

Kuliah Inaugurasi

Dr. Ir. Tatang Hernas Soerawidjaja

(Bogor, 27 April 2013)

Judul :

Energi: Sang Sumber Daya Induk

Versi 28 April 2013

Energi : Sang Sumber Daya Induk

Pengantar

Planet bumi kita adalah sistem tertutup unsur-unsur kimia, karena kecuali hidrogen dan helium, unsur-unsur kimia lainnya praktis tak ada yang bisa kabur dari planet ini [Öpik (1963)]. Akan tetapi, bumi adalah sistem terbuka bagi energi dan Tuhan Yang Maha Kuasa pada hakekatnya membangkitkan seluruh kehidupan dan peristiwa-peristiwa alam melalui penganugerahan sinar matahari. Sesungguhnya, aneka bentuk energi surya inilah yang memungkinkan kita memperoleh semua kenyamanan hidup serta mendapatkan pasokan-pasokan pangan, pakan dan bahan-bahan mentah dari ladang, kebun dan hutan, dari tambang-tambang dan sumur-sumur, serta dari udara dan air.

Sejarah telah menunjukkan bahwa perkembangan peradaban kita telah bertumpu pada kemampuan manusia untuk menggunakan aneka bentuk energi surya yang telah

terakumulasi di bumi dalam keadaan pekat alias berkepadatan tinggi. Sejarah juga mencatat bahwa lompatan-lompatan kemajuan peradaban manusia selalu berkaitan dengan terobosan-terobosan pada frontier energi [Fowler (1975)]. Tersingkapnya cara membuat api telah memberi manusia-manusia primitif kenyamanan maupun keamanan; penjinakan hewan-hewan memungkinkan pemanfaatan tenaga-tenaga otot yang jauh lebih besar daripada yang dimiliki manusia sendiri. Selanjutnya, kincir-kincir air membuka kemanfaatan suatu sumber baru energi, sehingga sangat meningkatkan kemampuan manusia dalam melakukan kegiatan-kegiatan peradabannya. Kemudian, batubara membah-bakari revolusi industri di abad ke-19 dan melesatnya peradaban dan kesejahteraan di abad ke-20 yang baru lalu terutama berbasis pada eksploitasi minyak bumi. Kemajuan-kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi di abad ke-20 juga telah membuat kita bisa berhipotesis bahwa, jika tersedia cukup energi yang berharga terjangkau dan ilmuwan-ilmuwan pengetahuan alam serta insinyur-insinyur kimia senantiasa menelaah lebih dalam transformasi-transformasi materi dari satu wujud ke wujud-wujud lainnya, maka hampir semua bahan mentah alami

dapat disintesis atau digantikan dan kita dapat serta akan mendaur-ulang segala barang atau benda.

Paparan pembuka di atas kiranya cukup menunjukkan bahwa **energi** adalah **sumber daya induk** [*the master resource*, Simon (1996)] atau **bahan mentah paling pokok** [*the ultimate raw material*, Wei (1972)], karena energilah yang memungkinkan kita menyediakan pangan, air dan material-material lain maupun memanaskan atau mendinginkan rumah-rumah kita dan mengoperasikan mesin-mesin. Bagian-bagian berikutnya di dalam kuliah ini akan mengulas bagaimana kemampuan dan kearifan di dalam mengelola dan memanfaatkan aneka jenis sumber daya induk ini akan menjawab beberapa tantangan pokok peradaban di masa kini dan mendatang, serta sekaligus menguatkan bahwa energi memang pantas diberi julukan sumber daya induk.

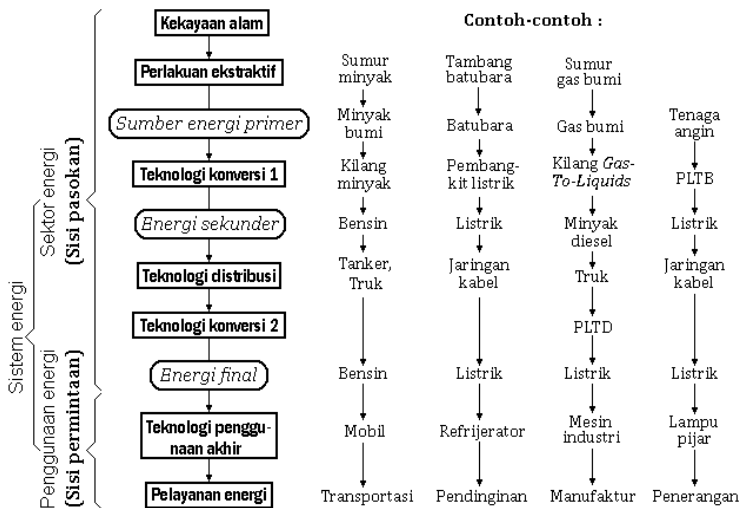
Jembatan peralihan basis sistem energi

Rantai kegiatan penyediaan energi bagi masyarakat luas meliputi usaha-usaha pengekstraksian kekayaan alam untuk menghasilkan sumber energi primer, serta pengkonversian sumber energi primer tersebut menjadi bentuk energi final

