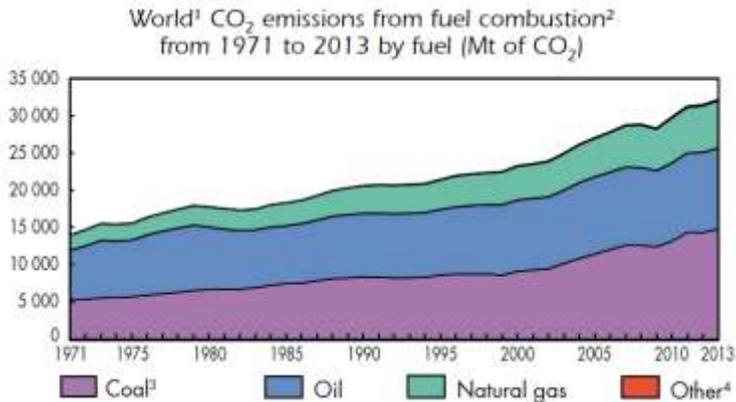
Meskipun demikian, penurunan tajam harga minyak dunia sejak pertengahan 2014 yang lalu telah membuka peluang emas untuk Indonesia mengurangi subsidi BBM secara signifikan untuk pertama kalinya di tahun 2015 dan menaikkan cadangan BBM nasional sebanyak hampir 100% di tahun 2016 ini. Walaupun harga minyak mentah yang di bulan Februari 2016 hanya berada di sekitar US \$ 30/barrel, **harga minyak dunia diperkirakan masih akan berfluktuasi dan akan mencapai kesetimbangan baru di sekitar US \$ 80/barrel pada 2020, dan selanjutnya akan berangsur-angsur naik [2].**

Walaupun dunia telah sampai pada komitmen global (***Copenhagen Accord 2009 yang merupakan kelanjutan Kyoto Protocol***) untuk menurunkan emisi Carbon dan terus meningkatkan efisiensi sistem energi guna menekan dampak pemanasan global yang semakin parah, **kebutuhan energi dunia tetap akan terus meningkat** seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan jumlah penduduk. International Energy Agency (IEA) memperkirakan **kenaikan sebesar 33% pada 2040 dari total kebutuhan energi dunia di tahun 2015**, terutama disebabkan kenaikan konsumsi energi di China, India, Afrika, Timur Tengah, dan ASEAN [2]. Namun patut disayangkan, IEA memperkirakan bahwa **sampai tahun 2035, sekitar 75% kebutuhan energi dunia masih ditopang oleh bahan bakar fosil** [4].

Perlu dicatat bahwa **China dan India** di tahun 2015 adalah 2 negara dengan populasi terbesar yaitu 2,7 milyar penduduk atau 37% penduduk dunia (*2015 World Population Data Sheet, Population Reference Bureau*) dan pertumbuhan ekonomi tertinggi di dunia **akan mengubah dan menentukan peta energi dunia di masa depan**. China diprediksi akan menyaling USA sebagai konsumen minyak bumi terbesar sebelum 2030 dan pada saat itu konsumsi gas alam China akan lebih besar dari seluruh negara Uni Eropa. India diperkirakan akan menjadi importir batubara terbesar di dunia sebelum 2020 melampaui China, Uni Eropa, dan Jepang. Nampaknya **kebergantungan dunia akan bahan bakar fosil** untuk menggerakkan roda perekonomian **masih akan terus berlanjut, paling tidak untuk beberapa dekade mendatang**.

Dampak terbesar bagi lingkungan hidup akibat penggunaan bahan bakar fosil adalah **pencemaran lingkungan (udara)** karena lepasnya aneka polutan ke atmosfer **dan pemanasan global yang disebabkan kenaikan kadar CO₂** (Gambar 4) yang merupakan gas rumah kaca utama [5] selain CH₄ (metana) dan N₂O (dinitrogen oksida). Dari gambar tersebut terlihat bahwa emisi CO₂ didominasi oleh pembakaran batu bara (merupakan bahan bakar fosil ‘terkotor’) dan produk-produk bahan bakar olahan minyak bumi.

Pencemaran lingkungan (udara) yang berat di sekitar kota-kota industri telah menimbulkan **kabut asap (photochemical smog)** yang selain menyesakkan nafas juga menghalangi sinar matahari. Selain itu, **hujan asam** akibatnya lepasnya SO₂ dari kandungan sulfur dalam bahan bakar adalah salah satu konsekuensi langsung yang bisa dirasakan oleh masyarakat di daerah padat industri akibat pencemaran udara.



Gambar 4. Dominasi bahan bakar fosil terhadap emisi gas CO₂ di dunia dalam periode 1971 – 2013 [1]

Pemanasan global menimbulkan banyak sekali **konsekuensi buruk** yang **disebabkan** oleh **perubahan iklim global** yang telah dan masih akan dirasakan manusia secara meluas. **Suhu ekstrim** baik saat musim dingin maupun di musim panas telah banyak memakan korban jiwa di berbagai belahan dunia. NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) telah mencatat bahwa tahun 2015 merupakan tahun terpanas dalam sejarah peradaban manusia [6]. **Kekeringan** akibat fenomena El Nino dan sebaliknya **banjir** di mana-mana juga telah rutin menghiasi berita di berbagai media massa. **Badai / topan** yang semakin kuat dan luas serta dengan frekuensi yang makin sering telah secara tragis mengubah hidup orang banyak di berbagai negara. National Geographic terbitan edisi khusus **“Energy for Tomorrow”** (June 2009) mengulas bahwa gunung es di Samudra Artik pada tahun 2007 kehilangan lebih banyak 22% es dibandingkan pada masa-masa sebelumnya dan fakta ini terjadi 30 tahun lebih awal dibandingkan dengan kalkulasi komputer yang memprediksi trend pemanasan global. **Pelelehan es** dalam jumlah yang sangat besar **di Samudra Artik** pada musim panas mengakibatkan bumi kekurangan cermin raksasa yang memantulkan kembali 80% radiasi sinar surya yang penting untuk keseimbangan cuaca dan temperatur global. Di samping itu, **melelehnya es daratan** di pegunungan tinggi dan daerah dekat kutub Utara dan Selatan telah menyebabkan kenaikan permukaan air laut yang berimbas langsung pada daerah-daerah pesisir dan negara-negara Oceania. Temperatur musim yang lebih hangat menyebabkan

merajalelanya hama-hama yang dapat merusak pertanian **dan serangga penyebar penyakit** seperti nyamuk.

Ahli iklim terkemuka dunia yang juga **ilmuwan NASA James Hansen** mengatakan bahwa agar kehidupan di muka bumi bisa berlangsung secara berkelanjutan, **sangat penting dan mendesak** untuk **menurunkan kadar CO₂ menjadi 350 ppm yang merupakan ambang batas ideal**. Jika kadar CO₂ tersebut, yang di bulan Februari 2016 telah berada pada level 404 ppm (<https://www.co2.earth>), **tidak dikendalikan dan diturunkan dengan segera**, maka dampak pemanasan global bisa dipastikan **akan lebih parah dan meluas**, serta tidak mustahil akan terjadi **perubahan iklim global permanen** yang tidak dapat dikembalikan (*irreversible*) menyebabkan planet ini menjadi tidak akan lagi 'ramah' dan layak untuk ditempati manusia.

Sumber daya fosil **memasok hampir 80% dari total energi primer** yang digunakan **di dunia saat ini** dan kebutuhannya terus meningkat dengan cukup tajam. Oleh karena itu, tidaklah heran **cadangannya makin menipis dengan cepat** sehingga US Department of Energy telah memprediksikan cadangan **minyak di dunia akan habis di akhir abad 21** ini, sedangkan **cadangan gas** alam global **diperkirakan bisa bertahan sampai pertengahan abad ke-22** (sekitar tahun 2165), dan **batu bara diprediksi akan habis pada tahun 2230 [7]**.

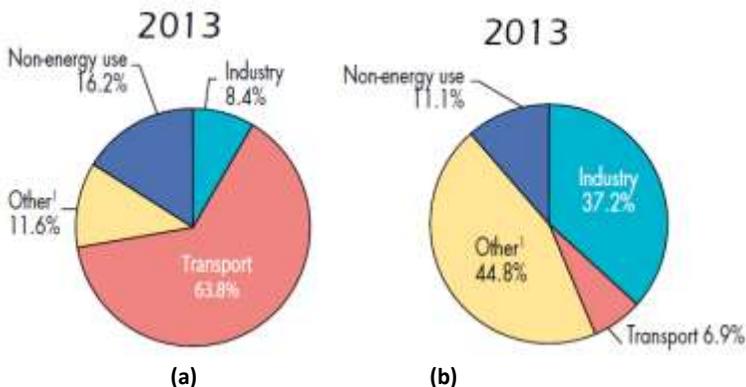
Uraian di atas telah menyadarkan kita semua bahwa **cadangan bahan bakar fosil makin menipis dengan sangat cepat** sementara kebutuhan akan energi (yang sayangnya sebagian besar masih dipenuhi oleh bahan bakar fosil) akan terus meningkat seiring dengan pertambahan jumlah penduduk dan taraf hidup yang semakin baik. Selain itu, **dampak penggunaan bahan bakar fosil** terhadap pencemaran udara dan pemanasan global **sudah mencapai level kritis**. Dengan demikian tidak bisa ditawar-tawar lagi, porsi bahan bakar fosil dalam bauran (komposisi) energi dunia **harus segera dikurangi secara bertahap**, jika manusia ingin **mewujudkan pertumbuhan yang berkelanjutan (sustainable)** baik **dari kaca mata ekonomi, sosial-politik, maupun lingkungan hidup**.

Oleh karena itu, banyak negara di dunia ini, termasuk Indonesia, **sudah dan akan terus berupaya** secara berangsur-angsur **menggunakan dan mengembangkan bahan bakar maupun sumber energi listrik yang terbarukan (termasuk energi nuklir)** untuk menggantikan peran vital bahan bakar fosil bagi pemenuhan energi dan pergerakan roda ekonomi dunia di masa yang akan datang, dan di saat yang

sama berusaha **menurunkan emisi CO₂ dengan teknologi CCS** (*Carbon Capture & Storage*), program **Carbon offset** (*carbonfund.org*), dan juga melakukan berbagai upaya **penghematan energi**. Semua upaya di atas baru akan memberikan **hasil yang nyata dan signifikan** jika diupayakan **secara global, terencana, dan terkoordinasi** dengan **komitmen yang sungguh-sungguh** dari seluruh umat manusia.

3. Upaya-upaya dunia mengurangi ketergantungan dan dampak bahan bakar fosil

Salah satu sektor yang **memakan bahan bakar fosil** terutama minyak bumi **dalam jumlah besar** adalah **sektor transportasi**, seperti yang digambarkan pada Gambar 5 (a) berikut ini.



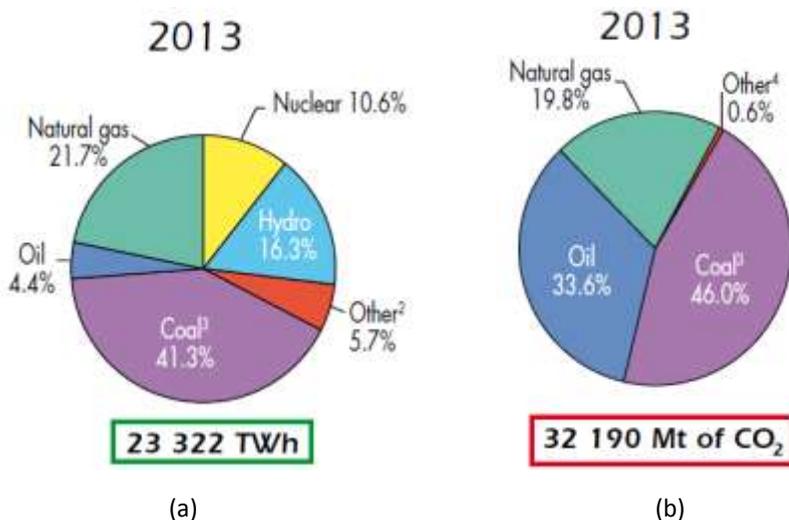
Gambar 5. Penggunaan minyak bumi (a) dan gas alam (b) pada berbagai sektor di tahun 2013 [1]

Oleh karena itu, pemakaian **sumber-sumber energi non-fosil** untuk menggerakkan **sektor transportasi sedang digalakkan** belakangan ini. Kita mengetahui bahwa **bioetanol** sudah dicampurkan ke dalam bensin umumnya sebanyak 10% (dikenal dengan *gasohol*) dan juga **biodiesel** dapat menggantikan solar sampai 20%. Substitusi bahan bakar minyak oleh **bahan bakar terbarukan (biofuel)** tersebut telah dilakukan hampir di seluruh dunia, termasuk di Indonesia. Selain itu, penggunaan **mobil-mobil hybrid** (yang menggunakan **motor listrik** dan motor bakar) bahkan penggunaan mobil 100% listrik, terutama di negara-negara maju, telah dan akan terus meluas. Misalnya saja, Presiden Barack Obama pada tahun

2009 sudah mencanangkan penggunaan sejuta mobil listrik di AS pada tahun 2015. Walaupun harganya lebih mahal, namun mobil listrik memiliki daya tarik sendiri yaitu biaya energi untuk menggerakkan mobil listrik di AS sudah semakin murah yaitu hanya kira-kira separuh dari mobil yang menggunakan bensin/diesel (harga di bulan Februari 2016 sekitar US\$ 2 per gallon). Di tahun 2015 lalu, walaupun harga minyak bumi sedang melorot tajam, penjualan mobil listrik di dunia telah naik sebesar 60%. Oleh karena itu, Bloomberg memperkirakan ledakan populasi mobil listrik akan terjadi lebih cepat yaitu di 2023. Alasannya adalah pabrikan-pabrikan mobil seperti Toyota, Honda, Ford, VW, BMW, dan Nissan sudah dan terus menggelontorkan dana investasi miliaran dollar AS untuk mengembangkan mobil listrik yang baru-baru ini telah direvolusi oleh Tesla. Bahkan di 2018 Tesla dan Chevrolet berencana akan menjual mobil kelas menengah listrik dengan jarak tempuh 320 km sekali isi batere penuh [8]. Kabar menggembirakan juga datang dari negeri tirai bambu, di mana pada 2015 produksi dan penjualan kendaraan ramah lingkungan (berupa mobil listrik dan hybrid) di China naik 3,3 kali lipat dari tahun 2014. Di tahun 2020 salah satu raksasa mobil China BAIC Group menargetkan bisa menjual 700.000 unit mobil listrik per tahunnya. Untuk itu, BAIC menginvestasikan sekitar 460 juta US\$ untuk pengembangan mobil listrik [9].

Selain untuk transportasi, **bahan bakar fosil** dipergunakan untuk menghasilkan sekitar **2/3 (67%) kebutuhan listrik dunia**, seperti yang telah dibahas di bagian 1 di atas. Oleh karena itu, pengembangan dan pemanfaatan teknologi **pembangkit listrik dari sumber non-fosil (listrik terbarukan dan nuklir)** sangatlah penting untuk mengurangi ketergantungan dunia pada sumber daya fosil. Di samping **energi air, angin, surya** di atas permukaan bumi terdapat pula potensi di bawah permukaan bumi berupa **panas geotermal** yang sering digunakan sebagai energi pembangkit listrik. **Energi non-fosil lainnya berupa energi nuklir** juga telah merupakan **pilihan utama beberapa negara maju** untuk memenuhi kebutuhan listriknya yang sangat besar, seperti USA menghasilkan 33 % dari total listrik nuklir dunia, Prancis 17%, Rusia 7%, dan Korea 5,6%. IEA mencatat pada tahun 2013 Prancis menghasilkan 75% listriknya dari energi nuklir, diikuti oleh Swedia dan Ukraina (masing-masing 43%), Korea (26%), sementara USA dan Inggris memproduksi sekitar 20% listrik dari energi nuklir dan Rusia sekitar 16%. Selain itu sumber-sumber **biomassa** tertentu (seperti limbah kayu, serbuk gergaji, dan lain-lain) juga sudah **mulai banyak dilirik dan dipergunakan** untuk keperluan **pembangkitan listrik**, meskipun masih **dalam skala relatif kecil**.

Data IEA yang dirilis pada tahun 2015 menunjukkan bahwa 41% listrik dunia dibangkitkan dengan batu bara (Gambar 7.a). Data lain menunjukkan emisi CO₂ tahun 2013 didominasi (Gambar 7.b) oleh batu bara yaitu sebanyak 46%, karena batu bara digunakan secara masif dan juga adalah bahan bakar fosil terkotor ditinjau dari emisi CO₂ yang dihasilkan. Industri, termasuk instalasi PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) batu bara, menggunakan 80% dari total konsumsi batu bara di tahun 2013.



