

SEKILAS TENTANG *BIOREFINERY*

Dyah Setyo Pertiwi, PhD

dyahspertiwi@yahoo.com, dsp@itenas.ac.id

Jurusan Teknik Kimia ITENAS, Jl. PHH Mustafa No 23 Bandung 40124

1. Definisi dan Klasifikasi *Biorefinery*

Menurut *Oxford English Dictionary*, '*refinery*' adalah '*a factory where a substance such as oil is refined (made pure)*' (Hornby, 2000). Tetapi, istilah '*oil refinery*' and '*biorefinery*' tidak terbatas hanya pada pemurnian dari minyak bumi atau biomass. Sub bab ini akan mengulas tentang perkembangan konsep dan klasifikasi dari *biorefinery*.

Istilah *biorefinery* dapat ditemukan dalam paper-paper sejak permulaan tahun 1990-an (Kamm et al., 2006). Pada saat itu, istilah lain juga digunakan untuk merepresentasikan proses-proses yang menggunakan biomass untuk berbagai produk, seperti *biomass conversion plants* (Goldstein, 1981), *biomass refining & processing industries* (Tong and Cannell, 1983), *agricultural refineries* (Rexen and Munck, 1984), dan *food & bioproduct processing* (Webb, 1994). *Biorefinery* juga dianggap sebagai kebangkitan dari *chemurgy*, sebuah istilah yang dikenal di tahun 1930-an (Anon., 2008b; Beeman, 1994; Webb, 1994). Istilah *biorefinery* makin populer di awal abad ini.

Ada berbagai definisi *biorefinery* dalam literatur (Burel, 2007; De Jong et al., 2006; NREL, 2008; Thran et al., 2008) dan yang paling komprehensif diberikan oleh *International Energy Agency* (IEA), *Bioenergy Task 42*. IEA adalah sebuah badan otonomi beranggotakan 25 negara OECD yang didirikan di tahun 1974 untuk mengimplementasikan program energi internasional sebagai respon atas krisis minyak. Aktivasinya diarahkan untuk mencapai tujuan-tujuan kebijakan energi kolektif dari anggota-anggotanya dalam hal *energy security*, pengembangan ekonomi dan sosial, dan perlindungan lingkungan, yang ditetapkan dalam berbagai *Implementing Agreements*. Saat ini terdapat empat puluh *Implementing Agreements* yang aktif, di antaranya adalah IEA *Bioenergy*, yang dibentuk di tahun 1978 (IEA Bioenergy, 2009).

IEA *Bioenergy* beranggotakan 21 negara, Australia, Austria, Belgia, Brazil, Kanada, Kroasia, Denmark, Komisi Eropa, Finlandia, Perancis, Jerman, Irlandia, Italia, Jepang, Belanda, Selandia Baru, Norwegia, Afrika Selatan, Swedia, Swiss, Inggris, and Amerika. IEA *Bioenergy* bertujuan untuk meningkatkan kerja sama dan pertukaran informasi antar negara yang mempunyai program nasional dalam penelitian, pengembangan dan penerapan bioenergi. Saat ini, IEA *Bioenergy* mempunyai 13 tugas, termasuk *Task Number 42* yang bertajuk *Biorefineries (Co-production of fuels, chemicals, power and materials from biomass)*. Tugas pertamanya adalah melaksanakan proyek tiga tahun (2007-2009) dipimpin Belanda dengan tujuan utama untuk memeriksa (asses) posisi dan potensi dari konsep *biorefinery* di dunia dan untuk mengumpulkan pandangan-pandangan baru dalam *biorefinery* yang terus berkembang. Ia juga bertanggung jawab untuk menyiapkan definisi umum dari *biorefinery* dan sistem klasifikasi *biorefinery* yang jelas dan diterima secara luas.