yang kemudian dikirim dan didistribusikan kepada para konsumen, untuk dimanfaatkan dalam peralatan pengguna, sehingga menghasilkan layanan energi yang diinginkan. Gambar 1 menampilkan ikhtisar dan beberapa contoh dari rantai kegiatan tersebut, serta menunjukkan pula pengertian dan cakupan dari istilah “sistem energi”, “sektor energi”, dan “penggunaan energi”. Gambar 1 juga menunjukkan bahwa apa pun sumber energi primernya, listrik dan aneka bahan bakar bermutu tinggi merupakan bentuk-bentuk utama energi final komersial. Basis dari suatu sistem energi adalah sumber energi primer utama yang dijadikan tulang punggung atau kuda kerja (*workhorse*).

Tantangan-tantangan utama yang dihadapi sistem energi negara-negara di seluruh dunia dewasa ini adalah :

1. mencegah efek-efek katastrofik yang bisa diakibatkan oleh akumulasi berlebihan gas-gas rumah kaca penyebab pemanasan global di dalam atmosfer bumi;
2. meredam ancaman terhadap ketahanan energi negara yang ditimbulkan oleh terus meningkatnya harga minyak bumi.



Gambar 1. Sistem energi mencakup seluruh rantai kegiatan penyediaan energi bagi masyarakat.

Bagi Indonesia sendiri, tantangan no. 2 seharusnya lebih menjadi prioritas, mengingat bahwa ketergantungan terhadap bahan bakar minyak dan minyak mentah impor telah menjadikan neraca perdagangan kita di tahun 2012, yaitu untuk pertama kali dalam 50 tahun terakhir, mengalami defisit serta berpotensi akan kian parah di tahun 2013 {Basri (2013)}.

Tindakan paling tepat untuk menjawab kedua tantangan tersebut di atas **adalah mengalihkan alias mengganti basis dari sistem energi kita, yang kini adalah sumber daya fosil, dengan sumber daya terbarukan.**

Namun demikian, demi menjamin transisi yang lancar dan mulus dalam pergantian basis sistem energi ini, kita harus mencermati bahwa karena sumber daya fosil, yang telah menjadi tumpuan selama paling sedikitnya seratus tahun terakhir, pada hakekatnya adalah sumber daya bahan bakar, maka 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, di dalam kerangka menjamin kesinambungan (*continuity*) penyediaan energi untuk mendukung pembangunan manusia selama transisi termaksud, industri energi mencari sumber daya terbarukan yang dapat dikonversi menjadi energi-energi final 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 maka **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**. Dengan perkataan lain, berkembangnya industri bioenergi (terutama bahan bakar nabati) adalah suatu keniscayaan yang tak dapat dihindari ataupun dicegah. Kita hanya bisa berharap dan turut mengasuh serta mengawal agar pertumbuhannya selaras dengan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan.

Munculnya 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), karena komoditas-komoditas ini merupakan bahan bakar cair mentah dan terolah. Bahan bakar cair memiliki atribut-atribut yang menjadikannya unggul dan strategis, yaitu :

- dapat disimpan secara mudah dan aman untuk jangka waktu lama, sehingga bisa dijadikan sediaan siaga untuk ketahanan energi (alias menghadapi keadaan darurat);
- portabel, mudah diangkut dan dikirim jauh;
- memiliki kerapatan energi besar;
- relatif mudah dinyalakan (dibanding bahan bakar padat), tetapi tak mudah meledak (dibanding bahan bakar gas).

Sebagai konsekuensi dari fakta-fakta ini maka, selama 1 abad lalu, kendaraan-kendaraan dan mesin-mesin konversi energi telah dirancang dan disesuaikan terutama untuk menggunakan BBM, yang secara ilmiah bisa kita sebut bahan bakar hidrokarbon cair.

Ketika ketersediaan minyak bumi dirasa mulai kurang memadai, maka dikembangkan dan diterapkan teknologi-teknologi untuk mengkonversi 2 sumber daya fosil lain (batubara dan gas bumi) menjadi bahan bakar hidrokarbon cair : Coal to liquids (CTL) dan Gas to liquids (GTL).