Gambar 7. (a) Energi sumber (b) Emisi CO₂ pada instalasi pembangkit listrik di tahun 2013

Kekuatan dunia akan betapa masifnya pemakaian batu bara yang digunakan untuk pembangkitan listrik terutama di China, USA, India, German, Rusia, Afrika Selatan, dan Australia, telah melahirkan teknologi CO₂ capture & storage (CCS) yang dapat menangkap CO₂ dalam jumlah yang sangat besar dari cerobong PLTU batu bara dan kemudian diinjeksikan ke dalam bumi sehingga dapat mereduksi emisi CO₂ sampai lebih dari 90%. Teknologi ini telah dikembangkan dan akan terus disempurnakan oleh beberapa negara yaitu USA, China, dan juga Uni Eropa. Salah satu proyek besar yang telah dan akan terus berjalan adalah FutureGen 2.0 di Illinois - USA, dengan pembangkit listrik batu bara berkapasitas 229 MW. 98% CO₂ yang dihasilkan ditangkap, ditekan, dan dipipakan sejauh 30 mil untuk kemudian diinjeksikan melalui 4 sumur sampai ke kedalaman sekitar 1200 m [12]

berkembang untuk menanam pohon guna menyerap sebagian atau seluruh CO₂ yang dihasilkan dari kegiatan-kegiatan mereka [14]. Baru-baru ini kita dihentakkan oleh Mbah Sadiman, seorang kakek dari Wonogiri, yang diberitakan telah menanam 100 hektar lahan/bukit gundul selama 20 tahun dengan tangan dan biaya sendiri dengan ikhlas. Tidak heran Kick Andy menganugrahi Bapak pahlawan lingkungan ini dengan penghargaan sebagai Kick Andy's Hero 2016. Dengan bijak, Mbah Sadiman menyatakan harapannya agar hutan tidak dirusak dengan aksi pembakaran dan penebangan liar lagi demi keselamatan dunia dan anak-cucu kita. Aksi Mbah Sadiman belakangan telah menginspirasi sekitar 3000 anak muda yang bergabung dalam suatu wadah untuk melakukan aksi serupa.

Laporan World Energy Outlook 2015 yang dirilis IEA menyebutkan bahwa **efisiensi penggunaan energi** memainkan **peranan yang sangat kritis** karena dapat **membatasi pertumbuhan konsumsi energi dunia sebanyak sepertiganya sampai 2040** walaupun ekonomi global akan tumbuh 150% dari sekarang. **Cina dan India** (mengikuti **Jepang sebagai perintis**) telah **menetapkan target-target efisiensi yang diwajibkan** sehingga kebijakan efisiensi industri di seluruh dunia telah **meningkat tajam** dari hanya 3% pada 2005 menjadi lebih dari 30% saat ini, dan diharapkan negara-negara lain di dunia akan juga mengikuti langkah-langkah penting ini sampai 2040. Sebagai contoh, **efisiensi dari peralatan industri** (seperti truk dan kendaraan berat lainnya) sebelum 2030 **diprediksi dapat menghemat biaya energi** cukup besar (**sampai 15%**), dan saat ini sudah diatur di beberapa negara maju seperti AS, Kanada, Jepang, China, dan juga di Uni Eropa. Upaya-upaya **inovatif dalam perancangan produk** dan **penerapan konsep 3-R** (reduce, reuse, & recycling) juga membuka pintu untuk **penghematan energi yang signifikan** terutama untuk baja, semen, plastik, aluminium yang memerlukan energi sangat besar dalam proses produksinya [2].

Di samping upaya-upaya penting di atas, **upaya lain yang tidak kalah penting** jika dilakukan bersama-sama adalah **penghematan energi oleh masyarakat secara global** seperti mematikan lampu dan AC yang tidak digunakan, menggunakan lampu dan alat-alat elektronik yang lebih hemat listrik, menggunakan insulator rumah dan gedung yang efektif, membangun rumah / gedung dengan konsep *green building*, membeli bahan pangan produksi lokal, menggunakan transportasi publik, dan lain-lain [10]. Selain itu upaya-upaya 3-R dalam hidup sehari-hari seperti mendaur-guna-ulang kertas, plastik, kaleng, dan lain-lain dapat membawa dampak besar demi penghematan energi dunia.

Walaupun terlihat tidak berarti jika dilakukan sendiri-sendiri, namun jika milyaran orang di dunia sadar dan konsisten melakukan hal-hal tersebut di atas, maka dampaknya tidak akan diragukan lagi akan turut menyelamatkan dunia dari efek pemanasan global yang lebih parah.

Upaya-upaya global untuk meningkatkan penggunaan energi terbarukan dan efisiensi penggunaan energi telah membuahkan hasil yang cukup menggembirakan. Di **tahun 2014**, REN21 (*Renewable Energy Policy Network for the 21st Century*), sebuah lembaga non-profit internasional di bidang kebijakan energi terbarukan, melaporkan bahwa **emisi CO₂ yang berkaitan dengan konsumsi energi dapat dipertahankan stabil untuk pertama kalinya dalam 4 dekade terakhir** walaupun konsumsi energi global dunia, seperti yang bisa diduga, mengalami kenaikan yang cukup signifikan dari tahun sebelumnya [15]. Laporan yang sama menyebutkan bahwa **sekitar 19% konsumsi energi global telah dipasok oleh energi terbarukan di tahun 2013 dan terus mengalami peningkatan yang dimotori oleh pertumbuhan kapasitas terbesar di sektor kelistrikan yang bersumber dari energi angin, surya (*photovoltaic* cell), dan air (*hydropower*).** **Investasi di tahun 2014 untuk energi terbarukan adalah 270 milyar dollar, meningkat 6 kali lipat dari satu dekade sebelumnya.** Negara-negara yang dominan dalam mengembangkan dan menggunakan energi terbarukan adalah China, USA, Jepang, Uni Eropa, Brazil, India, dan Afrika Selatan. **Di tahun 2014, hampir 60% tambahan listrik secara global berasal dari sumber terbarukan,** sehingga di penghujung tahun itu **kontribusi listrik terbarukan bisa mencapai sekitar 28% dari total kapasitas listrik dunia. Produksi global bahan bakar terbarukan di 2014 juga sangat menjanjikan yaitu bioetanol sebanyak 94 juta kL dan biodiesel 29,7 juta kL dibandingkan produksi di tahun 2004 yang hanya 28,5 (bioetanol) dan 2,4 juta kL (biodiesel).**

4. Potensi pemanfaatan biomassa dan listrik terbarukan di Indonesia beserta tantangannya

Kementrian ESDM telah memperkirakan **total potensi energi terbarukan** yang dimiliki **Indonesia** mencapai **810 GW (GigaWatt)**, yang terdiri dari **surya (560 GW atau 69,1%)**, angin (107 GW atau 13,2%), energi laut (61 GW atau 7,5%), biomassa (34 GW atau 4,2%), panas bumi (29 GW atau 3,6%), hydro atau air (19 GW atau 2,3%). Ironisnya, **baru hanya sekitar 1,1%** atau sebesar 8,78 GW energi terbarukan yang sudah termanfaatkan [16]. Sebagai perbandingan, total produksi

listrik Indonesia yang berasal dari bahan bakar fosil di tahun 2010 adalah 27,7 GW (84%) dari total 33 GW, sisanya berasal dari energi panas bumi dan tenaga air [17].

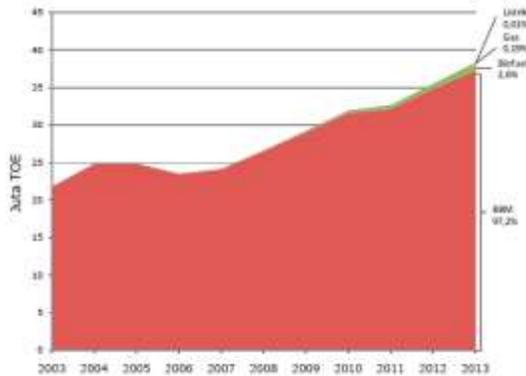
Sementara itu, **cadangan energi fosil Indonesia sudah sangat kritis** karena diperkirakan (berdasarkan cadangan total dan produksi 2010) **minyak bumi Indonesia akan habis dalam waktu 18 tahun lagi**, sementara **gas bumi akan bertahan hanya sekitar 50 tahun lagi**, dan **batu bara mungkin bisa cukup hanya sampai 85 tahun** yang akan datang [18]. Dewan Energi Nasional mengingatkan bahwa Indonesia sangat rentan terhadap perubahan kondisi minyak bumi global yang **sangat berpengaruh pada ketahanan energi nasional** sebagai akibat dari tingginya ketergantungan pasokan dari luar negeri. Cadangan minyak di bumi Indonesia hanya berkisar 0,5% dari total cadangan minyak bumi dunia, dengan laju produksi yang terus mengalami penurunan dalam 20 tahun terakhir, sementara laju konsumsi BBM terus mengalami peningkatan [19]. Selain itu, cadangan batubara Indonesia yang hanya 0,8% dunia terus dikuras dengan cepat karena hampir 80% produksi batubara Indonesia untuk keperluan ekspor dengan akibat cadangan batubara bisa habis dalam waktu 50 tahun jika tidak ada peningkatan cadangan terbukti (*proven reserve*). Laporan dari IEA tahun 2015 menunjukkan bahwa **Indonesia pada tahun 2013 adalah negara terbesar kedua** di dunia setelah Jepang yang **mengimpor produk-produk bahan bakar olahan minyak bumi** seperti LPG, bensin, solar, avtur, dan lain sebagainya [1].

Oleh karena itu, jika **potensi energi terbarukan yang demikian besar tersebut tidak segera dimanfaatkan secara optimal**, maka Indonesia **niscaya** akan mengalami **krisis energi dalam beberapa dekade mendatang**. Rupanya pemerintah sudah menyadari hal tersebut dan pada tahun 2010 di masa pemerintahan SBY telah disusun **Blueprint Pengembangan Energi Baru Terbarukan (EBT) dan Konservasi Energi** dengan visi **tersedianya dan termanfaatkannya 20% EBT** dalam bauran energi nasional pada **tahun 2025**. Rekomendasi pemerintah SBY adalah **menurunkan penggunaan energi fosil** (migas dan batu bara) dan **memprioritaskan penggunaan EBT** sebagaimana diatur dalam **PP No 79 / 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional**.

Selanjutnya pada era pemerintahan Jokowi, Dewan Energi Nasional di bawah komando kementerian ESDM telah menyusun laporan **Outlook Energi Indonesia (OEI) 2014** yang merupakan referensi penting tentang **prakiraan kondisi (penyediaan dan penggunaan) energi Indonesia** menggunakan *baseline* 2013 dengan proyeksi **hingga 2050**. Beberapa **fakta terbaru dan prakiraan (proyeksi) yang cukup penting** tentang penyediaan dan konsumsi energi Indonesia beserta tantangannya **disarikan dan dikutip** dari **laporan OEI 2014** tersebut **dalam bagian 4.1 sampai dengan 4.7** di bawah ini.

4.1 Konsumsi energi di Indonesia (2003 – 2013, OEI 2014)

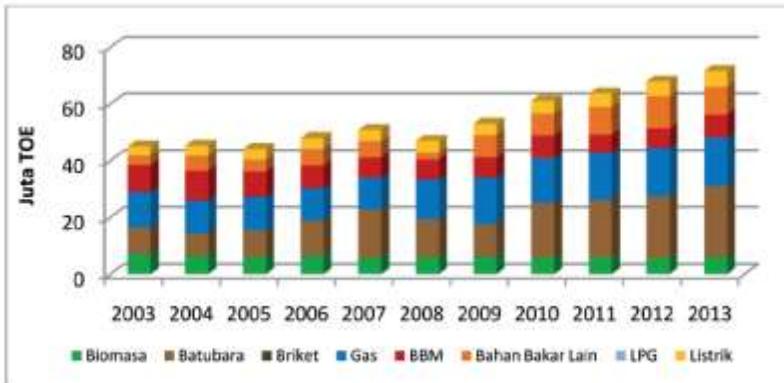
Di sektor transportasi (pengguna 27% energi total di tahun 2013), **BBM masih mendominasi** sebagai sumber utama penggerak berbagai moda transportasi publik maupun pribadi, seperti yang terlihat pada grafik berikut ini. Satuan energi yang digunakan adalah **TOE (tonnes oil equivalent)** yang setara dengan **11,63 MWh**.



Sumber: Kementerian ESDM, diolah oleh DEN, 2013

Gambar 9. Konsumsi Energi Sektor Transportasi di Indonesia

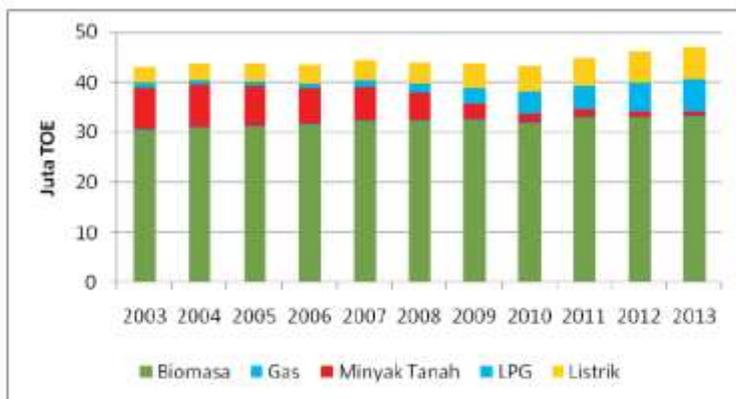
Gambaran suram serupa juga terjadi di sektor industri (pengguna 33% energi total di tahun 2013), di mana energi fosil masih mendominasi tapi penggunaan biomassa sebagai salah satu EBT hampir tidak berubah selama 10 tahun (Gambar 10).



Sumber: Kementerian ESDM, diolah oleh DEN, 2013

Gambar 10. Konsumsi Energi Sektor Industri di Indonesia

Kondisi yang terbalik ditunjukkan oleh **sektor rumah tangga** (pengguna 27% energi total di tahun 2013), di mana **penggunaan biomassa termasuk kayu bakar justru mendominasi** (Gambar 11), yang jika dibiarkan akan menambah kerusakan hutan yang sudah sangat parah akibat pembukaan lahan-lahan perkebunan. Laporan *The Guardian* pada bulan Juni 2014 menyebutkan Indonesia kehilangan 840.000 hektar hutan di tahun 2012, dua kali lipat dibandingkan Brazil yang memiliki luas hutan 4 kali Indonesia [20].

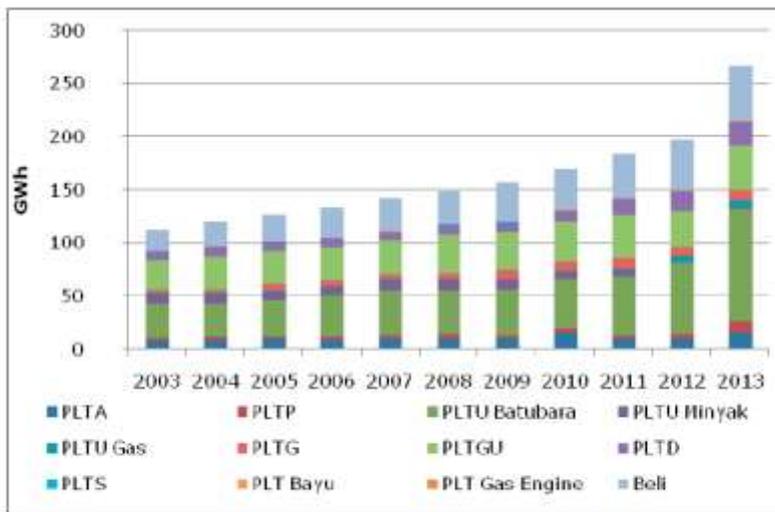


Sumber: Kementerian ESDM, diolah oleh DEN, 2013

Gambar 11. Konsumsi Energi Sektor Rumah Tangga di Indonesia

4.2 Produksi listrik di Indonesia (2003 – 2013, OEI 2014)

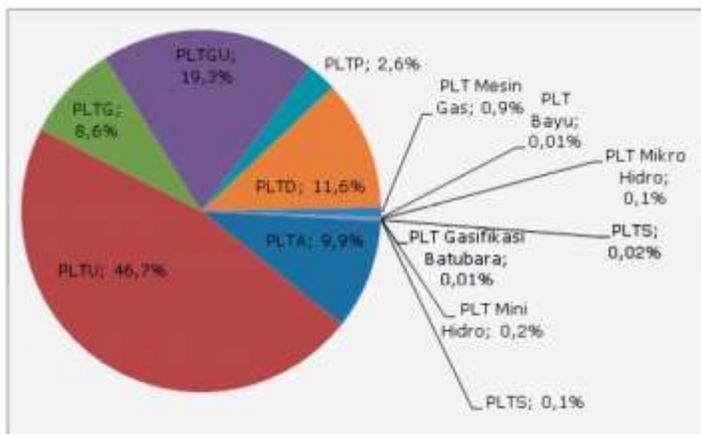
Laporan **OEI 2014**, seperti yang diilustrasikan oleh Gambar 12, menyebutkan bahwa “ Produksi dari **PLTU meningkat sebesar 6,9% per tahun**, dengan komposisi PLTU Batubara meningkat sebesar 8,9%, sementara PLTU Minyak menurun sebesar 18,0% dan PLTU Gas meningkat sebesar 16,0% per tahun. Untuk PLTG dan PLTGU masing-masing meningkat sebesar 13,7% per tahun dan 2,5% per tahun. Adapun untuk **pembangkit listrik berbasis energi baru dan terbarukan, pertumbuhannya masih rendah** yaitu sebesar **4,4% per tahun** untuk **PLTA** dan sebesar **3,9% per tahun** untuk **PLTP (panas bumi)** dan untuk pembangkit EBT (energi baru terbarukan) lainnya sangat kecil.”