Menurut IEA *Bioenergy Task Number 42*, *biorefinery* didefinisikan sebagai '*the sustainable processing of biomass into a spectrum of marketable products and energy*'. Definisi ini juga mencakup kata-kata kunci sebagai berikut (Van Ree and Annevelink, 2007):

- ***biorefinery***: *concepts, facilities, processes, cluster of industries,*
- ***sustainable***: *maximising economics, minimising environmental aspects, fossil fuel replacement, socio-economic aspects taken into account,*
- ***processing***: *upstream processing, transformation, fractionation, thermo-chemical and/or biochemical conversion, extraction, separation, downstream processing,*
- ***biomass***: *crops, organic residues, agro-residues, forest residues, wood, aquatic biomass,*
- ***spectrum***: *more than one,*
- ***marketable***: *a market (acceptable volumes & prices) already exists or is expected to become available in the near future,*
- ***products***: *both intermediates and final products, i.e. food, feed, chemicals, and materials, and*
- ***energy***: *fuels, power, heat.*

Definisi ini jelas mencakup karakteristik dari *input* dan *output* proses, tipe proses yang terlibat, dan kinerja dari keseluruhan proses. Definisi ini juga mencakup makanan (dan makanan ternak) dalam spektrum produknya, yang pada umumnya tidak dicakup dalam definisi *biorefinery* yang lain. Prosesnya mencakup konversi di samping pemurnian. Keseluruhan proses harus *sustainable*, yaitu mempertimbangkan aspek ekonomi, social, dan lingkungan, yang bisa dicapai dengan memproduksi lebih dari satu material dan/atau energi.

Hingga saat tulisan ini dibuat, penulis belum mendapatkan klasifikasi *biorefinery* dari IEA *Bioenergy*. Namun, ada beberapa istilah klasifikasi yang sudah umum digunakan meskipun dengan konsistensi yang rendah. Sebagai contoh, *biorefinery* biasa dikategorisasikan menurut bahan bakunya dan/atau fleksibilitas dari prosesnya. Berdasarkan bahan bakunya, sering digunakan istilah *biorefinery* generasi pertama, kedua, dan ketiga. Istilah *biorefinery* generasi pertama biasanya digunakan untuk yang memanfaatkan *crops* (hasil pertanian), seperti hasil pertanian yang kaya akan gula, pati dan minyak. Sedangkan *biorefinery* generasi kedua dan ketiga masing-masing menggunakan bahan-bahan berbasis lignoselulosa dan limbah. *Biorefinery* generasi kedua dan ketiga ini diharapkan untuk mengantisipasi kerawanan pangan. Dengan memanfaatkan limbah, masalah lingkungan akan juga teratasi. Satu istilah baru, *biorefinery* generasi keempat, barangkali diperlukan untuk *biorefinery* yang menggunakan bahan baku campuran, misalnya *whole crops* dan limbah pertanian dan menghasilkan berbagai jenis produk.

Biorefinery generasi pertama dan kedua juga dikenal sebagai *biorefinery* konvensional dan *advanced* (Van Ree and Annevelink, 2007). Tetapi, teknologi berkembang sangat cepat. Penggolongan semacam ini tidak akan valid dalam jangka panjang.

Tiap generasi *biorefinery*, selama ini juga dikelompokkan lagi menjadi tiga 'fasa', yaitu *biorefinery* fasa satu (seri), fasa dua (bercabang) dan fasa tiga (paralel). *Biorefinery* fasa satu menggunakan satu jenis bahan baku untuk satu konfigurasi proses yang menghasilkan satu jenis produk. Fasa dua memanfaatkan satu jenis bahan baku untuk suatu proses yang terintegrasi yang menghasilkan berbagai produk. Fasa tiga fleksibel untuk berbagai jenis bahan baku dan meliputi proses yang terintegrasi untuk berbagai produk (Clark and Deswarte, 2008; Kamm et al., 2006; SCI, 2005). Berdasarkan pengertian *biorefinery* yang diberikan oleh IEA *Bioenergy*, *biorefinery* harus mempunyai lebih dari satu jenis produk. Karenanya, semua proses dengan fasa satu tidak memenuhi syarat untuk disebut *biorefinery*. Semua proses berfasa satu tersebut perlu dimodifikasi untuk menjadi proses-proses bercabang atau paralel. Contohnya adalah proses produksi biodiesel, di mana gliserin yang dihasilkan dikonversi menjadi berbagai produk lain, seperti asam suksinik atau plastik terbaharukan dan sebagainya.