Belakangan ini, ketika basis sistem energi dituntut untuk berganti dari berbasis fosil menjadi berbasis sumber terbarukan, maka ahli-ahli teknologi energi berupaya :

1. mengembangkan bahan bakar cair lain yang sesuai (contoh utamanya adalah bioetanol dan biodiesel); dan
2. mencari dan memanfaatkan sumber daya nabati yang dapat dengan mudah dikonversi menjadi hidrokarbon cair.

Sebagian dari ahli-ahli yang melusuri jalur kedua mengembangkan padanan teknologi CTL dan GTL, yaitu **Biomass to Liquids** (BTL) untuk memproduksi hidrokarbon cair dari biomassa lignoselulosik seperti kayu, jerami, bagas, rumput-rumputan, dan tandan kosong sawit. Sebagian lainnya, yang menyadari bahwa asam-asam lemak dan minyak-minyak lemak sebenarnya sudah 85 – 90 % hidrokarbon, mengembangkan **teknologi hidrokarboksilasi dan hidrokseksigenasi** untuk mengkonversi minyak-minyak lemak menjadi hidrokarbon cair. Karena lebih mudah dilaksanakan, teknologi hidrokarboksilasi dan hidrokseksigenasi minyak lemak lebih dahulu mencapai tahap komersial dan menulang-punggungi lahirnya **industri biohidrokarbon** (atau **hidrokarbon terbarukan**). Dewasa ini

di dunia telah ada sekitar 5 pabrik bahan bakar hidrokarbon terbaru dan paling sedikitnya 1 yang berkapasitas besar menggunakan minyak sawit Indonesia sebagai bahan mentah. Bersama-sama dengan industri biodiesel (yaitu ester metil asam-asam lemak) dan industri bioetanol yang telah lebih dahulu tumbuh, industri biohidrokarbon melengkapi industri bahan bakar nabati (BBN, *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 penggunaannya.

Tumbuhnya industri biodiesel dan biohidrokarbon telah memicu keperluan untuk mengembangkan industri minyak lemak non-pangan, demi menghindari terjadinya persaingan antara industri bahan bakar nabati dan industri pangan di dalam memperoleh bahan mentah. Akan menjadi sangat pentingnya minyak-lemak nabati di dalam perekonomian telah ditegaskan oleh Bernard Tao, guru besar ilmu pangan dan rekayasa pertanian/biologikal Universitas Purdue (USA), *“Dalam beberapa dekade mendatang, peranan minyak-lemak nabati*

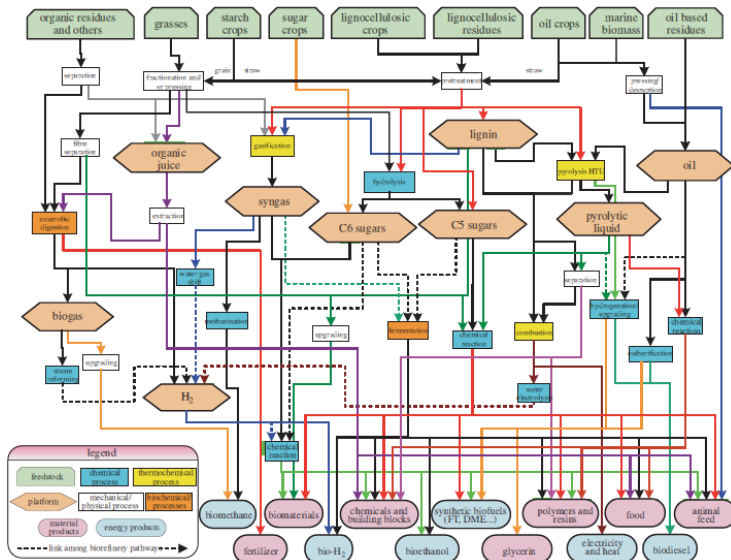
*dalam perekonomian akan sepenting dan seperkasa minyak bumi dewasa ini” [Tao (2012)]. Di dalam kaitan ini, perlu kita catat bahwa berbagai pohon-pohon sumber potensial minyak lemak non-pangan (dengan perolehan minyak yang mungkin sekali bisa lebih dari 2 ton per hektar per tahun) terbenam di dalam keanekaragaman hayati dahsyat negeri ini, menunggu kreatifitas dan upaya nyata kita untuk mengembangkannya demi ketahanan energi dan pertumbuhan ekonomi : mabai (*Pongamia pinnata*), nyamplung (*Calophyllum inophyllum*), nimba (*Azadirachta indica*), kemiri sunan (*Aleurites/Reutealis trisperma*) dan gatep pait (*Samadera/Quassia indica*).*