Sumber : Kementerian ESDM, diolah oleh DEN, 2013
 Nota : Beli adalah Pembelian listrik oleh PLN

Gambar 12. Produksi Listrik Menurut Pembangkit di Indonesia

Komposisi pembangkit listrik di Indonesia pada tahun 2013 disajikan dengan lebih rinci dalam gambar di bawah ini.



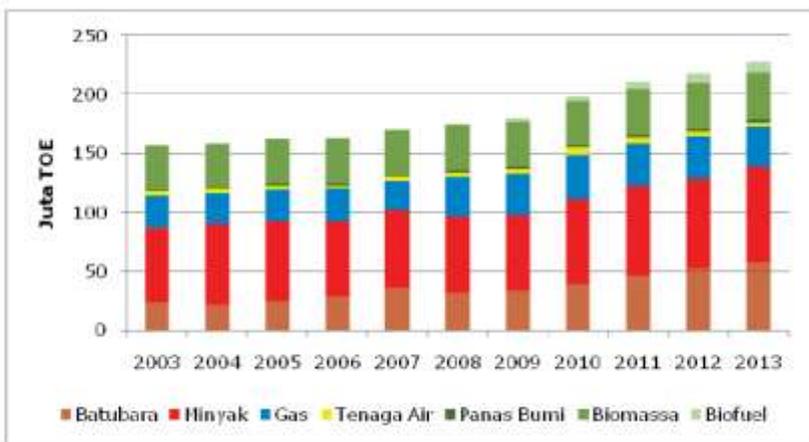
Sumber : Kementerian ESDM, diolah oleh DEN, 2013

Gambar 13. Komposisi Pembangkit Listrik di Indonesia pada 2013

Kedua Gambar di atas menunjukkan **peran energi baru dan terbarukan (EBT)** untuk **pembangkitan listrik masih sangat kecil** yaitu masih di bawah 10% sampai 2013.

4.3 Penyediaan energi di Indonesia (2003 – 2013, OEI 2014)

Potret konsumsi energi di berbagai sektor utama dan juga produksi listrik nasional, seperti yang telah diuraikan di atas, tentu saja tercermin pada **penyediaan energi primer (bahan bakar dan listrik) di Indonesia** yang mengalami peningkatan dari sekitar 157,08 juta TOE pada tahun 2003 menjadi sekitar 228,22 juta TOE pada tahun 2013 atau **meningkat rata-rata sebesar 3,8% per tahun**. Terlihat jelas bahwa penyediaan energi primer di Indonesia **masih didominasi oleh minyak** yang mencakup minyak bumi dan bahan bakar minyak (BBM) **yang sekitar 50% harus diimpor**. Perkembangan penyediaan energi primer di Indonesia pada 2003 sampai dengan 2013 dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



Sumber : Kementerian ESDM, diolah oleh DEN, 2013

Gambar 14. Pertumbuhan Penyediaan Energi Primer di Indonesia (2003 – 2013)

Gambaran konsumsi dan penyediaan energi Indonesia pada 2003 – 2013 di atas menunjukkan **betapa tingginya kebergantungan Indonesia pada energi fosil**. Mengingat cadangan fosil kita terutama minyak bumi sudah cukup kritis, perlahan tapi pasti Indonesia harus bergerak dari **fossil-based economy** to **bio-and-**

renewable-based economy. Sebenarnya, **potensi EBT di Indonesia** yang sangat besar yaitu sebesar **810 GW (atau ekuivalen dengan energi sebesar 610 juta TOE per tahun)** jauh lebih dari cukup untuk **menyediakan kebutuhan energi nasional**, terutama di sektor kelistrikan, seperti yang telah diuraikan di atas.

Akan tetapi, **pemanfaatan energi baru dan terbarukan** (biomassa, air, panas bumi, surya, dll.) **sampai detik ini belum bisa maksimal** dikarenakan jenis energi ini belum dapat bersaing dengan energi konvensional seperti minyak, batu bara, dan gas bumi. Selain **membutuhkan investasi awal yang cukup besar, biaya pokok produksi EBT** untuk listrik dan bahan bakar (bioetanol dan biodiesel) pada sektor transportasi **relatif masih lebih tinggi** dari energi fosil. Namun, dengan adanya **kebijakan penghapusan subsidi BBM secara bertahap** untuk sektor transportasi dan **kebijakan Feed-in Tariffs (FiT) pada sektor listrik terbarukan akan berdampak positif** pada berkembangnya pemanfaatan energi baru dan terbarukan di Indonesia. **FiT** merupakan salah satu kebijakan untuk **memberikan jaminan kepastian tarif harga listrik kepada para investor EBT**, sehingga akan menarik lebih banyak investor **untuk menanamkan modal** di sektor listrik terbarukan. Sampai saat ini Kementerian ESDM telah menerbitkan **4 jenis FiT untuk panas bumi, bioenergi, hidro, dan surya [21]**.

4.4 Tantangan pengelolaan energi di Indonesia di masa depan (OEI 2014)

Pada saat ini, **pengelolaan energi di Indonesia masih cukup memprihatinkan** disebabkan **beberapa tantangan besar** yang harus dihadapi sektor energi, yaitu :

- a. **perubahan paradigma** pembangunan **energi nasional** dengan **keharusan mengurangi dan menghentikan ekspor energi fosil** dengan akibat perlu **mencari pengganti peran sektor energi dalam penerimaan APBN;**
- b. **harga energi yang terjangkau** oleh masyarakat dan **mengurangi subsidi** yang ada pada harga tersebut;
- c. **pemanfaatan EBT belum optimal;**
- d. **kondisi infrastruktur yang belum optimal;**
- e. **prioritas pembangunan energi** untuk mencapai **target bauran energi nasional** yang ditetapkan **dalam Kebijakan Energi Nasional (KEN) 2050;** dan
- f. **desentralisasi** perencanaan, tanggung jawab **pembangunan energi nasional** serta **menyiapkan cadangan energi nasional.**

Kebijakan Energi Nasional (KEN) menuju tahun **2050** disusun oleh **Dewan Energi Nasional** dan kemudian ditetapkan oleh Pemerintah melalui **PP No 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN)**, yang merupakan penjabaran dari **UU No 30 Tahun 2007 tentang Energi**, dalam rangka untuk menuju kemandirian dan ketahanan energi nasional. Mengutip laporan OEI 2014 “KEN disusun berdasarkan asas kemanfaatan, rasionalitas, efisiensi berkeadilan, peningkatan nilai tambah, berkelanjutan, kesejahteraan masyarakat, pelestarian fungsi lingkungan hidup, ketahanan nasional, dan keterpaduan dengan mengutamakan kemampuan nasional”. Terbitnya **PP No 79 Tahun 2014** tersebut diharapkan menjadi langkah awal untuk dapat menjawab tantangan-tantangan tersebut diatas.

4.5 Kebijakan-kebijakan pendukung KEN 2050 (OEI 2014)

Kebijakan-kebijakan untuk mencapai kemandirian dan ketahanan energi dirumuskan dengan terlebih dahulu **membuat proyeksi kebutuhan energi nasional sampai tahun 2050**, agar dapat mengantisipasi kebutuhan energi yang dapat **menjamin pertumbuhan ekonomi jangka panjang**. Proyeksi tersebut dibuat **berdasarkan potensi sumber daya energi nasional**, baik yang berasal dari energi fosil maupun sumber energi terbarukan lainnya.

Memasuki tahun **2025**, diharapkan **EBT mampu berkontribusi** di dalam bauran energi nasional **sebesar 87 juta TOE (23%)** dan pada tahun **2050 sampai 304 juta TOE (31%)**. Oleh karena itu, potensi EBT harus dikembangkan dan pemanfaatannya **perlu didukung oleh regulasi yang memiliki kepastian hukum**, agar tidak hanya dapat mengatasi persoalan energi nasional ke depan tetapi juga akan menciptakan banyak lapangan kerja baru.

DEN telah **merumuskan sejumlah kebijakan terkait energi** (yang menjadi tantangan sekaligus menjadi acuan dalam penyusunan OEI 2014) yang diharapkan akan **membantu pemecahan masalah yang saling berkaitan terjadi di sektor energi**, yaitu sebagai berikut:

- i. **Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN GRK):** merupakan **pedoman untuk langkah-langkah** dalam memfasilitasi perubahan iklim, guna **menurunkan emisi gas rumah kaca pada tahun 2020**. Aksi yang dilakukan dengan upaya sendiri sebesar 26% dan dengan dukungan internasional sebesar 15% (total 41%) **melalui pengembangan EBT dan pelaksanaan konservasi energi di seluruh sektor**.

RAN GRK telah ditetapkan dalam **Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011** tentang **Rencana Aksi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca**.

- ii. **Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI):** adalah **percepatan dan perluasan pembangunan ekonomi Indonesia** menyediakan pembangunan berdasarkan koridor wilayah kepulauan Indonesia untuk mengubah Indonesia menjadi salah satu **kekuatan ekonomi besar dunia pada tahun 2025**. Untuk mencapai tujuan ini, pertumbuhan ekonomi riil harus mencapai 7–9 % per tahun. Pelaksanaan program utama MP3EI akan mencakup 8 (delapan) program utama antara lain konektivitas pertanian, pertambangan, energi, industri, kelautan, pariwisata, telematika, serta pengembangan kawasan strategis.
- iii. **Domestic Market Obligation (DMO):** adalah kebijakan mengenai **keajiban pemenuhan pasokan energi, khususnya batubara, bagi kebutuhan dalam negeri (domestik)** dengan mewajibkan **bagi badan usaha swasta dan Badan Usaha Milik Negara (BUMN)** menyerahkan hasil produksinya untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Kebijakan ini telah tertuang dalam **Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 2901K/30/MEM/2013** tentang Penetapan Kebutuhan dan Presentase Minimal Penjualan Batubara untuk kepentingan dalam negeri.
- iv. **Kebijakan Fiskal:** adalah kebijakan terkait sektor keuangan fiskal yang mendukung sektor keenergian dengan **mengatur pemberian insentif** bagi pengembangan di sektor energi. Peraturan Perundangan yang terkait dengan fiskal antara lain **Undang-undang Nomor 21 Tahun 2014 tentang Panas Bumi**.
- v. **Rencana Induk Konservasi Energi Nasional (RIKEN) :** melalui Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 14 Tahun 2012 tentang Manajemen Energi, **konservasi energi yang dilakukan pada tahap penyediaan dan tahap perusahaan energi** harus dilakukan melalui perencanaan yang berorientasi pada penggunaan teknologi yang efisien; pemilihan prasarana, sarana, bahan dan proses serta pengoperasian sistem yang juga efisien. Pada **tahap pemanfaatan energi**, pengguna energi wajib menggunakan energi secara hemat dan efisien. **Pengguna energi** yang menggunakan energi **sama atau lebih besar dari 6.000 setara ton minyak (TOE) per tahun wajib** melakukan **konservasi energi melalui manajemen energi** yang meliputi penunjukan manajer energi, penyusunan program konservasi energi, pelaksanaan audit energi secara berkala, melaksanakan

rekomendasi hasil audit energi, dan pelaporan pelaksanaan konservasi energi setiap tahun kepada Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral.

- vi. **Feed-in Tariff (FiT):** adalah suatu bentuk **kebijakan subsidi** terhadap Unit Usaha Pembangkit Listrik, agar **investasi untuk pengembangan EBT menjadi lebih menarik dan lebih menguntungkan bagi para investor**, dan **disalurkan dalam dua sistem** yakni sistem FiT dan sistem *Tradable Green Certificate* (TGC). Sistem FiT diberikan untuk membangun unit pembangkit EBT yang baru dalam rangka menarik investor, sedangkan sistem TGC lebih diberikan bagi unit pembangkit energi terbarukan yang sudah ada untuk meringankan biaya operasionalnya.
- vii. **Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN):** ditetapkan bagi pemerintah daerah, pelaku usaha, serta bagi pemegang izin usaha penyediaan tenaga listrik **sebagai acuan dalam pembangunan dan pengembangan sektor ketenagalistrikan di masa mendatang**. RUKN disusun berdasarkan pada kebijakan energi nasional dan mengikutsertakan pemerintah daerah, sehingga akan menjadi dasar bagi penyusunan Rencana Umum Ketenagalistrikan Daerah (RUKD).
- viii. **Pengembangan Industri Nasional dalam *Engineering Procurement Construction* (EPC) dan Manufaktur Pengadaan Peralatan Pembangunan Industri Energi Nasional.**

Industri Energi Nasional, mulai dari hulu sampai hilir **memiliki kesempatan bisnis yang sangat besar**, namun sayangnya saat ini pengembangannya **kebanyakan dinikmati oleh kekuatan asing**. Akibatnya, perekonomian Indonesia terbebani oleh tingginya komponen impor dan kebutuhan devisa untuk membayar EPC pembangunan seluruh rantai sistem energi tersebut, mulai dari eksplorasi sumber daya alam (SDA), transportasi SDA dan energi final, konversi SDA menjadi energi final, bahkan peralatan pengguna energi di sisi konsumen seperti: boiler industri, kompresor, mobil, dan lainnya. Oleh karena itu, **industri nasional** yang bergerak di bidang **EPC dan manufaktur peralatan di industri energi perlu dikembangkan secara bertahap dan maksimal**.

4.6 Proyeksi kebutuhan dan penyediaan energi Indonesia sampai 2050

Dalam laporan **OEI 2014** tersebut, DEN telah membuat **prakiraan (proyeksi) kebutuhan energi nasional** dalam periode 2013-2025 dan kemudian 2025-2050 dengan **2 skenario yaitu BaU (Business as Usual) dan KEN (Kebijakan Energi Nasional) secara menyeluruh, yaitu berdasarkan jenis energi (listrik, BBM, batubara, gas, BBN, dan EBT lainnya), sektor pengguna (industri – termasuk untuk bahan baku, transportasi, rumah tangga, komersial, sektor lainnya), dan koridor/wilayah (Jawa, Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Bali & Nusa Tenggara, Maluku & Papua).**

Untuk skenario BaU, total konsumsi energi nasional (termasuk biomassa tradisional) diproyeksikan meningkat menjadi 298 juta TOE pada tahun 2025 dan 893 juta TOE pada tahun 2050 atau mengalami kenaikan rata-rata masing-masing sebesar 4,9% per tahun selama periode 2013-2025 dan 4,5% per tahun periode 2025-2050. Sedangkan **untuk skenario KEN, pada tahun 2025 konsumsi akan meningkat menjadi 253 juta TOE** atau tumbuh sebesar 3,4% per tahun dan **meningkat menjadi 595 juta TOE pada tahun 2050** atau mengalami pertumbuhan sebesar 3,5% periode 2025-2050.

Penerapan **sasaran dan target KEN** dalam pengelolaan energi nasional (seperti **usaha-usaha diversifikasi, penghematan energi, efisiensi peralatan** serta usaha lainnya) akan **menekan pertumbuhan konsumsi energi di seluruh sektor pengguna**. Usaha-usaha konservasi dan efisiensi yang lebih ketat, dilakukan antara lain dengan melanjutkan **kebijakan revitalisasi industri** tidak hanya terbatas pada industri gula dan pupuk tetapi industri lainnya, peningkatan **penggunaan kendaraan bermotor dengan efisiensi tinggi**, serta **peningkatan standar dan labelisasi peralatan elektronik**. Dengan adanya **peningkatan efisiensi peralatan listrik di berbagai sektor** akan mengurangi konsumsi listrik secara signifikan. Skenario KEN **dapat menghemat konsumsi listrik di berbagai sektor** secara total akan mencapai sekitar **14% pada tahun 2025 dan 34% di tahun 2050** dibandingkan dengan skenario BaU.