Proyek *biorefinery* di dunia diberi nama berdasarkan bahan bakunya (contoh: *Green Biorefinery*, *Whole Crop Biorefinery*, *Ligno-Cellulosic Feedstock Biorefinery*, *Marine Biorefinery*), teknologinya (*Two-Platform Concept Biorefinery*, *Thermo-Chemical Biorefinery*), atau produk utama/antaranya (*Syngas Platform*, *Sugar Platform*, dan *Lignin Platform Biorefineries*) (Clark and Deswarte, 2008; Kamm et al., 2006; Van Ree and Annevelink, 2007). Pada saat ini, proyek-proyek tersebut berada dalam berbagai level pengembangan, yaitu skala pilot, demonstrasi/skala penuh, Research & Development (R&D), dan network. Sesuai dengan definisi *biorefinery*, kebanyakan proyek mengembangkan *biorefinery* fasa kedua dan ketiga. Tabel 1 memuat contoh proyek-proyek skala pilot dan demonstrasi.

Biorefinery masih terus dikembangkan untuk memanfaatkan sebanyak mungkin material di dalam biomass, untuk meningkatkan kelayakan ekonomi dan untuk memenuhi aspek-aspek lingkungan. Selain itu, *biorefinery* diharapkan dapat memenuhi kebutuhan pasar di masa yang akan datang, dapat mengantisipasi perbedaan musim panen dari berbagai bahan bakunya dan dapat beroperasi secara kontinu untuk menciptakan lapangan kerja yang bukan musiman (Clark and Deswarte, 2008; SCI, 2005).

2. 'Biorefineries' versus 'Oil Refineries'

Oil refinery selama ini memegang peran utama dalam menyediakan bahan baku atau utilitas penunjang pada kebanyakan industri makanan, energi, bahan kimia dan material lain. Karena itu, pengembangan ilmu-ilmu teknik kimia kebanyakan bersumber pada pengalaman dalam *oil refinery*. Apakah sebenarnya tantangan-tantangan dalam pengembangan *biorefinery*? Tabel 2 memuat perbandingan aspek proses dari *biorefinery* dan *oil refinery* sedangkan Gambar 1 memuat diagram *oil*

refinery secara umum. Perbandingan aspek-aspek ini diperlukan untuk menentukan langkah-langkah strategis pengembangan *biorefinery*.

Tabel 1: Karakteristik dari Beberapa Contoh Proyek *Biorefinery* (Pertiwi 2009)