Pergeseran perekonomian ke arah berbasis nabati

Di abad ke-20 lalu, pertumbuhan kilang-kilang dan industri BBM telah diikuti oleh berkembangnya industri petrokimia, Industri yang hanya menggunakan sekitar 6 % dari keseluruhan minyak dan gas bumi yang diniagakan di bumi ini, sekarang menjadi basis penyediaan aneka material non-metal yang mendorong modernisasi peradaban manusia sejak tahun 1950-an. Kebertumpuan penyediaan energi dan bahan-bahan kimia kepada sumber daya fosil telah

menjadikan perekonomian di abad lalu disebut sebagai **perekonomian berbasis fosil** (*fossil-based economy*). Kini, menjamurnya industri BBN dan kian menurunnya daya saing ekonomi dan lingkungan dari sumber daya fosil sebagai bahan mentah, telah memicu pula pertumbuhan industri kimia berbasis nabati serta pergeseran ke arah **perekonomian berbasis nabati** (*bio-based economy*) dan banyak negara kini sudah menyiapkan dan melaksanakan peta-jalan (*roadmap*) menuju ke sana. Gambar 2 menampilkan sketsa alur-alur penyediaan aneka energi dan produk-produk kimia dasar di dalam perekonomian berbasis nabati [Ree (2009)].

Kenyataan bahwa pergeseran sumber bahan-bahan bakar kunci yang digunakan oleh masyarakat merupakan pemicu pergeseran basis keseluruhan perekonomian adalah bukti lebih lanjut bahwa **energi memanglah sang sumber daya induk**.



Gambar 2. Rute-rute utama pengolahan di dalam perekonomian berbasis nabati.

Perlunya teknologi konversi listrik menjadi bahan bakar cair

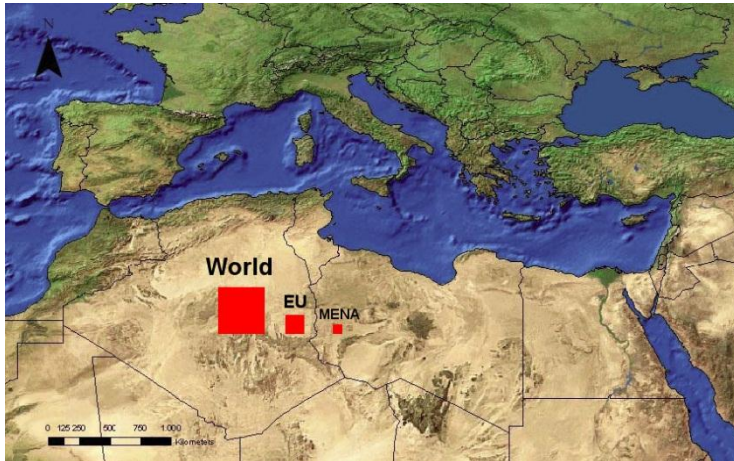
Produksi dan pemanfaatan maksimal BBN dan bioenergi (bahkan tanpa mempedulikan segala dampak risikonya) hanya akan mampu mengganti/mensubstitusi sebagian kecil BBM. Jadi, jika tak ada bahan bakar terbarukan yang tidak berbasis sumber nabati, maka pemanfaatan (dan kecanduan pada) bahan bakar fosil akan terus berlanjut, dengan segala

dampak peningkatan emisi gas-gas rumah kaca dan pemanasan global yang diakibatkannya. Permasalahan ini memersitkan gagasan perlunya teknologi-teknologi untuk mengkonversi listrik menjadi bahan bakar cair, mengingat bagian 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 salah satu kondisi ideal pengelolaan sumber daya energi : manusia mampu mengkonversi bahan bakar cair ke listrik maupun listrik ke bahan bakar cair sesuai keperluan dan kondisi-kondisi yang menjadi kendalanya.