Konsumsi energi primer yang lebih rendah dalam **skenario KEN** akan **didominasi oleh EBT** (sebesar 31% pada tahun 2050) sehingga akan **berdampak terhadap rendahnya emisi CO₂** yang dihasilkan jika dibandingkan dengan skenario BaU. Untuk skenario BaU, total emisi CO₂ mencapai 3.551 juta ton CO₂ pada tahun 2050. Skenario KEN akan menghasilkan **reduksi emisi CO₂ sebesar 48% dari skenario BaU** dengan total emisi mencapai 1.851 juta ton CO₂.

Selain menyusun prakiraan kebutuhan energi sampai 2050, DEN **juga telah membuat prakiraan penyediaan energi primer (minyak, batu bara, gas bumi, EBT, dan biomassa tradisional)** dengan 2 skenario tersebut. Untuk skenario BaU selama periode 2013-2050, **pasokan total energi primer** (termasuk biomassa

tradisional/rumah tangga) diperkirakan meningkat dari 222 juta TOE pada 2013 **menjadi sekitar 1.286 juta TOE pada 2050** atau tumbuh rata-rata 5,0% per tahun. Sedangkan berdasarkan **skenario KEN**, pasokan total energi primer (termasuk biomassa tradisional) akan meningkat **menjadi sekitar 885 juta TOE pada 2050** atau tumbuh rata-rata sebesar 3,9% per tahun.

Skenario KEN dapat memberikan **penghematan penyediaan energi primer sebesar 13% untuk tahun 2025 dan 30% pada tahun 2050** dibandingkan skenario BaU, diakibatkan antara lain oleh **penerapan teknologi hemat energi dan perpindahan moda transportasi**. Untuk skenario KEN, **usaha-usaha konservasi dan diversifikasi energi** juga akan lebih ditingkatkan agar target bauran KEN dapat tercapai.

4.7 Rekomendasi DEN dalam Outlook Energi Nasional 2014

Setelah melakukan **analisa yang komprehensif dan mendalam**, **DEN telah merumuskan beberapa rekomendasi penting** bagi pemerintah untuk menyusun strategi dan mengeluarkan kebijakan-kebijakan penting di sektor energi demi menjamin ketahanan energi dan kesinambungan pembangunan ekonomi Indonesia dalam jangka panjang.

- a. **Diperlukan kilang minyak baru atau *upgrading* kilang** yang sudah ada dengan **kapasitas 2,8 juta barel per hari** sampai dengan tahun 2050 guna **memenuhi kebutuhan BBM** dalam negeri.
- b. **Meningkatkan kompetensi** kegiatan **eksplorasi** untuk menambah cadangan dan meningkatkan lifting **minyak bumi**.
- c. Pemerintah **perlu segera menetapkan cadangan strategis, membangun cadangan penyangga energi, dan meningkatkan cadangan operasional** untuk menjamin ketersediaan dan ketahanan energi nasional.
- d. Pemerintah perlu segera **mengembangkan infrastruktur gas bumi**, termasuk pembangunan infrastruktur gas **untuk meningkatkan pemanfaatan BBG di sektor transportasi**.
- e. **Mengutamakan penggunaan gas dalam negeri untuk keperluan energi dan bahan baku industri** dan secara bertahap menghentikan ekspor gas, dan mewajibkan kepada seluruh pemegang izin niaga gas untuk membangun infrastruktur penyaluran gas.
- f. Mempercepat **penyelesaian permasalahan perusahaan panas bumi** yang telah melalui proses lelang berdasarkan Kebutuhan ESDM nomer 17 tahun 2014 tentang "Pembelian Tenaga Listrik dari PLTP dan Uap Panas Bumi untuk PLTP oleh PLN".

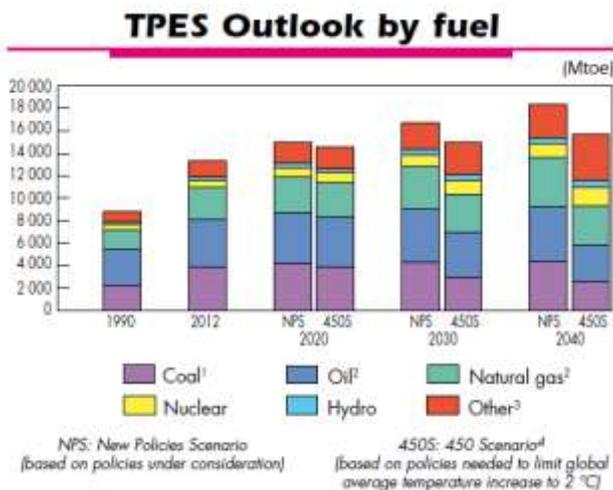
- g. **Membangun industri *solar cell* nasional dari hulu sampai hilir**, dan memberikan kemudahan dan insentif bagi swasta untuk membangun industri solar cell.
- h. Pemerintah perlu **menyusun formula dan mekanisme penetapan harga BBN (Bahan Bakar Nabati)**, serta membangun kemampuan riset dan industri otomotif nasional untuk memaksimalkan pemanfaatan BBN.
- i. **Menetapkan lahan khusus untuk pengembangan tanaman bahan baku BBN berbasis masyarakat** yang tidak boleh dikuasai oleh perusahaan asing.
- j. **Penurunan intensitas permintaan energi nasional khususnya sektor transportasi dan industri**; melalui **pembangunan sistem transportasi massal perkotaan**, penggunaan kendaraan hemat energi (**mobil hibrida**), penggunaan **utilitas kogenerasi**, penggunaan **proses industri yang hemat energi**; dan lain-lain.
- k. Perlu adanya **regulasi tentang kandungan lokal**, merumuskan kebijakan dan **membangun kapasitas dan kemampuan industri nasional untuk pengembangan industri energi nasional** dan seluruh **infrastrukturnya**, guna menciptakan aktifitas ekonomi baru, sekaligus meminimumkan impor dan pengeluaran valuta asing dalam pembangunan sektor energi.
- l. **Menyiapkan regulasi dampak lingkungan penggunaan batubara di pembangkitan listrik dan sektor industri** serta pengawasan penerapannya, khususnya terkait dengan emisi debu, NOx dan SOx; serta menyiapkan industri nasional untuk memberikan kontribusi kandungan lokal yang maksimum terhadap *manufacturing* dan EPC "*abatement technologies*" dalam pembakaran batubara.
- m. Dengan berkoordinasi dengan seluruh pemangku kepentingan, **menyiapkan kajian dan analisa kuantitatif yang komprehensif dan detil dalam menyusun perencanaan yang terintegrasi terhadap upaya diversifikasi dan konservasi energi** dengan **implementasi yang konsisten**, serta didukung oleh **kebijakan fiskal** yang memadai dan **kebijakan harga energi**, guna mengurangi potensi kenaikan konsumsi BBM dan sekaligus volume impornya.

4.8 Perbandingan KEN 2050 dengan World Energy Outlook 2040

Laporan EOI 2014 menyebutkan bahwa **peranan minyak bumi dalam bauran total kebutuhan energi primer Indonesia diprediksi akan terus menurun** di masa mendatang. Kebijakan ini telah sejalan dengan **proyeksi kebutuhan energi primer dunia dalam World Energy Outlook 2040** yang dirilis oleh IEA pada 2015.

Kontribusi minyak dalam bauran energi Indonesia pada tahun 2035 akan mencapai sekitar 27%, dimana angka ini serupa dengan pangsa minyak dunia di tahun yang sama. Di sisi lain, EBT diharapkan **mampu berkontribusi sebesar 87 juta TOE (23%)** di dalam bauran energi nasional pada tahun **2025**, dan pada tahun **2050** sudah dapat mencapai **304 juta TOE (31%)**.

Sebagai perbandingan, **Gambar 15** memberikan **proyeksi TPES (Total Primary Energy Supply) di dunia sampai 2040** dengan 2 skenario. **Skenario NPS** adalah skenario **berdasarkan kebijakan-kebijakan** yang sedang dipertimbangkan **dalam skala global saat ini**, sedangkan **skenario 450S** adalah skenario yang **menargetkan stabilisasi kadar CO₂ global di level 450 ppm setelah tahun 2014**.



Gambar 15. Proyeksi Pasokan Energi Primer Dunia Sampai 2040 [1]

4.9 Langkah-langkah awal pengembangan EBT di Indonesia

Walaupun Indonesia telah mulai memanfaatkan energi baru terbarukan (EBT) sebagai pengganti energi fosil yang cadangannya mulai menipis, namun tidak seperti negara-negara maju, **pengembangan EBT di Indonesia** hingga saat ini **masih belum begitu menggembirakan**. Peran EBT di Indonesia masih sangat kecil, yaitu **hanya sekitar 8%** (termasuk biomassa komersial) dari total **bauran energi primer tahun 2013**. Penyediaan energi di Indonesia di tahun yang sama masih didominasi oleh energi fosil khususnya minyak, yang mencakup minyak bumi dan

produk turunannya sekitar 43%, diikuti oleh batubara 28% dan gas 22% [19]. Oleh karena itu, untuk mewujudkan target KEN 2050 tersebut diperlukan upaya-upaya yang terencana, terarah, terukur, terintegrasi, konsisten, dan melibatkan semua pihak.

Sebagai langkah awal, pemerintah baru-baru ini di bulan Maret 2016 telah mengambil kebijakan-kebijakan **pro energi terbarukan**, yang ditunjukkan oleh kerja sama **Otoritas Jasa Keuangan (OJK) dan Kementerian Energi & Sumber Daya Mineral (ESDM)** dalam program Percepatan Pengembangan **Energi Baru, Energi Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE)**. Menteri ESDM Sudirman Said menyatakan bahwa percepatan pengembangan EBTKE memerlukan 4 terobosan utama, yakni dalam hal kebijakan, finansial, teknologi, dan kapasitas. Oleh karena itu, OJK mendorong industri jasa keuangan **untuk memperbesar pembiayaan di sektor energi terbarukan** yang potensinya sangat besar. MoU kedua lembaga tersebut dibuat sebagai pedoman kerjasama dan koordinasi **guna mendukung program pemerintah dalam mempercepat pengembangan EBTKE** melalui peningkatan peran lembaga jasa keuangan [22].

Di sektor kelistrikan, untuk mencapai **target 25% listrik dari EBT pada tahun 2025** dibutuhkan **investasi hingga Rp 1.600 triliun**, sementara **dana APBN** untuk pengembangan EBT hingga 2025 adalah **sekitar Rp 260 triliun**. Kementerian ESDM akan segera **membentuk Badan Layanan Umum (BLU)** yang berfungsi untuk **mengumpulkan Dana Ketahanan Energi (DKE)** dalam rangka **mendukung percepatan pengembangan EBT**. Perlu dicatat bahwa DKE porsi pemerintah bukan berasal dari pungutan penjualan BBM melainkan **berasal dari APBN**. Badan ini diharapkan **dapat mengumpulkan kekurangan dana tersebut dari swasta, hibah, utang, atau sumber lainnya**. Untuk tahap awal pemerintah akan menyuntikkan dana 1 – 2 triliun sebagai modal awal BLU-DKE, yang **diharapkan sudah dapat terbentuk di bulan Juni 2016 yad** [23].

Kebijakan-kebijakan dan target-target pemerintah yang dengan serius **mendorong pengembangan EBT** rupanya **mulai membuahkan hasil yang menggembirakan**. **Swiss**, negara yang sudah menggunakan 90% energi listrik terbarukan (dari hidro, nuklir, angin, surya dan lain-lain), di akhir bulan Maret yang lalu **menjajaki peluang investasi energi terbarukan di Indonesia**, meliputi pengembangan energi di sektor geothermal, surya, mikro hidro, dan angin [24]. Wakil Presiden Swiss, Doris Leuthard beserta delegasi bisnis dalam kunjungannya di Indonesia menawarkan investasi di sektor energi baru terbarukan (EBT). Dari

beberapa investasi untuk pengembangan EBT, Swiss paling **tertarik untuk membangun pabrik panel surya di Indonesia** mengingat program percepatan EBT Indonesia untuk kebutuhan listrik di kawasan Timur rupanya menjadi peluang paling menguntungkan buat Swiss [25].

Di samping perintisan DKE untuk percepatan pengembangan EBT untuk pembangkit listrik, **di sektor transportasi** pemerintah juga sedang **mempersiapkan kebijakan dalam pengembangan mobil listrik**. Untuk saat ini, pengembangan mobil listrik masih dihadapkan pada **dua tantangan besar yaitu teknologi baterai** (berat dan ketahanan) **dan juga sarana prasarana pendukungnya** yaitu berupa *charging station* [26]. Dalam sektor ini, pemerintah akan mengambil pendekatan yang agak berbeda yaitu hanya akan **menyiapkan insentif-insentif** saja sementara pengembangan mobil listrik akan diserahkan kepada pihak swasta [27]. Perlu dicatat bahwa pengguna sepeda motor di Indonesia sangat banyak yaitu sudah menembus 100 juta di tahun 2015 [28], dan masih akan tumbuh sekitar 12% per tahun. Oleh karena itu, Honda sebagai salah satu pabrikan motor terbesar sedang mengembangkan sepeda motor listrik yang sedianya akan diluncurkan di Indonesia pada tahun 2018 [29].

Dari uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa **dunia, khususnya Indonesia**, sedang berada dalam **masa transisi di dalam revolusi energi global** yang beralih **dari fossil-based economy** menuju **bio-and-renewable-based economy**. Didesak oleh terutama makin tipisnya cadangan sumber energi fosil dan juga komitmen dunia terhadap bahaya pemanasan global, sementara di sisi lain konsumsi energi akan terus meningkat, **Indonesia harus memiliki** tidak hanya **kemampuan (*knowledge & technology*)** melainkan **juga kearifan (*wisdom*)** di dalam **mengelola dan memanfaatkan** aneka jenis **sumber daya energi** (fosil, EBT, dan nuklir) yang dimilikinya **untuk menjamin ketahanan energi nasional** bagi generasi yang akan datang.

5. Tantangan dalam peralihan (transisi) basis sistem energi

Dr. Ir. Tatang Hernas Soerawidjaja, yang karena kepemimpinan dan perintisan beliau, oleh beberapa kalangan disebut sebagai **Bapak (*godfather*) dari pengembangan** (teknologi, industri, dan pemanfaatan) **bahan bakar nabati (*biofuel*) di Indonesia**. Beliau dalam kuliah inaugurasi AIPI (Akademi Ilmu Pengetahuan Indonesia) di bulan April 2013 menyebutkan bahwa **demi menjamin**

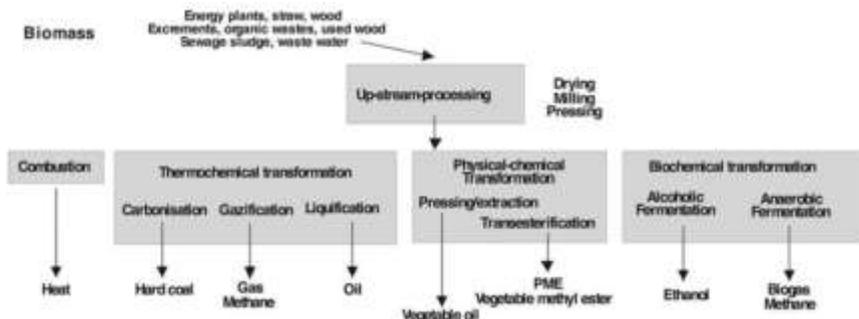
transisi yang lancar dan mulus dalam pergantian basis sistem energi tersebut, kita harus mencermati bahwa **karena sumber daya fosil** (yang telah menjadi tumpuan utama selama paling sedikitnya seratus tahun terakhir) pada hakekatnya **adalah sumber daya bahan bakar**. Tidaklah heran jika kebanyakan 'mesin-mesin' dan teknologi-teknologi konversi energi yang paling luas tersedia dewasa ini telah dikembangkan dan dikomersialkan untuk mengkonversi sumber daya bahan bakar **menjadi energi-energi final yaitu listrik dan aneka bahan bakar bermutu tinggi**. Oleh karena ini, beliau menjelaskan untuk menjamin kesinambungan (*continuity*) penyediaan energi yang sangat penting untuk mendukung pembangunan di segala sektor, **industri energi perlu mencari sumber daya terbarukan yang dapat dikonversi menjadi energi-energi final tersebut dengan menggunakan 'mesin-mesin' dan teknologi- teknologi yang sudah tersedia luas tersebut**. Dalam pencarian inilah, **sumber daya nabati (*bioresource*) teridentifikasi sebagai pilihan terdepan**, karena **biomassa adalah satu- satunya sumber energi terbarukan yang berkarakter serupa dengan sumber daya fosil** dan, terutama sekali, **dapat menjadi sumber penyediaan bahan-bahan bakar terbarukan berkualitas tinggi**, sementara sumber-sumber energi terbarukan lainnya (panas bumi, tenaga air, tenaga angin, energi surya, dan energi arus, gelombang, dan termal laut) hanya bisa mudah dikonversi menjadi listrik.