<i>Programme</i>	<i>Feedstock(s)</i>	<i>Product(s)</i>	<i>Feature(s)</i>
<i>BioHub - led by Roquette, France (WCB)</i>	<i>Cereals (corn) Capacity: 1.3 Mt/a</i>	<i>Isosorbide as platform chemical for the production of monomers and polymers</i>	<i>Development of White Biotech Processes</i>
<i>BioValue, Netherlands (WCB)</i>	<i>Vegetable oil</i>	<i>Biodiesel, rapeseed cakes, artificial fertiliser, additives to petrol, diesel and biodiesel, pharmaceutical acetates</i>	<i>The fuel and additive are made from glycerine</i>
<i>BioGasol, Denmark (LCFB as a part of WCB)</i>	<i>Waste, grass, agricultural residues Capacity: 0.1 Mt/a</i>	<i>Bioethanol, hydrogen, methane, and others Capacity: 10ML bioethanol, 10 kt solid fuel (fuel pills), and 4Mm³ biogas</i>	<i>Second generation biofuel production</i>
<i>Beethanol, Netherlands (WCB)</i>	<i>Flexible feedstocks (wheat, beet, leaves, fibres, maize, grass)</i>	<i>Bioethanol (5 – 50ML), feed, biogas, CO₂</i>	<i>Realising multiple smaller plants close to the farm that will lower the transport costs, and give zero waste.</i>
<i>DOE 2007 (Six cellulosic biorefinery awardees (Abengoa, Poet, Alico, Blue Fire, Iogen, Range Fuels) (LCFB)</i>	<i>Corn stover, citrus waste, construction waste, wheat straw or wood residues</i>	<i>Cellulosic ethanol and energy</i>	<i>Investigation to the technical and economical performance. Period: between 2002 – 2011</i>
<i>FORCE-Concept, Sweden (LCFB)</i>	<i>Woody biomass or forest residues</i>	<i>Cellulosic fibres, hemicelluloses, acids, xylan, lignin, and motor fuels</i>	<i>Reduction of energy costs in existing pulp and paper mills leading to becoming net energy producers.</i>
<i>Ligno-cellulosic Feedstock Biorefinery Iceland (LCFB)</i>	<i>Multiple ligno-cellulosic biomass Capacity: 20kt</i>	<i>Bioethanol and chemicals</i>	<i>This small scale biorefinery is feasible in Iceland because of very efficient and low price geothermic energy.</i>
<i>BioMCN (TCB)</i>	<i>Glycerine from conventional biodiesel processes</i>	<i>100% Methanol (maximum 900 kt/a)</i>	<i>Re-opening the former Methanol production facilities that used to use natural gas</i>
<i>Green Biorefinery, Austria (GB)</i>	<i>Silage</i>	<i>Bulk and fine chemicals (Lactic acid, amino acids), fibre-derived products (animal feed, boards, insulation materials, cardboard and paper) and CHP from biogas</i>	<i>The feedstock is silage, instead of fresh grass; therefore, the plant can be operated full year round</i>
<i>Marine Biorefinery, Germany (MB)</i>	<i>Microalgae (polluted water and CO₂) Capacity: 5000 – 10,000L (400 m²)</i>	<i>Feed, food, pharmacy, cosmetics</i>	<i>Being operated since August 2007.</i>

Note: WCB: whole crop biorefinery, LCFB: ligno-cellulosic biorefinery, TCB: thermo-chemical biorefinery GB: green biorefinery, MB: marine biorefinery. Information are adopted from Van Ree & Annevelink (2007).

Dalam Gambar 1, tampak bahwa keseluruhan proses *oil refinery* dapat diklasifikasikan menjadi tiga tahap, yaitu *primary distillation*, *conversion* dan *upgrading processes* (Kirk et al., 1982). Tahap yang pertama meliputi *vacuum distillation* sebelum proses-proses konversi residu. Proses konversi ditujukan untuk memotong rantai panjang karbon dan juga untuk menurunkan konsentrasi senyawa-senyawa yang tidak diinginkan. Proses *upgrading* mempunyai tujuan yang serupa dengan proses konversi, selain juga untuk menghasilkan senyawa baru. Reaktan dan produk yang ditargetkan dalam proses-proses ini ditampilkan dalam Tabel 3.

Sebagai analogi, *primary distillation* dapat diserupakan dengan operasi-operasi awal untuk mengekstrak prekursor dalam biomass. Pada *oil refinery*, satu atau multi distilasi (berdasarkan