Untuk lebih meneguhkan keyakinan akan perlunya teknologi konversi listrik ke bahan bakar cair, kita dapat menimba pelajaran dari kasus proyek DESERTEC [DESERTEC-UK (2013)]. Menurut para pengusul dan pendukung proyek ini, suatu kompleks pembangkit listrik tenaga surya termal di Gurun Sahara sudah akan bisa membangkitkan daya listrik yang besarnya sama dengan konsumsi total dunia dewasa ini, hanya dengan menutupi area seluas $300 \times 300 \text{ km}^2$, alias

hanya 4 % dari luas keseluruhan gurun tersebut. Betapa kecilnya luas area tersebut dibanding Gurun Sahara dan daratan di sekitarnya diperlihatkan dalam Gambar 3, yang mestinya bisa sekaligus mengingatkan kita bahwa pasokan harian energi surya yang dianugerahkan Yang Maha Kuasa kepada planet bumi ini masih sangat jauh lebih besar dari kebutuhan harian dunia. Persoalan teknis utama yang terantisipasi dalam usulan proyek ini bukanlah bagaimana menutupi areal seluas $300 \times 300 \text{ km}^2$ itu dengan konsentrator-konsentrator sinar surya, melainkan bagaimana mentransmisikan dan mendistribusikan listrik yang dibangkitkannya secara ekonomik ke seluruh dunia.

Rintangannya distribusi dan transmisi listrik yang dibangkitkan di daerah terpencil ke pasar-pasar yang berjarak teramat jauh tersebut di atas dapat diatasi jika saja kita memiliki teknologi konversi listrik menjadi bahan bakar cair. Pengalaman telah menunjukkan bahwa bahan bakar cair seperti BBM dan BBN dapat diangkut dan dikirim secara ekonomik ke pasar-pasar yang berjarak amat sangat jauh.

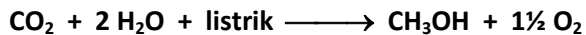


Gambar 3. Daerah dan areal target proyek DESERTEC di Gurun Sahara (EU : European Union; MENA : Middle East and North Africa).

Teknologi reduksi elektrokimia CO₂ menjadi metanol

Jika teknologi konversi listrik menjadi bahan bakar cair yang kita perlukan itu dapat juga mendayagunakan balik karbon dioksida (yang merupakan gas rumah kaca paling utama tetapi dapat relatif mudah ditangkap dari cerobong-cerobong pembangkit listrik dan industri), maka teknologi tersebut akan mampu pula meredam dan pada akhirnya menihilkan emisi gas rumah kaca. Teknologi yang dipandang paling tepat

untuk dikembangkan guna memenuhi kedua persyaratan termaksud adalah reduksi elektrokimia karbon dioksida (CO₂) menjadi metanol :

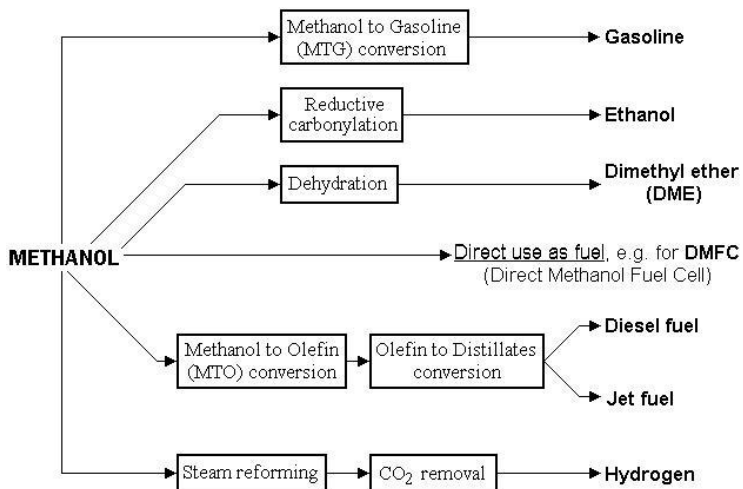


Keterpilihan metanol sebagai produk yang menjadi target reduksi elektrokimia CO₂ didasarkan pada kenyataan bahwa metanol adalah bahan kimia dasar dan bahan bakar sekunder yang serbaguna : bisa dikonversi menjadi aneka bahan kimia dan bahan bakar dengan teknologi-teknologi yang sudah terbukti dalam skala komersial. Gambar 4, yang disarikan dari paparan-paparan yang disajikan Olah dkk. (2006), memperlihatkan aneka bahan bakar yang bisa diproduksi dari metanol serta teknologi-teknologi konversinya.

Keunggulan istimewa lain dari metanol adalah kenyataan bahwa zat cair ini dapat menjadi cikal bakal produksi produksi protein, karbohidrat, dan asam-asam lemak, yang tidak lain adalah komponen-komponen makro pakan dan pangan.