Dengan demikian, Dr. Tatang menegaskan bahwa **“pemanfaatan bioenergi** (yaitu energi final yang diperoleh dari sumber daya nabati atau biomassa) **adalah jembatan kritikal transisi sistem energi, dari berbasis sumber daya fosil menjadi berbasis sumber daya terbarukan”**. Oleh karena itu, **industri bioenergi (terutama bahan bakar nabati cair) beserta perkebunan pendukungnya perlu segera dipersiapkan, diperluas, dan diperkuat**, mengingat perannya yang amat sangat penting untuk mendukung ketahanan energi Indonesia di masa yang akan datang.

6. Sumber-sumber dan teknologi konversi biomassa untuk bahan bakar nabati (*biofuel*)

Terdapat banyak proses yang dapat digunakan untuk mengkonversi biomassa menjadi bahan bakar padat, cair, maupun gas seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 16 di bawah ini. Biomassa, yang merupakan sumber *biofuel*, secara

umum dapat diartikan sebagai aneka jenis bahan organik alami yang terbarukan seperti minyak nabati, gula dan karbohidrat, limbah hasil pertanian, perkebunan, dan peternakan, bahan lignoselulosik (kayu-kayuan), dan sebagainya [30]. Walaupun demikian, beberapa limbah industri tertentu juga dapat mengandung bahan organik yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif seperti misalnya limbah padat industri polymer, pelarut-pelarut organik, dan lumpur dari pengolahan limbah cair.



Gambar 16. Aneka teknologi aplikatif konversi biomassa [31]

Namun dalam bagian ini, penulis lebih fokus untuk menyoroti sumber-sumber / potensi dan teknologi pemanfaatan biomassa Indonesia berupa minyak nabati, alga laut, dan biomassa dari pertanian dan perkebunan untuk dikonversi menjadi bahan bakar nabati (*biofuel*). Sampai saat ini, ada 3 jenis bahan bakar nabati cair yang sudah dikomersialisasikan, yaitu bioetanol (biasanya dicampurkan ke dalam bensin sampai 10%), biodiesel (umumnya dicampurkan ke dalam solar sampai 20% yang dikenal umum sebagai biosolar), dan *green diesel* yang merupakan hidrokarbon terbarukan (biohidrokarbon). Selain bahan bakar nabati cair, beberapa jenis biomassa seperti limbah peternakan dapat dikonversi dengan proses fermentasi menjadi biogas, baik dalam skala kecil maupun besar.

Bahan bakar nabati yang berasal dari biomassa sangat strategis untuk dikembangkan karena menghasilkan bahan bakar cair yang memiliki banyak keunggulan dibandingkan bahan bakar gas dan padat. Bahan bakar cair dapat disimpan secara relatif lebih mudah dan aman untuk jangka waktu lama sehingga dipakai sebagai cadangan siaga, di mana IEA menyarankan suatu negara memiliki minimal 90 hari kebutuhan yang diimpor untuk keadaan darurat. Selain itu, **bahan bakar cair memiliki kerapatan energi yang besar dan portabel**

sehingga mudah diangkut dan dikirim jarak jauh. Kelebihan lain bahan bakar cair adalah **relatif mudah dinyalakan tapi tidak mudah meledak** sehingga sampai saat ini **sangat penting perannya bagi sektor transportasi** baik darat, laut, maupun udara. Oleh karena itu, jika tidak memungkinkan untuk digunakan langsung maka bahan bakar gas atau padatan sering dikonversi dulu menjadi bahan bakar cair. Misalnya, Jerman pada perang dunia II telah mengembangkan teknologi untuk mengubah batubara menjadi BBM melalui gabungan proses gasifikasi dan *Fischer Tropsch*. Di akhir bulan Maret 2016, Pemerintah RI sedang berencana untuk meningkatkan cadangan BBM dalam negeri yang saat ini hanya berkisar 18 – 22 hari menjadi lebih dari 30 hari (atau tambahan 15 hari) dengan membeli dan menyewa tangki-tangki raksasa penyimpan BBM di Iran dan Arab Saudi. Untuk keperluan ini, pemerintah mesti merogoh kocek cukup dalam yaitu sebesar 23,3 triliun rupiah [32].

Pabrik bioetanol (dari fermentasi gula seperti tetes tebu / molases dan pati misalnya singkong, sagu, ubi jalar) **dan biodiesel** (dari minyak nabati seperti minyak sawit) saat ini **sudah cukup banyak dan akan terus bermunculan** di Indonesia seiring dengan keseriusan pemerintah untuk mewujudkan KEN 2050. Akan tetapi, **green diesel belum dimasukkan ke dalam salah satu komponen biofuel dalam KEN 2050**, padahal Singapura pada tahun 2010 yang lalu telah mendirikan pabrik *green diesel* (dan LPG sebagai produk sampingan) terbesar di dunia dengan kapasitas 800.000 ton/tahun, dari pengolahan CPO (*crude palm oil*) Indonesia dan Malaysia. **Bioetanol dan biodiesel** hanya dapat digunakan **sebagai substitusi** (campuran) **bahan bakar fosil**. Bagi Indonesia, ini memang dapat membantu mengurangi peningkatan impor solar dan bensin, **tetapi hanya 10 – 20 %**. Sisanya tetap harus diimpor sehingga **menyebabkan tekanan berat terhadap neraca pembayaran negara** dan pernah menimbulkan krisis di masa lalu yang bisa terulang lagi jika tidak benar-benar dipikirkan untuk jangka panjang. Wood Mackenzie Inc. memperkirakan Indonesia akan menjadi **importir bensin terbesar di dunia pada tahun 2018**, karena kapasitas kilang domestik stagnan (sudah \pm 20 tahun) sementara impor BBM (bensin dan solar), yang jumlahnya di tahun 2015 sekitar 50% dari kebutuhan, dari tahun ke tahun terus membumbung [33].

Dalam waktu dekat pemerintah berencana untuk menerapkan cukai BBM yang selain bermanfaat untuk mendidik masyarakat untuk berhemat BBM, juga dapat dipakai untuk menyiapkan infrastruktur pemanfaatan gas bumi untuk sektor transportasi, sehingga pada akhirnya dapat menghemat devisa negara dalam

jumlah yang fantastis [34]. Selain untuk sektor transportasi, pemanfaatan gas bumi juga bisa menggantikan peran BBM dalam pembangkit listrik dan menghasilkan penghematan yang sangat signifikan dan juga lebih baik untuk lingkungan karena gas bumi adalah bahan bakar yang lebih bersih. Sebagai contoh, PLTD Gas (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Gas) berkapasitas 200 MW di Pesanggaran (Benoa, Bali) akan menggunakan LNG (*Liquid Natural Gas*) dari Bontang Kalimantan Timur mulai April 2016. Hasilnya biaya sebesar 4 milyar rupiah per hari bisa dihemat berkat pengurangan pemakaian BBM sebesar 547 kilo Liter (kL) per hari dari sebelumnya pemakaian BBM sebesar 2.190 KL per hari. Keuntungan lainnya adalah penggunaan gas bumi tersebut dapat menurunkan emisi CO₂ dari sebelumnya, sebesar 978.448 ton per tahun menjadi 694.170 ton per tahun [35].

Tidak dapat disangkal, **impor BBM merupakan penyebab utama defisitnya neraca pembayaran negara** di beberapa tahun yang lalu **dan devaluasi nilai rupiah terhadap US\$**. Oleh karena itu, sebelum minyak bumi makin langka dan mahal, mungkin sebelum 2025, **Indonesia perlu memanfaatkan kelebihan (surplus) produksi sawit dan mulai membudidayakan tanaman-tanaman penghasil minyak non-pangan**, seperti kemiri sunan, jarak pagar, kapok, pongam, nimba, nyamplung [33, 36] untuk **menggantikan hidrokarbon** yang berasal dari **minyak bumi**. Langkah-langkah nyata **harus dimulai dari sekarang juga**, mengingat **untuk mematangkan perkebunan komersial dalam skala besar seperti sawit membutuhkan waktu** tidak sebentar, yaitu antara **10 – 15 tahun**.

6.1 Industri hidrokarbon terbarukan

Komoditas-komoditas kunci di dalam **sistem energi berbasis fosil** adalah **minyak bumi dan produk-produk turunannya**, yaitu bahan-bahan bakar minyak (**BBM**), yang secara ilmiah bisa kita sebut **bahan bakar hidrokarbon (senyawa-senyawa organik yang hanya terdiri dari atom Hidrogen dan Karbon) cair**. Karena keunggulan-keunggulan bahan bakar cair dibandingkan bahan bakar padat maupun gas, ketika ketersediaan minyak bumi dirasa mulai kurang memadai di masa yang akan datang, maka **teknologi-teknologi untuk mengkonversi 2 sumber daya fosil lain** (batubara dan gas bumi) **menjadi bahan bakar hidrokarbon cair**, yaitu *coal to liquids* (CTL) dan *gas to liquids* (GTL) **perlu diterapkan [36]**.

Seperti yang telah diuraikan sebelumnya, basis sistem energi dituntut untuk beralih dari berbasis fosil menjadi berbasis sumber terbarukan. Oleh karena itu, **ahli-ahli teknologi energi berupaya untuk mengembangkan bahan bakar cair alternatif** dan juga mencari dan **memanfaatkan sumber daya nabati** yang dapat dengan **mudah dikonversi menjadi hidrokarbon cair [37]**. Sebagian ahli telah dan sedang **mengembangkan padanan teknologi CTL dan GTL, yaitu Biomass to Liquids (BTL) untuk memproduksi hidrokarbon cair dari biomassa lignoselulosik** seperti kayu, jerami, bagas (ampas tebu), rumput-rumputan, dan tandan kosong sawit. Sedangkan sebagian ahli lainnya, yang menyadari bahwa asam-asam lemak dan minyak-minyak nabati sebenarnya sudah 85 - 90 % hidrokarbon, **mengembangkan teknologi hidrokarboksilasi dan hidrokeksigenasi untuk mengkonversi minyak-minyak nabati menjadi hidrokarbon cair**. Kesangat-miripan asam lemak dengan hidrokarbon dapat digambarkan dengan membandingkan asam palmitat (asam heksadekanat, $C_{16}H_{32}O_2$), yang banyak ditemukan dalam minyak nabati terutama minyak sawit, dengan heksadekana (setana, $C_{16}H_{34}$) yg merupakan komponen utama solar yang memiliki angka setan sempurna (100). Jika minyak nabati direaksikan dengan gas Hidrogen (H_2), maka 83-85% minyak nabati akan berubah menjadi hidrokarbon cair (*green diesel*) dan juga sedikit (sekitar 5%) menjadi produk sampingan berupa gas propana untuk LPG.

Karena lebih mudah dilaksanakan, **teknologi hidrokarboksilasi dan hidrokeksigenasi minyak nabati** telah **lebih dahulu mencapai tahap komersial** dan menulang-punggungi lahirnya **industri bio-hidrokarbon** atau **hidrokarbon terbarukan [37]**. Belakangan ini di dunia telah ada sekitar 5 pabrik bahan bakar hidrokarbon terbarukan dan paling sedikitnya 1 yang berkapasitas besar di Singapura yang menggunakan minyak sawit Indonesia sebagai bahan mentah. **Bersama-sama dengan industri biodiesel dan industri bioetanol** yang telah lebih dahulu tumbuh, **industri biohidrokarbon akan melengkapi industri bahan bakar nabati (biofuel) dalam menjembatani peralihan sistem energi dunia**. Biodiesel dan bioetanol adalah bahan bakar oksigenat (alias mengandung oksigen) yang jika dicampurkan ke dalam bahan bakar hidrokarbon akan memperbaiki emisi-emisi gas buang kendaraan penggunanya.

Industri biodiesel dan biohidrokarbon yang akan terus tumbuh dan **memicu keperluan untuk mengembangkan minyak nabati non-pangan**, agar persaingan antara industri bahan bakar nabati dan industri pangan bisa dihindari. **Peranan**

minyak-lemak nabati di dalam perekonomian akan menjadi sangat penting seperti yang pernah ditegaskan oleh Bernie Tao, guru besar ilmu pangan dan rekayasa pertanian Universitas Purdue (USA), “*Dalam beberapa dekade mendatang, peranan minyak-lemak nabati dalam perekonomian akan sepenting minyak bumi saat ini*” [38].

Sehubungan dengan hal ini, perlu kita catat bahwa **berbagai pohon-pohon** potensial **sumber minyak nabati non-pangan** (dengan perolehan minyak yang diperkirakan bisa **lebih dari 2 ton per hektar per tahun**) masih tersimpan di dalam kekayaan aneka ragam hayati (*mega diversity*) negeri ini, menunggu kreativitas dan upaya nyata kita untuk mengembangkannya demi ketahanan energi dan pertumbuhan ekonomi, yaitu antara lain : **mabai (*Pongamia pinnata*), nyamplung (*Calophyllum inophyllum*), nimba (*Azadirachta indica*), kemiri sunan (*Aleurites/Reutealis trisperma*) dan gatep pait (*Samadera/Quassia indica*)** [37]. Selain minyak-minyak tersebut, ada beberapa pohon lainnya yang merupakan penghasil minyak non-pangan yang berpotensi dijadikan bahan baku *green diesel* dan biodiesel yaitu **pohon pongam, biji bintaro, kesambi, jarak pagar**. Sedangkan **minyak kelapa dan minyak inti sawit (*palm kernel oil*)** sangat berpotensi untuk dikembangkan menjadi *bioavtur*, dan **minyak biji karet** yang merupakan limbah perkebunan dapat dijadikan *biogasoline*. Selain itu, Indonesia memiliki juga **minyak biji kapok/randu dan biji kepo** yang dapat menghasilkan *green diesel* bertitik beku rendah karena mengandung hidrokarbon bercabang [36]. Dengan makin matangnya teknologi konversi minyak nabati menjadi bahan bakar nabati (BBN), **diharapkan 10-20 tahun ke depan minyak nabati menjadi primadona bagi produksi BBN**. Dalam hal potensi sumber daya minyak nabati, Indonesia di masa depan akan layaknya seperti kawasan Timur-Tengah saat ini yang merupakan lumbung minyak dunia.

Selain dapat mengkonversi minyak nabati menjadi biohidrokarbon terbarukan, **para ahli sedang meneliti kemungkinan** membuat **bahan bakar cair dari sumber-sumber karbohidrat** seperti pati dan gula (dari tetes tebu, sorgum manis, sagu, singkong) **dan juga dari selulosa** (dari biomassa lignoselulosik) **menjadi bensin** menggunakan teknologi baru yang terinspirasi oleh teknologi MTG (*methanol/ethanol to gasoline*) yang dikembangkan oleh Exxon-Mobil [33]. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Amyris untuk **merekayasa ragi** sehingga dapat **mengubah glukosa menjadi hidrokarbon farnesen** yang kemudian bisa dihidrogenasi **menjadi BBN** untuk transportasi [39]. Penelitian-penelitian

semacam ini yang **diharapkan bisa komersial dalam satu-dua dekade** mendatang akan **memberikan harapan yang sangat baik untuk Indonesia** yang bisa mengandalkan tidak hanya sawit dan tetes tebu seperti untuk saat ini, tapi juga **mengandalkan minyak-minyak lain (terutama minyak non-pangan) dan juga sumber-sumber karbohidrat serta biomassa lignoselulosik** yang sangat melimpah di bumi pertiwi ini.

6.2 Bioetanol dan biodiesel generasi 2

Brazil dan **Indonesia, sebagai negara tropis yang memperoleh sinar matahari sepanjang tahun**, dikenal memiliki **kekayaan biomassa yang sangat besar (*mega diversity*)**. Beberapa **sumber biomassa yang penting di Indonesia** dan berpotensi untuk dikonversi menjadi sumber bahan bakar antara lain **gabah sisa hasil pengolahan padi, kelapa sawit, gula tebu, kelapa, hasil hutan (*forestry*), limbah industri pengolahan kayu, dan berbagai macam limbah hasil pertanian dan peternakan**. Pemilihan sumber biomassa yang tepat perlu mempertimbangkan faktor teknis, ketersediaan, sosial dan ekonomi [40]. Tentu saja jikalau memungkinkan, sumber biomassa yang akan dipilih adalah sumber bio-massa yang tidak digunakan sebagai bahan pangan kecuali produksinya sudah surplus (berlebihan).