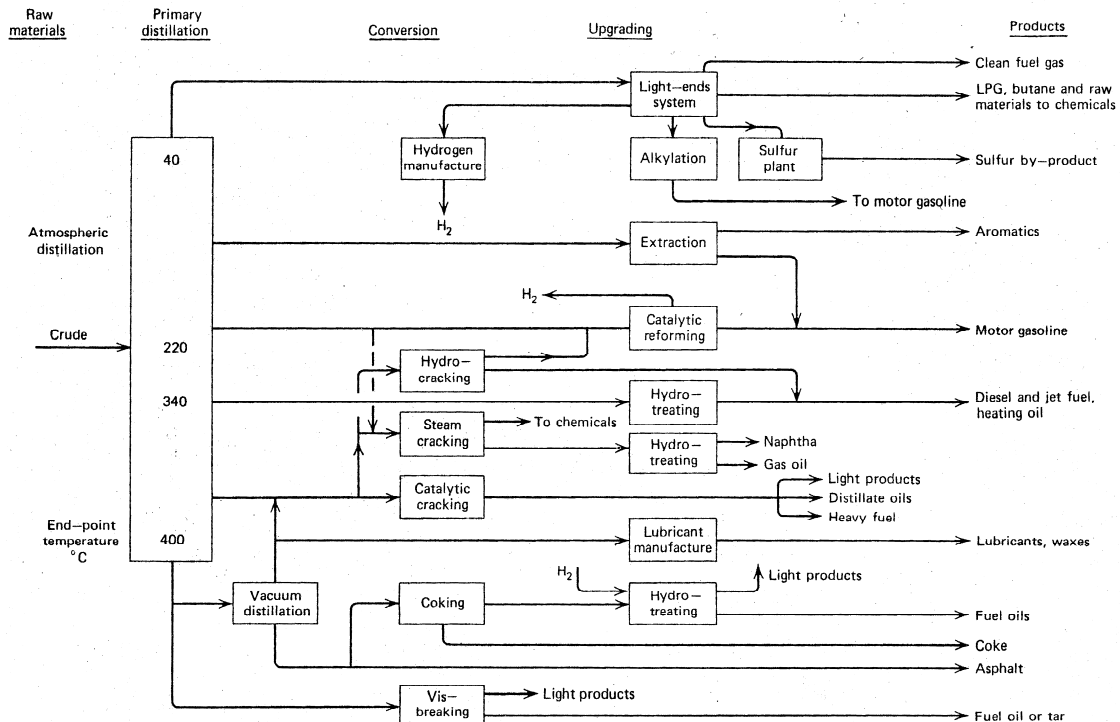
perbedaan volatilitas) dapat digunakan untuk memisahkan hampir semua komponen dalam minyak mentah. Untuk *biorefinery*, jenis operasi yang berbeda diperlukan, karenanya data properti yang berbeda akan diperlukan. Sebagai contoh, tebu mengandung terutama gula, air dan lignoselulosa. Air dan gula dapat dipisahkan dari lignoselulosa dengan pressing (memanipulasi perbedaan fasa). Lignoselulosa kemudian dapat dipisahkan menjadi lignin, hemiselulosa dan selulosa dengan metoda yang lain, jika diperlukan. Ekstraksi air atau alkali dapat digunakan. Hemiselulosa terlarut dalam air dan lignin dapat diekstrak dalam alkali, sedangkan selulosa tertinggal sebagai residu.

Tabel 2: Perbandingan Proses Aspek *Biorefineries* dan *Oil Refineries* (Pertiwi 2010)

No	Item	Biorefineries	Oil Refineries
1	Feedstock	'Organic materials of recent biological origin' (Brown, 2003).	Petroleum
2	Building blocks	Building blocks for chemicals: 1,4 diacids (succinic, fumaric and malic), 2,5 furan dicarboxylic acid, 3 hydroxy propionic acid, aspartic acid, glucaric acid, glutamic acid, itaconic acid, levulinic acid, 3-hydroxybutyrolactone, glycerol, sorbitol, and xylitol/arabinitol (Werpy et al., 2004)	Ethylene, propylene, the C4 olefins (butadiene and butenes), benzene, toluene, xylenes (ortho, meta, and para) and methane [AIChE, 1993]
3	Main components	Sugars, starches, ligno-cellulose, oils/fats or proteins, water, vitamins and minerals	Hydrocarbons, sulphur, nitrogen, oxygen, metals, and other elements [Speight 2002].
4	Material properties - Composition - Variety - Availability - Durability - Stability - Form	- complex mixture - high variety - seasonal (renewable) - easily damaged - biodegradable - high solids content	- better known mixtures - less variety - all year around (but finite) - durable - stable - mostly liquid phase
5	Main operations	- biomass pre-treatment (e.g. drying, size reduction), - primary refining (e.g. pressing, hydrolysis, torrefaction, pyrolysis, hydro-thermal processing, digestion), - secondary refining (e.g. fermentation, gasification), - energy production (e.g. digestion/combustion and CHP production from process residues), - (catalytic) intermediate and final product upgrading (e.g. catalytic syngas conversion, catalytic synthesis from platform chemicals), - product separation. [Van Ree and Annevelink, 2007]	- crude oil preparation (e.g. blending), - primary distillation (e.g. atmospheric & vacuum distillation), - conversion (e.g. hydro-cracking, steam cracking, catalytic cracking, coking, visbreaking, including separation of undesirable compounds), - upgrading (i.e. 23 major and 16 minor unit processes, e.g. alkylation, catalytic reforming, hydrotreating, esterification, including separation of undesirable compounds). [Herrick et al., 1979; Kirk and Othmer, 1980; Ullmann, 1988; Wittcoff et al., 2004]
6	Process synthesis methods	These have not yet been established. Most likely, they will adapt the existing process synthesis methods; however, there should be some modifications regarding the characteristics of the feedstocks.	There are already established heuristic methods as well as simulation and control tools
7	Property databases	Limited and under development, e.g. - Phyllis (ECN) - Biomass Database (US-DoE)	Established databases, e.g. - CRC Handbook of Chemistry and Physics - Perry's Chemical Engineers' Handbook - Material Safety Data Sheets (MSDS) - Thermophysical property data for pure components and mixtures developed by The Design Institute for Physical Property Data (DIPPR)