- Bioteknologi produksi protein dari metanol dan amoniak telah didemonstrasikan dalam skala komersial pada era 1970-1980-an [Schrader dkk. (2008), Westlake (1986)],

antara lain oleh *Imperial Chemical Industries* (ICI), Inggris, dengan teknologi proses yang dikenal dengan nama ICI Pruteen. Gambar 5 memperlihatkan diagram alir sederhana dari proses ini.

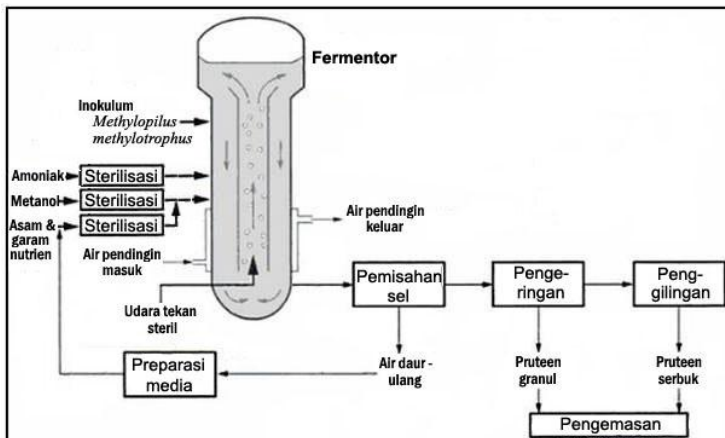


Gambar 4. Metanol adalah bahan bakar sekunder paling fleksibel, karena mudah dikonversi menjadi aneka bahan bakar final.

- Metanol merupakan bahan mentah industrial pembuatan formaldehid (formalin) [Weisermel dan Arpe (1997)] dan proses konversi/kondensasi formaldehid menjadi karbohidrat telah diketahui sejak 1861 dan dikembangkan dalam periode 1960-1980, serta pernah dipraktekkan

untuk membuat karbohidrat di dalam pesawat ruang angkasa NASA [Iqbal dan Novallin (2011), Weiss dan Kohler (1974)].

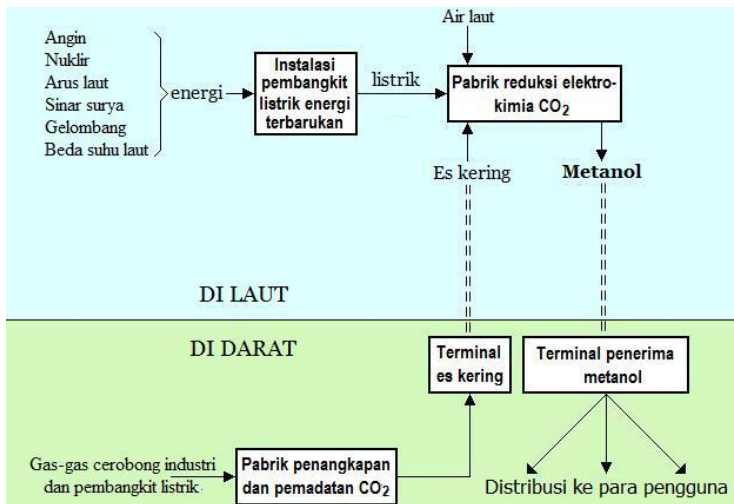
- Teknologi proses untuk memproduksi asam-asam lemak sintetik dari hidrokarbon (yang nantinya, seperti ditunjukkan dalam Gambar 4, dapat diproduksi dari metanol) telah diterapkan dalam skala komersial pada tahun 1970-1990-an, ketika harga minyak bumi masih rendah [Anneken dkk. (2006), Fineberg (1979)].



Gambar 5. Diagram alir Proses ICI Pruteen untuk memproduksi protein dari metanol dan amoniak lewat jalur bioteknologi.

Teknologi-teknologi produksi protein, karbohidrat, dan asam-asam lemak bercikal-bakal metanol tersebut di atas, kelak dapat diharapkan menjadi **rute untuk memproduksi pangan tanpa lewat pertanian.**

Salah satu skenario yang masuk akal untuk diterapkan di masa depan dalam memproduksi metanol dengan metode reduksi elektrokimia CO₂ menggunakan listrik terbarukan disajikan dalam Gambar 6. Bagi Indonesia yang tidak memiliki wilayah darat yang amat tandus seperti Gurun Sahara tetapi merupakan negara maritim, maka wilayah terpencil yang bisa dijadikan pangkalan produksi metanol dengan metode reduksi elektrokimia CO₂ sebaiknya berlokasi di laut atau samudera. Karbon dioksida yang dihimpun dari hasil penangkapan pada cerobong-cerobong pabrik-pabrik dan pembangkit-pembangkit listrik termal, dibawa ke 'anjungan' dalam bentuk ringkas (*condensed*), yaitu sebagai es kering (*dry ice*).