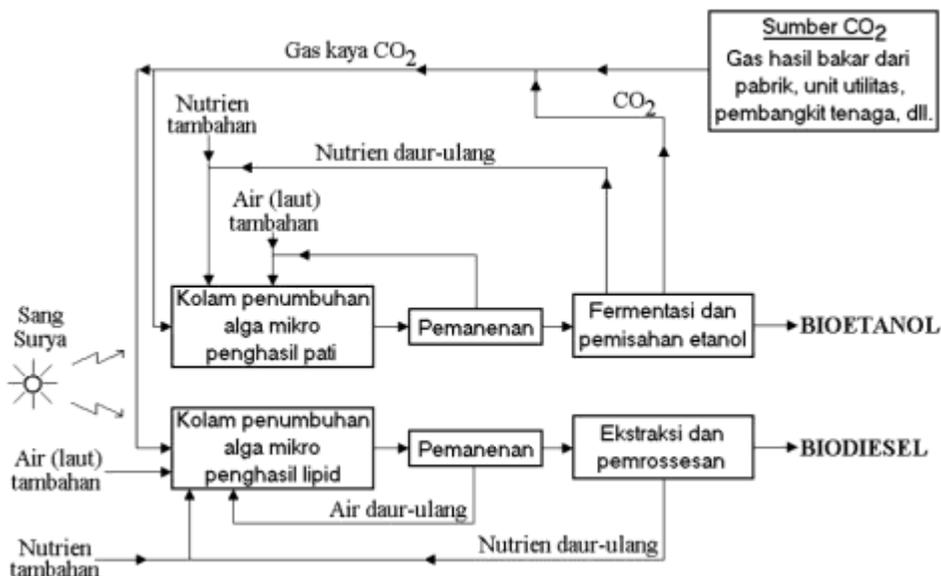
Sumber biomassa berupa limbah-limbah pertanian, perkebunan yang **mengandung material selulosa dan lignin** (bahan lignoselulosik) yang jumlahnya cukup besar di Indonesia sangat **berpotensi untuk dimanfaatkan** dengan teknologi yang tepat **menjadi bahan bakar cair, yaitu bioetanol dan biodiesel generasi kedua**.

Bioetanol generasi kedua adalah **bioetanol yang dibuat via delignifikasi biomassa dan dilanjutkan dengan fermentasi gula selulosa**. Amerika Serikat dan Canada memelopori teknologi ini dengan mendirikan pabrik demonstrasi sejak 2004. Pabrik bioetanol generasi kedua **diharapkan akan segera memasuki tahap komersial**. Selain itu, **para ahli energi** saat ini (terutama di Uni Eropa seperti Jerman) **masih berupaya mengembangkan padanan teknologi CTL dan GTL, yaitu Biomass to Liquids (BTL) untuk memproduksi hidrokarbon cair, termasuk biodiesel generasi kedua (*green diesel*)**, dari biomassa lignoselulosik seperti kayu, jerami, bagas, rumput-rumputan, dan tandan kosong sawit. **Biodiesel generasi kedua** adalah ***green diesel* yang dibuat dari bahan lignoselulosik melalui kombinasi teknologi gasifikasi dan sintesis Fischer-Tropsch**. Teknologi ini

berpeluang untuk **diterapkan secara komersial pada skala menengah dan diperkirakan akan bisa komersial dalam satu-dua dekade mendatang**. Pabrik demonstrasi komersial pertama teknologi BTL di Freiburg, Jerman mulai beroperasi pada bulan April 2008 [36]. Sebagai gambaran **pada tahun 2008 ketersediaan bahan baku biomassa di Indonesia** berupa limbah pertanian, bagas (ampas tebu), limbah kelapa dan sawit adalah **sebesar 74.000 juta ton**. Limbah pertanian dan perkebunan sebesar itu **dapat dikonversi menjadi bioetanol generasi 2 setara bensin sebanyak 10,7 juta ton [18]**.

6.3 Potensi alga laut sebagai sumber bahan bakar nabati

Alga laut jenis tertentu (mikro alga) sudah diteliti untuk dijadikan **sumber daya bahan bakar nabati (bioetanol dan biodiesel)** karena dapat **menghasilkan pati dan minyak nabati** sebagai hasil fotosintesisnya. Diagram pengolahan alga laut dapat dilihat pada gambar berikut ini.

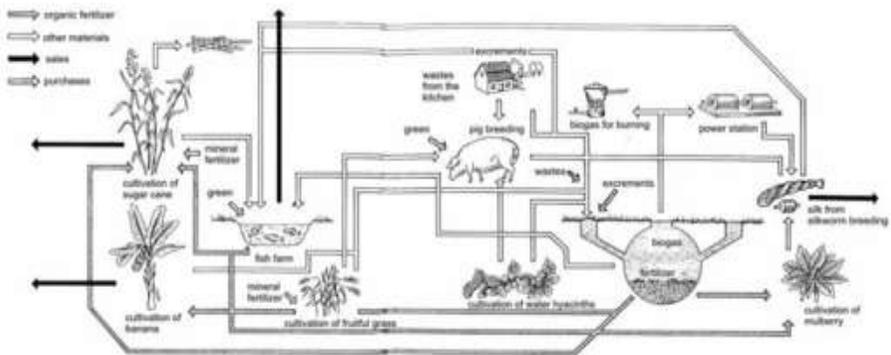


Gambar 17. Diagram pengolahan mikro alga laut menjadi bahan bakar nabati bioetanol dan biodiesel [36]

Indonesia, sebagai negara tropis dan salah satu negara dengan garis pantai terpanjang di dunia, sangat berpotensi untuk mengembangkan sumber daya alga laut untuk bahan bakar terbarukan. Namun sampai saat ini, tantangan yang dihadapi dan masih perlu diteliti adalah mencari species alga laut yang tepat yang dapat dengan mudah diendapkan (dipisahkan) dari air laut sehingga biaya produksinya bisa lebih ekonomis.

6.4 Potensi dan pemanfaatan biogas

Di banyak negara (seperti di China, India, German, Rusia) limbah peternakan berupa kotoran ternak dimanfaatkan menjadi sumber energi alternatif juga terbarukan yaitu biogas, baik dalam skala kecil maupun besar. Secara umum semua jenis limbah biomassa asalkan mengandung karbohidrat, protein, lemak, selulosa dan hemiselulosa dapat diubah menjadi biogas. Biogas mengandung 55 – 70 % gas metana (CH₄) yang dihasilkan dari proses biologis alami ketika bahan organik terurai dalam kondisi lembab tanpa udara (oksigen) dibantu oleh mikroba-mikroba alami seperti bakteri penghasil metana. Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk memasak dan pemanasan, bahkan sebagai energi pembangkit listrik. Selain bermanfaat untuk menghasilkan energi, pemanfaatan limbah peternakan ini juga dapat meningkatkan tingkat kebersihan (*hygiene*) di lingkungan sekitar. Salah satu konsep unit pertanian-peternakan terintegrasi sudah diterapkan di China, seperti yang diilustrasikan dalam diagram di bawah ini.



Gambar 18. Diagram unit pertanian-peternakan terintegrasi dengan sistem pemanfaatan biogas [31]

Selain menanam tebu dan pisang, mereka juga memiliki hewan-hewan ternak, kolam budidaya ikan, bahkan peternakan ulat sutra. Semua limbah ternak yang dihasilkan tidak ada yang terbuang namun dikumpulkan dan dimanfaatkan untuk menghasilkan biogas untuk keperluan masak dan pemanasan bahkan untuk menggerakkan generator listrik skala kecil.

Di samping limbah pertanian-peternakan, sejumlah besar bahan organik dari biomassa juga dapat dikumpulkan dari limbah organik rumah tangga. Jika dibiarkan dibuang ke *landfill* (TPA), sampah organik akan terurai dengan sangat lambat dan menimbulkan emisi CH_4 yang merupakan gas rumah kaca yang puluhan kali lebih kuat dibandingkan dengan CO_2 . Oleh karena itu, di negara-negara maju seperti di Jerman dan Swiss, limbah rumah tangga dan pasar sudah sejak lama (tahun 1990-an) dipilah dalam kontainer khusus untuk dikumpulkan dan dikonversi menjadi biogas dalam skala besar. Satu kilogram limbah organik domestik dapat menghasilkan 0,4 – 0,6 m^3 biogas di mana 1 m^3 biogas yang dihasilkan memiliki kandungan energi setara dengan 0,6 liter minyak bakar [31]. Tetangga kita Singapore baru saja di tahun 2016 ini mengoperasikan sebuah fasilitas pembangkit biogas yang memanfaatkan limbah organik domestik dan juga air limbah buangan domestik dalam skala besar [41]. Contoh lain di kota Toyohashi Jepang (dengan jumlah penduduk 380 ribu orang) limbah kota dan septic tank sebanyak 59 ton per hari akan diolah menghasilkan listrik buat 1900 rumah dan sisa fermentasi biogas masih bisa diolah menjadi bahan bakar padat [42].

Di Indonesia teknologi biogas sederhana sudah mulai banyak diterapkan di pertanian-peternakan untuk keperluan memasak, melalui program bioenergi pedesaan (BEP) dari kementerian ESDM. Baru-baru ini sebuah perusahaan perkebunan sawit di Riau tahun ini berencana untuk membangun 4 buah pembangkit listrik biogas (masing-masing berkapasitas 3 MW) hasil fermentasi limbah cair pengolahan sawit sehingga dapat dijual ke PLN untuk masyarakat sekitar [43]. Sebenarnya masih cukup banyak potensi biogas baik di daerah pedesaan maupun perkotaan di Indonesia yang bisa digarap untuk dimanfaatkan dengan lebih maksimal di masa yang akan datang.

7. Potensi, teknologi, dan tantangan listrik terbarukan di Indonesia

Seperti yang sudah diuraikan sebelumnya, **Indonesia dalam KEN 2050 berencana menghasilkan 25% listrik dari sumber terbarukan** (air, panas bumi, surya, angin, biomassa, dan laut). Potensi (sumber), teknologi, peluang serta tantangan pemanfaatan sumber-sumber daya tersebut untuk listrik terbarukan telah dibahas dalam Orasio Dies Natalis FTI XVII pada April 2011 oleh Dr. Arenst Andreas.

Pengembangan listrik terbarukan Indonesia rupanya sudah selaras dengan apa yang akan dilakukan oleh **negara-negara lain di dunia**. Dalam laporan *2015 World Energy Outlook*, IEA menyebutkan bahwa **pada 2040 sektor kelistrikan** (yang digunakan secara luas oleh berbagai sektor lain) memberikan **kontribusi sekitar 25% dari total energi dunia**. Oleh karena itu, sektor kelistrikan **akan menjadi ujung tombak upaya dunia untuk mengurangi emisi CO₂ dan ketergantungan pada energi fosil**. Diperkirakan sekitar 60% investasi baru di bidang kelistrikan sampai 2040 akan ditanamkan di sektor listrik terbarukan, di mana secara global lebih dari 50% peningkatan daya listrik global, yaitu sebesar 8300 TWh, berasal dari sumber-sumber terbarukan [2].

Berbagai kebijakan baru (seperti yang telah diuraikan sebelumnya) **di bidang keuangan dan fiskal** yang dikeluarkan Pemerintahan Jokowi **telah memberikan angin segar bagi para investor** di bidang listrik terbarukan seperti panas bumi dan surya. Semoga dalam waktu tidak lama lagi, pembangkit-pembangkit listrik terbarukan dari PMA, PMDN, atau kombinasi keduanya, dapat menghiasi berita-berita di media massa. Baru-baru ini, BPPT mengandeng Pertamina untuk mengembangkan pembangkit listrik *geothermal* skala kecil (mini) berkapasitas 3 MW menggunakan teknologi siklus biner dari Jerman. BPPT telah mampu melakukan rancang bangun pembangkit tersebut secara mandiri dan pembuatan komponen-komponen peralatan dilakukan di dalam negeri dengan bekerja sama dengan PT Turbin & Propulsi, PT Barata, dan PT Pindad [44].

8. Apakah sudah saatnya Indonesia menggunakan energi nuklir?

Di banyak negara, termasuk Indonesia, **penggunaan nuklir sebagai sumber non-fosil untuk pembangkit listrik mengundang banyak kontroversi atau pertentangan**. Kekhawatiran banyak pihak akan **faktor keamanan, sabotase, dan limbah nuklir** menjadi alasan utama ditentangnya penggunaan nuklir. Padahal

banyak negara di dunia (misalkan Prancis yang 75% listriknya berasal dari nuklir), seperti yang telah diuraikan sebelumnya di bagian 3, **mengandalkan energi nuklir dalam bauran energi pembangkit listrik non-fosil selain dari sumber-sumber terbarukan.**

Laporan OEI 2014 yang disusun oleh Dewan Energi Nasional di bawah Kementerian ESDM menyatakan bahwa **Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) merupakan opsi yang dipertimbangkan** dalam skenario KEN 2050. Walaupun masih belum ada keputusan pasti (final) tentang pembangunannya, namun PLTN tetap perlu diperhitungkan **dalam suatu perencanaan energi jangka panjang.** PLTN diasumsikan bahwa baru akan mulai beroperasi setelah tahun 2025 dengan kapasitas 1000 MW. Pertimbangan bahwa PLTN paling cepat mulai beroperasi pada tahun 2025 adalah waktu pembangunan yang dibutuhkan sekitar 10 tahun dari awal negosiasi hingga pembangunan fisik dan produksi komersial.

Baru-baru ini detik.com melaporkan bahwa **survey** yang dilakukan oleh **Badan Tenaga Atom Nasional (Batan)** menunjukkan **sekitar 75% masyarakat Indonesia setuju dibangun PLTN.** Walaupun demikian, ada beberapa hambatan yang perlu dicermati antara lain PLTN merupakan teknologi yang beresiko dan juga mahal. Agak sulit menemukan lokasi yang bebas gempa di Indonesia karena Bangka Belitung dan Kalimantan yang dianggap cocok untuk PLTN juga pernah mengalami gempa. PLTN dipandang belum tentu cocok untuk Indonesia yang merupakan negara kepulauan dengan penyebaran penduduk yang tidak merata karena PLTN biasanya merupakan pembangkit listrik skala besar (di atas 1000 MW), sementara misalkan di Kalimantan beban listriknya masih relatif rendah sehingga dianggap belum memerlukan PLTN [45].

Selain itu, investasi awal PLTN bisa beberapa kali lebih mahal dari PLTU. Jika didirikan di daerah yang beresiko tinggi gempa (seperti Jepang), maka investasinya bisa mencapai 50 trilyun untuk PLTN dengan kapasitas 1000 – 1400 MW. Namun untuk daerah yang relatif aman dari gempa, investasi PLTN berkisar 20 – 30 trilyun dengan kapasitas yang sama [46]. Djarot S. Wisnubroto (Kepala Batan) dalam sebuah diskusi pada 12 April 2015 lalu, menjelaskan bahwa cadangan uranium Indonesia di Kalimantan Barat sebanyak 29.000 ton dapat mencukupi PLTN berkapasitas 1000 MW sampai 145 tahun, sementara cadangan uranium Indonesia diperkirakan sampai 70.000 ton.

Rupanya **masih ada perdebatan dalam tubuh DEN** untuk memasukkan nuklir ke dalam sistem kelistrikan nasional. **Anggota DEN yang tidak / kurang setuju menginginkan nuklir dijadikan pilihan terakhir**, dengan mengutamakan EBT sebagai sumber pembangkit listrik [47]. Akan tetapi, **sebagian anggota DEN mendorong agar PLTN dimasukkan dalam Rancangan Umum Energi Nasional (RUEN)**, yang telah dirampungkan pada tahun 2015 dan berisi langkah-langkah rinci dalam bauran energi nasional sampai 2025. Kebijakan ini didukung oleh Kurtubi, anggota DPR RI di Komisi VII. Kurtubi, pada bulan Februari 2016 lalu, mendorong agar pemerintah membuka peluang pembangunan PLTN dengan alasan negara-negara ekonomi maju pada umumnya memiliki PLTN dan teknologi PLTN saat ini sudah lebih maju dan aman. Menteri ESDM, Sudirman Said, mengakui adanya kontroversi ini dan sebagai jalan tengah **pemerintah akan memasukkan peta jalan (road map) pengembangan PLTN dalam RUEN [48]**. Sebagai perbandingan di negara-negara ASEAN, Vietnam sejak 2012 telah memulai pembangunan PLTN dengan menggandeng Jepang dan Rusia. Sekretaris Jenderal Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Teguh Pamudji pada bulan September 2014 lalu menjelaskan, pemerintah baru akan memanfaatkan tenaga nuklir pada tahun 2030 berdasarkan beberapa pertimbangan, yaitu aspek keselamatan, lingkungan, dan bahan baku nuklir itu sendiri [49]. Perlu dicatat bahwa pembangunan PLTN memerlukan persiapan yang lama sampai bisa dioperasikan, karena konstruksi PLTN saja membutuhkan waktu sampai sekitar 8 tahun.