Satu analogi untuk tahap konversi adalah proses *cracking* rantai karbon polisakarida menjadi disakarida atau monosakarida. Dalam fraksi minyak bumi, senyawa dengan berat molekul besar mempunyai rasio C terhadap H yang lebih besar (Ullmann, 1988). Analogi dengan itu, rasio C terhadap H pada polisakarida juga lebih besar dibanding rasio pada disakarida dan monosakarida.

Selain itu, karbohidrat juga mengandung oksigen dengan rasio C terhadap O yang menurun dengan pertambahan jumlah karbon. Proses cracking pada *oil refineries* ditujukan untuk menambah kandungan hidrogen atau untuk mengurangi jumlah atom karbon. Serupa dengan itu, transformasi polisakarida ke turunannya dapat dilakukan dengan penambahan atom hidrogen dan oksigen dari air yang disebut dengan proses hidrolisis. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengidentifikasi potensi dari proses *cracking* dari komponen biomassa yang lain menjadi turunannya, di antaranya transformasi lemak/minyak menjadi asam lemak dan gliserol, dan protein menjadi asam amino.



Gambar 1: Proses Oil Refinery secara Keseluruhan (Kirk et al., 1982)

Tahap *upgrading* dari *biorefinery* bisa jadi adalah semua operasi yang menggunakan prekursor, termasuk proses pemurnian produk, dan mungkin akan ditemukan kecenderungan tertentu dalam hal transformasi kandungan karbon, hidrogen atau oksigen. Ada kemiripan dalam hal fungsi produk yang ditargetkan. Produk-produk dalam tahap ini diharapkan menjadi *building blocks/platform chemicals*, bahan bakar atau material yang potensial. Sebagai contoh, transformasi gula menjadi *platform chemicals* adalah sesuai dengan produksi *building blocks* dari *oil refineries*, yaitu etilena, propilena, olefin C4 (butadiena dan butena), benzena, toluen, xylene (ortho, meta, dan para) dan methana (AIChE, 1993). *Building blocks* ini dapat dihasilkan dari proses *steam cracking*, *dehydrogenation*, atau *catalytic reforming*. Produksi etanol dari fermentasi gula adalah serupa dengan produksi *gasoline* dengan *catalytic cracking*. Potensi produksi aromatik dari lignin juga serupa dengan produksi aromatik dari *catalytic reforming*. Produk potensial lain dari biomassa, terutama bahan kimia, diduga dapat diturunkan dari *platform chemicals* melalui berbagai reaksi, seperti *reduction*, *polymerisation*, *dehydration* dan *amination* (Werpy et al., 2004). Prekursor biomass lain, seperti protein dan minyak/lemak juga potensial untuk produk lain yang berharga. *Oleochemical* tertentu dapat menjadi sumber yang baik untuk pelumas (Hill, 2006). Tipe-tipe biomass tertentu diharapkan potensial menjadi substitusi *petrochemical* tertentu (Tong and Cannell, 1983). Penelitian dan pengembangan yang terus menerus diperlukan untuk realisasi *biorefinery* yang lebih cepat. *Oil refineries* telah memiliki paling tidak 23 unit proses mayor dan 16 unit proses minor yang sudah mapan (Herrick et al., 1979).