Gambar 6. Salah satu skenario penyediaan energi di masa depan.

Dua teknologi yang menjadi kunci dari realisasi apa yang dipaparkan di dalam bab/sub-bagian ini, yaitu :

- teknologi produksi listrik murah dari bentuk-bentuk energi matahari yang berkerapatan rendah (tenaga-tenaga angin, arus laut dan ombak, energi termal samudera, dan sinar surya itu sendiri), dan
- teknologi reduksi elektrokimia karbon dioksida menjadi metanol

sudah tentu masih harus kita teliti, kembangkan, dan demonstrasikan secara arif, tekun, dan cerdas. Jika kelak

semua itu bisa terlaksana dalam penerapan industrial maka bagian besar dari upaya mewujudkan pembangunan berkelanjutan yang sesungguhnya tampaknya akan tercapai. Dengan capaian ini pula, maka lompatan besar dalam peradaban akan terjadi dan lagi-lagi ini akan kian mengabsahkan bahwa, seperti telah diteladankan Yang Maha Kuasa sejak lama, **energi adalah sumber daya induk atau bahan mentah paling pokok.**

Penutup

Demikianlah, di dalam kuliah ini telah ditunjukkan bahwa :

- Tantangan-tantangan yang harus diatasi oleh sektor energi sekarang ini mendorong peralihan basis sistem energi dari berbasis sumber daya fosil ke sumber daya terbarukan.
- Pemanfaatan bioenergi, dan terutama bahan bakar nabati, merupakan jembatan kritikal transisi dari peralihan tersebut.
- Mengikuti berkembang luasnya industri bahan bakar nabati (BBN), perekonomian dunia akan bergeser dari berbasis fosil menjadi berbasis nabati.

- Teknologi produksi listrik murah dari bentuk-bentuk energi matahari yang berkepadatan rendah dan teknologi reduksi elektrokimia karbon dioksida menjadi metanol merupakan 2 teknologi kunci yang sangat perlu kita teliti dan kembangkan.
- Perkembangan peradaban manusia pada hakekatnya selalu bertumpu pada kemampuan manusia untuk menggunakan aneka bentuk energi surya yang dianugerahkan Yang Maha Kuasa ke planet bumi, karena seperti telah ditelladankanNYA, **energi adalah sang sumber daya induk.**

Daftar rujukan

Anneken, D.J., S. Both, R. Christoph, G. Fieg, U. Steinberner, dan A. Westfechtel, "Fatty Acids", di dalam "*Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*", edisi ke-6, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA., Weinheim, 2006.

Basri, Faisal, "Industri kimia: Antara harapan dan realita", *Presentasi Undangan dalam Seminar Outlook Industri Kimia 2013*, Jakarta, 12 Februari 2013.

DESERTEC-UK, <http://www.trec-uk.org.uk>, diakses 05 Januari 2012 dan 15 Maret 2013.

Fineberg, H., "Synthetic Fatty acids, *J. Am. Oil Chem. Soc (JAOCs)* 56(11) 805A – 809A (1979).

Fowler, J., *“Energy and the Environment”*, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1975, hal. 296.

Iqbal, Z., dan S. Novallin, *“Investigations on the formose reaction with partial formaldehyde conversion: A chance for the production of synthetic carbohydrates”*, *Emir. J. Food Agric.* 23(4) 338 – 354 (2011) dan literatur-literatur yang terdaftar di dalamnya.

Olah, G.A., A. Goeppert, dan G.K. Surya Prakash, *“Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy”*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, Weiheim, 2006.

Öpik, E.J., *“Selective escape of gases”*, *Geophysical Journal International* 7(4) 490 – 509 (1963).

Schrader, J., 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 methylotrophic bacteria”*, *Trends in Biotechnology* 27(2) 107 – 115 (2008).

Simon, J., *“The Ultimate Resource 2”*, Princeton University Press, Princeton, N.J., 1996, hal. 162.

Ree, R. Van, *“Adding value to the sustainable utilisation of biomass”*, Agrotechnology & Food Sciences Group, Wageningen, Belanda, 2009.

Tao, B. : <https://news.uns.purdue.edu/html4ever/0007.Tao.biofuels.html> diakses 23 Desember 2012.

Wei, J., *“Energy: the ultimate raw material”*, *Chemical Technology* 2(3) 142 -147 (1972).