9. Menatap masa depan: listrik surya gurun dan teknologi konversi listrik menjadi bahan bakar cair

Produksi dan pemanfaatan BBN dan bioenergi secara maksimal hanya akan **mampu mengganti/mensubstitusi sebagian kecil (10 – 20%) BBM**. Selain itu, jika tidak dilakukan dengan kehati-hatian, **produksi BBN ditenggarai** dalam laporan **National Geographic** sebagai **tindakan yang justru tidak ramah lingkungan** karena merusak hutan tropis dan lahan gambut, saat dikonversi menjadi lahan perkebunan, akan **menimbulkan Carbon debt** [10]. Mengubah hutan tropis menjadi lahan sawit untuk *biofuel* misalnya, akan melepaskan 611 ton CO₂ per hektar yang menimbulkan hutang carbon (karena penghematan CO₂ dari penggunaan *biofuel* dari sawit jauh lebih sedikit daripada yang dihasilkan akibat pembukaan lahan) yang baru bisa lunas sekitar 86 tahun.

Permasalahan-permasalahan ini menimbulkan gagasan akan perlunya teknologi-teknologi yang dapat mengkonversi listrik menjadi bahan bakar cair, mengingat sebagian terbesar sumber-sumber energi terbarukan sebenarnya adalah sumber listrik. Ketersediaan teknologi-teknologi ini, melengkapi teknologi-teknologi konversi bahan bakar cair menjadi listrik yang telah dikembangkan luas dalam abad ke-20 lalu, sebenarnya akan membawa kita ke dalam salah satu kondisi ideal pengelolaan sumber daya energi yaitu di mana bahan bakar cair dapat dikonversi menjadi listrik dan sebaliknya, sesuai dengan keperluan dan kondisi-kondisi yang menjadi kendalanya [37]. Pertimbangan lainnya adalah jika ditinjau dari segi pencadangan ketersediaan menghadapi keadaan darurat, bahan bakar cair lebih strategis daripada listrik [33]. Dengan demikian, **di masa yang akan datang teknologi yang mampu mengkonversi (surplus) listrik menjadi bahan bakar cair akan sangat dibutuhkan.**

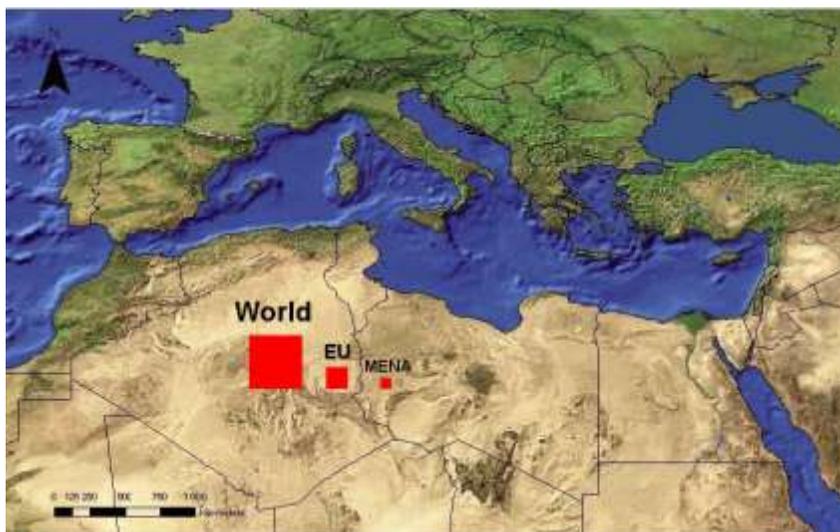
9.1 Listrik surya gurun pasir

Keyakinan akan perlunya teknologi konversi listrik ke bahan bakar cair dapat diperteguh jika kita mempelajari proyek **DESERTEC**. Fakta mengejutkan yang sekaligus sangat menjanjikan adalah **setiap satu km² lahan di gurun pasir setiap tahunnya menerima energi surya ekuivalen dengan 1,5 juta barrel minyak bumi!!** Jika dikalikan dengan total area gurun di dunia, maka **energi yang bisa dipanen dari surya adalah lebih dari seratus kali lipat dari energi yang digunakan dunia** [50]. Laporan National Geographic menuliskan bahwa dalam satu jam saja energi sang surya yang diterima oleh bumi sudah menyamai total energi yang dikonsumsi seluruh dunia dalam setahun [10]. Menurut para pengusul dan pendukung proyek ini, suatu **kompleks pembangkit listrik tenaga surya termal** (menggunakan teknologi CSTP – *Concentrating Solar Thermal Power*) di **Gurun Sahara** sudah akan **bisa membangkitkan daya listrik yang besarnya sama dengan konsumsi total listrik dunia dewasa ini, hanya dengan menutupi area seluas 338 x 338 km², alias hanya 1,2 % dari luas keseluruhan gurun tersebut yang berkisar 9,4 juta km² [51], dengan konsentrator sinar surya (bukan *solar cell*).** Betapa kecilnya luas area pembangkit listrik tersebut dibanding Gurun Sahara dan daratan di sekitarnya diperlihatkan dalam Gambar 18.

Listrik yang dibangkitkan kemudian dapat ditransmisikan jarak jauh secara ekonomis dengan menggunakan sistem HVDC (*High Voltage Direct Current*) yang sangat efisien dan bisa diintegrasikan dengan sistem transmisi HVAC (*High Voltage Alternating Current*) yang selama ini digunakan. Kehilangan energi listrik

di perjalanan dengan sistem HVDC adalah sekitar 3% per 1000 km, jadi **untuk jarak sekitar 3000 km** kehilangan daya listrik adalah kurang dari 10% yang **masih bisa dianggap ekonomis**. Perlu dicatat bahwa **90% dari populasi dunia tinggal dalam radius 2700 km dari sebuah gurun terdekat** dan **dapat dicukupkan kebutuhan listriknya dari pembangkit listrik surya gurun**.

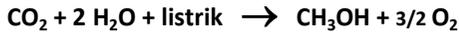
Surplus listrik yang diperoleh dari pembangkit listrik surya di gurun-gurun dunia dapat dimanfaatkan lebih jauh, yaitu jika tersedia teknologi komersial konversi listrik menjadi bahan bakar cair. Pengalaman telah menunjukkan bahwa bahan bakar cair seperti BBM dan BBN **dapat diangkut dan dikirim secara ekonomis ke daerah-daerah yang berjarak sangat jauh dari sumbernya**. Dengan demikian, **kebergantungan energi dunia akan minyak bumi dan sumber fosil lainnya dapat dengan dramatis dikurangi, dan bahkan tidak mustahil suatu saat ditiadakan!!**



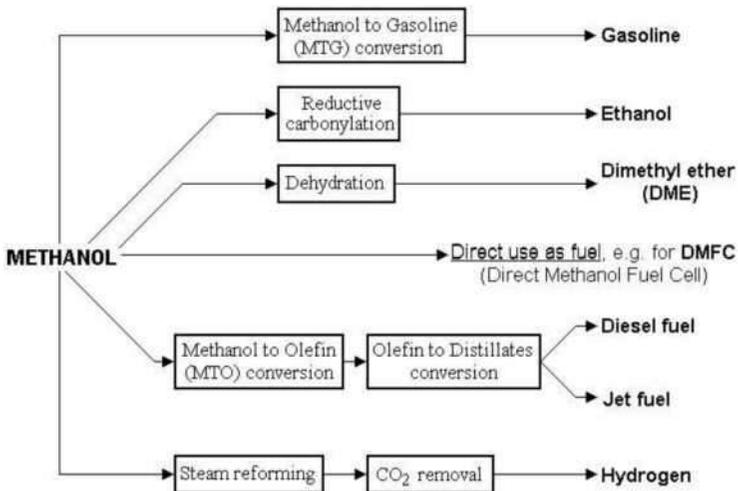
**Gambar 18. Area target di Gurun Sahara menurut proyek DESERTEC [50]
(EU = European Union, MENA = Middle East & North Africa)**

9.2 Teknologi reduksi elektrokimia CO₂ menjadi metanol

Jika **teknologi konversi listrik menjadi bahan bakar cair** tersebut juga dapat **mendaur ulang gas CO₂** yang merupakan gas rumah kaca paling utama dan dapat dengan relatif mudah ditangkap dari cerobong-cerobong pembangkit listrik dan industri, maka **teknologi tersebut akan mampu pula meredam dan pada akhirnya meniadakan dampak buruk dari emisi gas rumah kaca**. Teknologi yang **dipandang paling tepat** untuk dikembangkan guna memenuhi kedua persyaratan di atas adalah **reduksi elektrokimia karbon dioksida (CO₂) menjadi metanol [37]** :

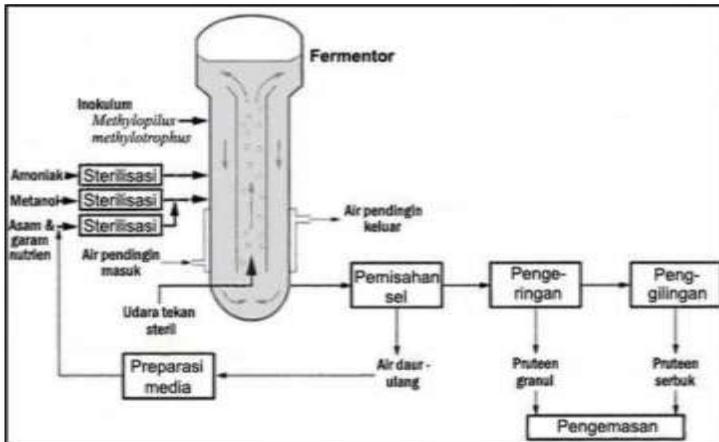


Metanol dipilih menjadi produk target reduksi elektrokimia CO₂ didasarkan pada kenyataan bahwa **metanol adalah bahan kimia dasar dan bahan bakar sekunder yang serba guna**, karena bisa **dikonversi menjadi aneka bahan kimia dan bahan bakar final dengan teknologi-teknologi yang sudah ada dan terbukti dalam skala komersial**. Olah dkk. (2006) memaparkan aneka bahan bakar yang bisa diproduksi dari metanol beserta teknologi-teknologi konversinya seperti yang ditampilkan dalam Gambar 19 [52] berikut ini.



Gambar 19. Metanol sebagai bahan bakar sekunder serba guna

Keunggulan istimewa lain dari metanol adalah metanol dapat dikonversi menghasilkan protein, karbohidrat, dan asam-asam lemak yang merupakan komponen-komponen makro pangan. Bioteknologi produksi protein dari metanol dan amoniak telah didemonstrasikan dalam skala komersial pada era 1970-1980-an [53-54], antara lain oleh *Imperial Chemical Industries* (ICI), Inggris, dengan teknologi proses yang dikenal dengan nama ICI Pruteen. Gambar 20 di bawah ini memperlihatkan diagram alir sederhana dari proses ini.



Gambar 20. Diagram alir proses ICI Pruteen produksi protein dari metanol dan amoniak lewat jalur bioteknologi [37]

10. Catatan penutup

Mengingat Indonesia tidak lama lagi akan berada di tebing krisis energi, maka pemanfaatan sebesar-besarnya potensi biomassa untuk bahan bakar dan listrik, serta sumber-sumber listrik non-fosil terbarukan termasuk nuklir tidak bisa ditunda-tunda lagi namun harus segera diwujudkan dan dikelola secara bijak, terencana, terpadu, dan melibatkan semua pihak. Selain itu, sudah saatnya semua lapisan masyarakat disadarkan dengan keadaan yang cukup genting ini agar efisiensi penggunaan dan penghematan energi di berbagai sektor kehidupan bisa segera dilaksanakan bersama-sama demi menjaga ketahanan energi Indonesia di masa depan bagi anak-cucu kita.

Berita yang menjanjikan masa depan energi Indonesia yang cerah di awal April ini menghiasi media online (detik.com), di mana Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) membentuk tim persiapan pembentukan Center of Excellence for Clean Energy (COE) yang akan dipusatkan di Jembrana, Bali. Lembaga tersebut akan ditugaskan untuk menjadikan Bali sebagai provinsi “green and clean” yang mengelola EBT secara bijak dan maksimal sehingga dapat menjadi percontohan bagi daerah-daerah lainnya. Dalam program pembangunan pusat unggulan energi bersih ini, para periset, pengembang, investor, insinyur dari dalam negeri maupun mancanegara akan berkumpul untuk memikirkan energi bersih dan terbarukan di seluruh daerah Indonesia [55]. Semoga pembentukan lembaga tersebut menjadi tonggak awal dan penting bagi gerakan konversi energi dari fosil ke energi baru terbarukan di Indonesia.

Pemakaian sumber daya fosil terutama minyak bumi dan gas alam untuk energi perlu segera diminimalkan, utamanya adalah karena sumber-sumber fosil tersebut setidaknya dalam beberapa dekade mendatang masih merupakan bahan baku penting untuk industri petrokimia karena produk-produk turunan minyak bumi dalam kehidupan sehari-hari sangatlah banyak, misalnya plastik, karet sintesis, aneka polimer, serat-serat sintesis, cat, pewarna sintesis, dan lain-lain. Sampai saat ini, penggunaan biomassa sebagai bahan baku industri kimia masih relatif terbatas krn umumnya biomasa terdiri dari campuran banyak senyawa yang struktur kimianya sangat kompleks, sehingga dalam skala besar proses pemisahan dan konversinya belum bisa seekonomis bahan baku yang berasal dari migas.

11. Kesimpulan

Dari penelusuran pustaka dan pemaparan yang penulis telah sampaikan dalam orasio kali ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan penting, yaitu antara lain:

- a. **Indonesia sudah berada dalam krisis energi karena ketergantungan yang tinggi pada bahan bakar fosil, terutama minyak bumi** yang memberatkan APBN dan menguras devisa, mengingat cadangannya yang kian menipis
- b. oleh karena itu, **Indonesia harus memiliki** tidak hanya **kemampuan (*knowledge & technology*)** melainkan juga **kearifan (*wisdom*)** di dalam **mengelola dan memanfaatkan aneka jenis sumber daya energi (fosil, EBT, dan nuklir)** yang dimilikinya untuk menjamin ketahanan energi nasional bagi generasi yang akan datang
- c. **potensi biomassa dan listrik terbarukan Indonesia** sebagai sumber energi **teramat besar**, namun **baru sedikit sekali** yang sudah **termanfaatkan**
- d. seiring dengan langkah-langkah dunia memerangi pemanasan global, target-target dalam **KEN 2050** perlu **segera direalisasikan** dengan konsisten, terencana, terarah, dan terintegrasi dengan **melibatkan semua pihak** (pemerintah, swasta, dan segenap lapisan masyarakat) agar target-target penting di dalamnya bisa terwujud semaksimal mungkin
- e. **industri bahan bakar nabati cair** mencakup **bioetanol, biodiesel dan *green diesel*** merupakan **jembatan kritisal transisi sistem energi**, dari berbasis sumber daya fosil menjadi berbasis sumber daya terbarukan
- f. oleh karena itu, **industri bahan bakar nabati cair beserta perkebunan pendukungnya** perlu **segera dipersiapkan, diperluas, dan diperkuat** mengingat **perannya yang amat sangat penting** untuk mendukung ketahanan energi Indonesia di masa yang akan datang
- g. **pemerintah perlu menciptakan iklim investasi** yang kondusif dan berkesinambungan untuk **mendorong percepatan pemanfaatan EBT** dalam bauran energi Indonesia di masa yang akan datang
- h. **jika tidak ada pilihan lain**, Indonesia perlu memasukkan **energi nuklir sebagai pelengkap dalam bauran energi** nasional di masa depan
- i. **pembangkit listrik surya di gurun-gurun dunia** di masa depan diharapkan menjadi **sumber utama energi dunia** baik **listrik maupun bahan bakar cair** sehingga kebergantungan dunia akan minyak bumi dan sumber fosil lainnya dapat dengan dramatis dikurangi, dan bahkan tidak mustahil suatu saat ditiadakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] International Energy Agency IEA. Key World Energy Statistics 2015.
<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/key-world-energy-statistics-2015.html> (18/02/2016).
- [2] International Energy Agency IEA. World Energy Outlook 2015 : Executive Summary.
<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/world-energy-outlook-2015---executive-summary---english.html> (18/02/2016).
- [3] Investing.com : Crude Oil Interactive Chart.
<http://www.investing.com/commodities/crude-oil-advanced-chart> (22/02/2016).
- [4] International Energy Agency IEA. Resources to Reserves 2013.
www.iea.org/Textbase/npsum/resources2013SUM.pdf (25/02/2016).
- [5] United States Environmental Protection Agency. Overview of Greenhouse Gases.
<https://www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases.html> (02/04/2016).
- [6] NASA Global Climate Change : Vital Signs of the Planet. Global Temperature.
<http://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/> (01/03/2016).
- [7] US Department of Energy. World Fossil Fuel Reserves and Projected Depletion, March 2002. cerc.nv.gov/docs/world%20fossil%20reserves.pdf (25/02/2016).
- [8] Agung Kurniawan. Revolusi Mobil Listrik Global Lebih Cepat Jadi Kenyataan. Kompas.com Otomotif, 25 Februari 2016.
<http://otomotif.kompas.com/read/2016/02/25/110200215/Revolusi.Mobil.Listrik.Global.Lebih.Cepat.Jadi.Kenyataan> (25/02/2016).
- [9] M Luthfi Andika. Kendaraan Listrik Booming di China. detik OTO, 13 Maret 2016.
<http://oto.detik.com/read/2016/03/13/180150/3163676/1207/kendaraan-listrik-booming-di-china> (12/03/2016).
- [10] National Geographic Collector's Edition : Energy for Tomorrow, 22 June 2009.
- [11] National Geographic : Ranging The Renewables
<http://ngm.nationalgeographic.com/2009/09/solar/ranking-renewables-map> (15/03/2016).
- [12] Carbon Capture & Sequestration @ MIT. FutureGen Fact Sheet : Carbon Dioxide Capture and Storage Project.
<https://sequestration.mit.edu/tools/projects/futuregen.html> (07/03/2016).
- [13] FutureGen Alliance : Carbon Capture and Storage.
<http://futuregenalliance.org/futuregen-2-0-project/carbon-capture-and-storage/> (07 maret 2016).
- [14] Carbonfund.org Team. Is There a Difference Between Carbon Offsets and Carbon Credits? <https://www.carbonfund.org/blog/item/4642-is-there-a-difference-between-carbon-offsets-and-carbon-credits> (07/03/2016).