Catalytic cracking-visbreaking, *hydrocracking-catalytic cracking* dan *hydrocracking-coking* sebenarnya ditemukan pada saat krisis minyak di tahun 70-an. Proses-proses tersebut berhasil memanfaatkan residu untuk memproduksi *gasoline* dan *middle distillates* lain sebanyak dua kali lipat

(Irion and Neuwirth, 1991). Dalam konteks *biorefinery*, pendekatan ini seperti yang terjadi dalam pengembangan *biorefinery* generasi kedua, di mana selulosa dan hemiselulosa dari residu pertanian dihidrolisis menjadi gula untuk selanjutnya diproses menjadi biofuel dan produk lain. Namun, penelitian dan pengembangan lebih lanjut masih diperlukan.

Tabel 3: Reaksi dalam Oil Refineries (data diadopsi dari Wittcoff et al 2004) (Pertiwi 2009)

No.	Reaction	Reactants	Products
1	Cracking		
	- Steam cracking*	<i>n</i> -alkanes, cycloalkanes, aromatics in oil, or ethane, propane, butane, and higher hydrocarbons in natural gas	Ethylene, propylene, butenes, and butadiene for chemical industries
	- Catalytic cracking*	Large molecules	Gasoline with 5-12 carbon atoms, branched-chain molecules, and aromatics
	- Hydrocracking (catalytic)	Hydrogen and heavy crudes containing sulphur-, nitrogen- and oxygen-compounds	More volatile products, H ₂ S, NH ₃ and H ₂ O
2	Polymerisation/oligomerisation	Low molecular weight olefins or isobutene	Gasoline-range molecules or isooctene, which could be hydrogenated to isooctane, which could enhance the lead-free gasoline octane number
3	Alkylation*	Olefin and paraffin (e.g. propylene and isobutene)	Branched-chain molecules to improve the lead-free gasoline octane number
4	Catalytic Reforming*	Straight chain and cyclic aliphatics	Aromatics, primarily BTX
5	Dehydrogenation	All compounds that could be cracked or reformed, e.g. ethylbenzene, butenes, or propane	Styrene, butadiene, and propylene, respectively
6	Isomerization	Straight-chain compounds, e.g. <i>n</i> -butane, <i>n</i> -pentane, <i>n</i> -hexane,	Branched-chain compounds, e.g. isobutane, isopentane, and isohexane, respectively
7	Coking	Metals in a refinery stream	Coke containing metals
8	Hydrotreating	Hydrogen and sulphur-, nitrogen-, & oxygen-containing compounds	H ₂ S, NH ₃ and H ₂ O

* most important processes

3. Tantangan dalam Sintesis Biorefinery

Nampak dalam tinjauan sebelumnya bahwa perkembangan *biorefinery* memang mengarah kepada produksi substitusi petrochemicals. Telah banyak inisiatif untuk mensintesis, dan untuk meningkatkan kelayakan dan operasionalitas *biorefinery*. Proyek-proyek seperti ditampilkan dalam Tabel 1 lebih banyak dimunculkan berdasarkan keberadaan bahan baku dan kebutuhan akan produk. Masih ada banyak jenis biomassa yang belum dimanfaatkan, oleh karena itu, ide-ide yang telah ada perlu dikumpulkan untuk dirumuskan menjadi pedoman-pedoman yang sistematis demi penghematan biaya, untuk evaluasi yang lebih luas dan untuk menghasilkan proses-proses baru.

Metode proses sintesis yang sistematis yang ada sekarang dirintis di awal tahun 70-an. Metode itu adalah *systematic generation*, *evolutionary modification* dan *superstructure optimisation*. Telah banyak heuristic diturunkan untuk membantu insinyur-insinyur untuk mendesain dan mengoperasikan proses-proses, terutama dalam *oil refineries*, dan belum tentu heuristic yang ada dapat langsung diterapkan pada sintesis *biorefinery*.