Weiss, A.H., dan J.T. Kohler, *“Production of edible carbohydrates from formaldehyde in a space craft”*, *Report NASA-CB-140684*, National Aeronautics and Space Administration (NASA), Moffet Field, California, 1974.

Weissermel, K., dan H.-J. Arpe, *“Industrial Organic Chemistry”*, edisi ke 3, NCH Publishers, Inc., New York, 1997.

Westlake, R., “Large scale continuous production of single-cell protein”, *Chem. Ing. Tech.* 58(12) 934 – 937 (1986).

Curriculum Vitae

Tatang Hernas Soerawidjaja lahir di Sumedang tanggal 13 Maret 1951, menikah dengan Endang Padminingsih tahun 1978, memiliki 2 anak laki-laki yang kini masing-masing telah memberinya 2 cucu laki dan 1 cucu perempuan.

Tatang menjadi staf pengajar Jurusan (kini: Program Studi) Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung (ITB), sejak bulan Desember tahun 1974 dan pernah menjadi Ketua jurusan Teknik Kimia ITB (1989 – 1992), Wakil Ketua Badan Kejuruan Kimia – Persatuan Insinyur Indonesia (BKK-PII, 1989 – 1995), serta pernah menduduki aneka jabatan di lingkungan ITB maupun Direktorat Jenderal pendidikan Tinggi.

Ketika memimpin Pusat Penelitian Material dan Energi, Institut Teknologi Bandung (1997 – 2003), pada diri Tatang terpujuk visi bahwa bahan bakar nabati (BBN, *biofuel*) dan bioenergi mestinya menjadi bagian/porsi penting dari bauran energi (*energy mix*) Indonesia. Berdasar visi ini, ia kemudian menjadi anggota pendiri Forum Biodiesel Indonesia di bulan Februari tahun 2002 dan menjadi ketuanya sampai sekarang. Organisasi ini, yang beranggotakan peneliti, pengusaha serta pejabat pemerintah dan bermaksud mendorong produksi dan pemanfaatan biodiesel di Indonesia, dipimpinya mempromosikan biodiesel ke berbagai kementerian pemerintah dan parlemen. Bersama sejawatnya yang lebih muda, Dr Ir Iman K. Reksowardojo (Teknik Mesin ITB) dan Dr Tirta P. Brodjonegoro (Teknik Kimia ITB), ia mengembangkan teknologi produksi biodiesel dan mendirikan pabrik pemandu (*pilot plant*) produksi biodiesel berkapasitas 150 liter per *batch* (sekali masak) di kampus ITB. Biodiesel hasil produksi pabrik pemandu ini digunakan mereka bertiga dalam kendaraan masing-masing untuk menjadi bukti teladan berpromosi bahwa biodiesel merupakan bahan bakar yang baik dan aman bagi kendaraan diesel. Teknologi produksi biodiesel ini kemudian diterapkan pada pabrik biodiesel 20 ton/hari milik PT Ganesha Energi 77 di Perbaungan, Sumatera Utara, (di lokasi pabrik dan bekerjasama dengan PTP IV). Tatang juga aktif dalam perumusan standar mutu dan kebijakan

pemerintah dalam bidang bahan bakar nabati. Dalam bulan Agustus 2005, ia adalah salah satu orang pertama yang dihubungi pihak pemerintah dalam menyusun naskah awal, dan kemudian terlibat dalam rapat-rapat penyempurnaan, apa yang kini dikenal sebagai Peraturan Presiden RI no. 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional (yang antara lain berisi bahwa kontribusi bahan bakar nabati pada bauran energi nasional harus mencapai 5 % di tahun 2025).

Hingga kini, Tatang terus aktif mengembangkan teknologi, industri, dan pemanfaatan aneka bahan bakar nabati di Indonesia. Kepemimpinan perintisannya membuat berberapa kalangan menyebutnya sebagai Bapak Angkat atau Wali (*godfather*) dari pengembangan (teknologi, industri dan pemanfaatan) bahan bakar nabati atau *biofuel* di Indonesia. Sekarang, selain menjadi anggota baru Komisi Ilmu Rekayasa - Akademi Ilmu Pengetahuan Indonesia (KIR-AIPI), ia adalah Ketua Ikatan Ahli Bioenergi Indonesia (IKABI), Ketua Forum Biodiesel Indonesia (FBI), anggota Komisi Energi Dewan Riset Nasional (DRN), Wakil Ketua Dewan Pakar Masyarakat Energi Terbarukan Indonesia (METI), dan anggota Dewan Penasehat Asosiasi Produsen Biofuel Indonesia (APROBI).