- [15] REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century). Renewables 2015 : Global Status Report. http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12-GSR2015_Onlinebook_low1.pdf (08/03/2016).
- [16] Michael Agustinus. RI Punya 'Harta Karun' Energi 810.000 MW, Baru Dimanfaatkan 1,1%. detik Finance : Energi, 15 Februari 2016. <http://finance.detik.com/read/2016/02/15/071521/3141770/1034/ri-punya-harta-karun-energi-810000-mw-baru-dimanfaatkan-11> (23/02/2016).
- [17] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Pusat Data dan Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral, Indikator Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia, 2011.
- [18] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Blue Print : Pengembangan Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, Konsep Awal - 11 Mei 2010. <http://dokumen.tips/documents/blueprint-pengembangan-energi-baru-terbarukan-dan-konservasi-energi.html> (25/02/2016).
- [19] Dewan Energi Nasional Republik Indonesia, Outlook Energi Indonesia 2014, 23 Desember 2014.
- [20] John Vidal. Rate of deforestation in Indonesia overtakes Brazil, says study. The Guardian, 29 June 2014. <http://www.theguardian.com/environment/2014/jun/29/rate-of-deforestation-in-indonesia-overtakes-brazil-says-study> (22/03/2016).
- [21] Dirjen Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE), Kementerian ESDM. Feed in Tariff. <http://ebtke.esdm.go.id/regulation/9/feed.in.tariff> (27/02/2016).
- [22] Sakina R. D. Setiawan. Industri Jasa Keuangan Diminta Perbesar Pembiayaan ke Sektor Energi. Kompas.com : Ekonomi, 3 Februari 2016. <http://bisniskeuangan.kompas.com/read/2016/02/03/113755826/Industri.Jasa.Keuangan.Diminta.Perbesar.Pembiayaan.ke.Sektor.Energi> (05/03/2016).
- [23] Muhammad Idris. BLU Dana Energi Akan Dibentuk, Sudirman Said : Kita Suntik Rp 1 T – Rp 2 T. detik Finance : Energi, 5 Maret 2016. <http://finance.detik.com/read/2016/03/05/184555/3158265/1034/blu-dana-energi-akan-dibentuk-sudirman-said-kita-suntik-rp-1-t--rp-2-t> (05/03/2016).
- [24] Muhammad Idris. Swiss Jajaki Peluang Investasi Energi Terbarukan di RI. detik Finance : Energi, 31 Maret 2016. <http://finance.detik.com/read/2016/03/31/181018/3176989/1034/swiss-jajaki-peluang-investasi-energi-terbarukan-di-ri> (02/04/2016).
- [25] Muhammad Idris. Swiss Tertarik Bangun Pabrik Panel Surya di RI. detik Finance : Energi, 31 Maret 2016. <http://finance.detik.com/read/2016/03/31/182830/3177006/1034/swiss-tertarik-bangun-pabrik-panel-surya-di-ri> (02/04/2016)
- [26] Michael Agustinus. Pemerintah Mau Kembangkan Mobil Listrik, Ini Tantangannya. detik Finance : Industri, 05 Maret 2016.

- <http://finance.detik.com/read/2016/03/05/182053/3158250/1036/pemerintah-mau-kembangkan-mobil-listrik-ini-tantangannya> (05/03/2016).
- [27] Michael Agustinus. Ini Saran Pengusaha Otomotif Jika RI Mau Kembangkan Mobil Listrik. *detik Finance : Industri*, 05 Maret 2016.
<http://finance.detik.com/read/2016/03/05/191049/3158267/1036/ini-saran-pengusaha-otomotif-jika-ri-mau-kembangkan-mobil-listrik> (05/03/2016)
- [28] Otosia.com. Berapa Sebenarnya Jumlah Total Sepeda Motor di Indonesia, 29 Juli 2015. <http://www.otosia.com/berita/berapa-sebenarnya-jumlah-total-sepeda-motor-di-indonesia.html>, (07/03/2016).
- [29] Niken Purnamasari. Honda Mulai Pasarkan Motor Listrik Tahun 2018 di Indonesia. *detik OTO*, 05 Maret 2016.
<http://oto.detik.com/read/2016/03/05/171504/3158224/1208/honda-mulai-pasarkan-motor-listrik-tahun-2018-di-indonesia> (05/03/2016).
- [30] Caye M. Drapcho, Nghiem Phu Nhuan, & Terry H. Walker, *Biofuels Engineering Process Technology*, McGraw-Hill, 2008.
- [31] Dieter Deublein & Angelika Steinhauser, *Biogas from Waste and Renewable Resources : An Introduction*, Wiley-VCH, Weinheim, 2008.
- [32] Michael Agustinus. Mau Simpan Cadangan BBM di Iran dan Arab Saudi, RI Butuh Rp 23,3 T. *detik Finance : Energi*, 25 Maret 2016.
<http://finance.detik.com/read/2016/03/25/143411/3173126/1034/mau-simpan-cadangan-bbm-di-iran-dan-arab-saudi-ri-butuh-rp-233-t> (26/03/2016).
- [33] Tatang H. Soerawidjaja, Pengembangan Proses untuk Produksi Bahan Bakar Biohidrokarbon, Seminar Nasional Teknik Kimia Unpar, Bandung, 19 November 2015.
- [34] Michael Agustinus. Ada Cukai BBM, Program Konversi ke Gas Bumi Bisa Jalan. *detik Finance : Energi*, 29 Maret 2016.
<http://finance.detik.com/read/2016/03/29/151216/3175035/1034/ada-cukai-bbm-program-konversi-ke-gas-bumi-bisa-jalan> (01/04/2016).
- [35] Michael Agustinus. Pakai Gas Bumi, Pembangkit Listrik di Bali Ini Hemat Rp 4 Miliar/Hari. *detik Finance : Energi*, 03 April 2016.
<http://finance.detik.com/read/2016/04/03/115005/3178481/1034/pakai-gas-bumi-pembangkit-listrik-di-bali-ini-hemat-rp-4-miliar-hari> (03/04/2016).
- [36] Tatang H. Soerawidjaja, Peran Kritis Biomassa dalam Penyediaan Energi dan Tantangan-Tantangan Litbangnya, Seminar Nasional Teknik Kimia Unpar, Bandung, 23 April 2009.
- [37] Tatang H. Soerawidjaja, *Energi : Sang Sumber Daya Induk*, Kuliah Inaugurasi Akademi Ilmu Pengetahuan Indonesia (AIPi), Bogor, 27 April 2013.
- [38] Steve Tally. Plant oils will replace petroleum in coming years. *Purdue News Service*, Purdue University, August 2000.
<http://www.purdue.edu/uns/html4ever/0007.Tao.biofuels.html> (27/03/2016).

- [39] National Advanced Biofuels Consortium. Fermentation of Lignocellulosic Sugars Process Strategy.
http://www.nabcpjjects.org/fermentation_lignocellulosic_sugar.html (01/04/2016).
- [40] Arenst Andreas Arie, Pengembangan Sumber Energi yang Terbarukan : Peluang dan Tantangannya di Indonesia, Orasio Dies Natalis XVIII FTI Unpar, Bandung, April 2011.
- [41] Channel News Asia Singapore. NEA calls for tender for collecting, transporting food waste. 24 August 2015. <http://www.channelnewsasia.com/news/singapore/nea-calls-for-tender-for/2071990.html> (03/04/2016).
- [42] Bioenergy Insight. Japanese city to build biogas plant to increase power supply. 23 November 2015. http://www.bioenergy-news.com/display_news/9906/japanese_city_to_build_biogas_plant_to_increase_power_supply/ (03/04/2016).
- [43] Chaidir Anwar Tanjung. PLN dan Perusahaan Sawit Kerja Sama Salurkan Listrik dari Pembangkit Biogas. detik Finance : Energi, 01 April 2016.
<http://finance.detik.com/read/2016/04/01/131512/3177515/1034/pln-dan-perusahaan-sawit-kerja-sama-salurkan-listrik-dari-pembangkit-biogas> (03/04/2016).
- [44] Dina Rayanti. BPPT Gandeng Pertamina Kembangkan Pembangkit Geothermal Mini. detik Finance : Energi, 21 Februari 2016.
<http://finance.detik.com/read/2016/02/21/152013/3147216/1034/bppt-gandeng-pertamina-kembangkan-pembangkit-geothermal-mini> (23/02/2016).
- [45] Muhammad Idris. RI Butuh Pembangkit Listrik Nuklir? Ini Kata DEN. detik Finance : Energi, 10 Januari 2016.
<http://finance.detik.com/read/2016/01/10/163008/3114801/1034/ri-butuh-pembangkit-listrik-nuklir-ini-kata-den> (25/02/2016).
- [46] Estu Suryowati. Berapa Nilai Investasi Pembangkit Nuklir? Kompas.com : Ekonomi/Makro, 12 April 2015.
<http://bisniskeuangan.kompas.com/read/2015/04/12/183815026/Berapa.Nilai.Investasi.Pembangkit.Nuklir>. (25/02/2016).
- [47] Erlangga Djumena. Nuklir Masih Pilihan Terakhir untuk Listrik Indonesia. Kompas.com : Ekonomi/Makro, 1 Juli 2015.
<http://bisniskeuangan.kompas.com/read/2015/07/01/144600426/Nuklir.Masih.Pilihan.Terakhir.untuk.Listrik.Indonesia> (25/02/2016).
- [48] Estu Suryowati. Dewan Energi Nasional Diminta Jangan Hambat PLTN. Kompas.com : Ekonomi/Makro, 3 Februari 2016.
<http://bisniskeuangan.kompas.com/read/2016/02/03/210324626/Dewan.Energi.Nasional.Diminta.Jangan.Hambat.PLTN> (25/02/2016).
- [49] Estu Suryowati. ESDM : RI Akan Punya Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir Tahun 2030. Kompas.com : Ekonomi/Makro, 18 September 2014.
<http://bisniskeuangan.kompas.com/read/2014/09/18/173011026/ESDM.RI.Akan.Punya.Pembangkit.Listrik.Tenaga.Nuklir.Tahun.2030> (25/02/2016).

- [50] DESERTEC-UK : Clean Power from deserts. The Desertec Concept and Desertec-UK. <http://www.trec-uk.org.uk> (28/03/2016).
- [51] Kim Ann Zimmermann. The Sahara : Facts, Climate and Animals of the Desert. Live Science Reference, 12 September 2012. <http://www.livescience.com/23140-sahara-desert.html> (28/03/2016).
- [52] George A. Olah, Alain Goeppert, dan G.K. Surya Prakash, "Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy", Wiley-VCH, Weiheim, 2006.
- [53] J. Schrader, M. Schilling, D. Holtmann, D. Sell, M.V. Filho, A. Marx, dan J.A. Vorholt, "Methanol-based industrial biotechnology: current status and future perspectives of methylophilic bacteria", Trends in Biotechnology 27(2) 107 - 115 (2008).
- [54] R. Westlake, "Large scale continuous production of single cell protein", Chem. Ing. Tech. 58(12) 934 - 937 (1986).
- [55] Rois Jajeli. ESDM Bentuk Tim Persiapan Pusat Unggulan Energi Bersih. detik Finance : Energi, 1 April 2016. <http://finance.detik.com/read/2016/04/01/215201/3178030/1034/esdm-bentuk-tim-persiapan-pusat-unggulan-energi-bersih> (02 April 2016).

CURRICULUM VITAE

Data Pribadi

Nama : Tedi Hudaya
Tempat/tanggal lahir : Jatiwangi / 21 Agustus 1972
Alamat rumah : Emung No 1 - Bandung
Email address : t.hudaya@unpar.ac.id
t_hudaya@yahoo.com.au



Pendidikan

Program Sarjana (1991 – 1996)

Jurusan Teknik Kimia – Institut Teknologi Bandung

Program Magister (1998 - 1999)

School of Chemical Engineering & Industrial Chemistry, The University of New South Wales, Sydney – Australia

Program Doktor (2003 – 2008)

School of Chemical Sciences & Engineering, The University of New South Wales, Sydney – Australia

Publikasi Ilmiah

1. Amjad S. Qazaq, Tedi Hudaya, Ivy A.L. Lee, Andrew Sulidis, and Adesoji A. Adesina (2007). *Photoremediation of natural leachate from municipal solid waste site in a pilot-scale bubble column reactor*. **Catalysis Communications**, 8: 1917-1922.
2. Tedi Hudaya, Amjad S. Qazaq, Frank P. Lucien, and Adesoji A. Adesina (2009). *Design of $Ce_yCo_xTi_{(1-x)}O_{3+\delta}$ Perovskite for Photocatalysis: A Statistical Study*. **Journal of Advanced Oxidation Technologies**, 12 : 16-28.
3. Tedi Hudaya, Alvina Marsha, Eveline Paramita, Shierin and David Andrian (2013). *Effects of pH and Photocatalyst Concentration on Hexavalent Chromium Removal from Electroplating Waste Water by UV/TiO₂ Photocatalysis*. **Journal of Applied Sciences**, 13 (4) : 639-644.
4. Tedi Hudaya, Liana, and Tatang Hernas Soerawidjaja (2013). *A Study on Low Temperature and Pressure Hydrogenation of Cyclopropenoid-group Containing Non-edible Oil for Biodiesel Feedstock*. **Energy Procedia**, 32 : 209-215.
5. David Andrian, Susiana Prasetyo, Anastasia P. Kristijarti, and Tedi Hudaya (2014). *The Extraction and Activity Test of Bioactive Compounds in Phaleria macrocarpa as Antioxidants*. **Procedia Chemistry**, 9 : 94-101.
6. Tedi Hudaya, Ongky Widjaja, Antonius Rionardi, and Tatang Hernas Soerawidjaja. *A Synthesis of Biokerosene through Electrochemical Hydrogenation of Terpene Hydrocarbons from Turpentine Oil*. **Journal of Engineering and Technological Sciences**, 2015 (submitted).
7. Winawaty Yayah, Tedi Hudaya, Susiana Prasetyo, and Julie Wangsa. *The Pretreatment and Optimization Studies on the Extraction of Phaleria macrocarpa Fruit as Natural Antioxidant Source using Ethanol-Water Mixture*. **ASEAN Engineering Journal**, 2016 (submitted).

DISPONSORI OLEH:



DISPONSORI OLEH :



DISPONSORI OLEH:



PT LAUTAN LUAS Tbk