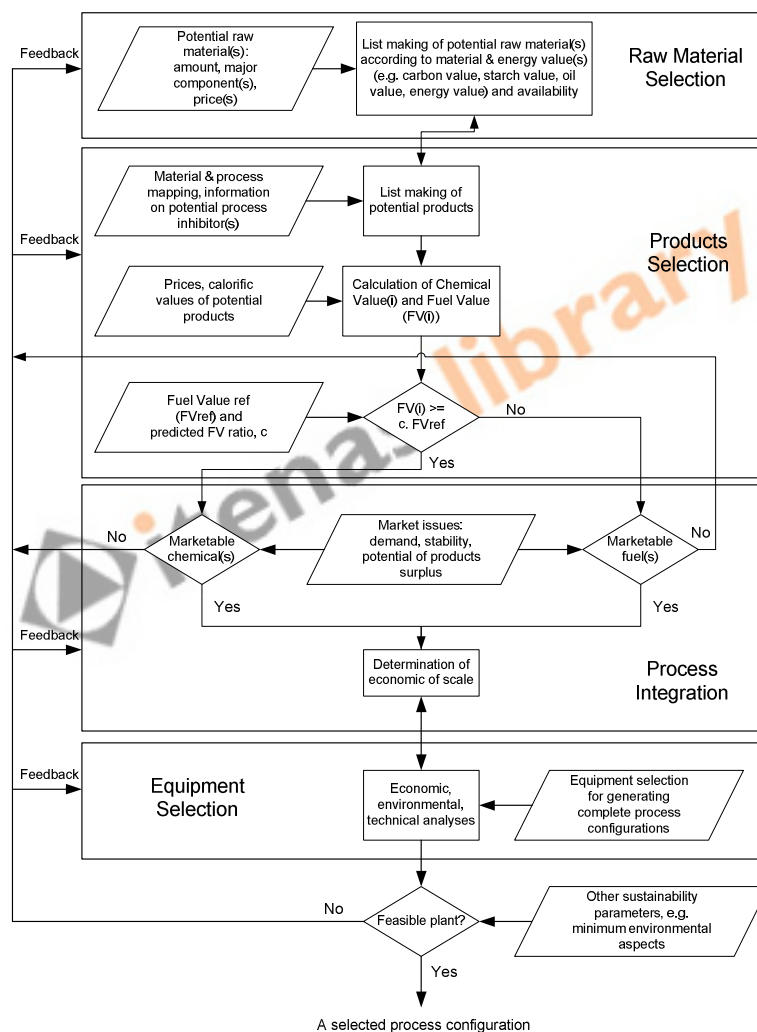
Sintesis *biorefinery* untuk saat ini lebih mungkin dilakukan dengan kombinasi metode *evolutionary modification* dan *superstructure optimisation*. Pada saat ini belum banyak tersedia data yang berkaitan dengan karakter biomassa dan proses-proses teruji. Modifikasi dan optimasi proses-proses yang ada bersamaan dengan pengidentifikasian heuristic yang relevan diharapkan bisa dilakukan. Di masa depan, diharapkan juga mungkin dilakukan *biorefinery systematic generation* atau barangkali akan terbukti visi metode gabungan *generate-evolve-optimize-critique* (Siirola 1996).

Ada empat tantangan utama dalam sintesis *biorefinery* bila diasosiasikan dengan tahap-tahap *systematic generation* oleh Siirola and Rudd [1971] (*reaction path, material allocation, task*

identification, task integration, utility dan equipment design). Tantangan tersebut adalah pemilihan bahan baku, pemilihan produk, integrasi proses dan pemilihan alat. Penanganan bahan di sisi hulu perlu mendapatkan perhatian lebih karena perbedaan karakter bahan baku yang berarti. Biomassa cenderung berfasa padat sedangkan bahan baku fosil selain batu bara, lebih berbentuk fluida.

Beberapa perangkat analogi dengan yang diusulkan oleh Speight [2002] and Tong & Cannell [1983] diusulkan untuk mengantisipasi tiga tantangan yang pertama. Korelasi antara keempat tantangan dengan perangkat yang diusulkan, ditampilkan dalam Gambar 2.

Komponen-komponen berharga utama dalam biomassa akan menentukan jenis produk dan proses yang sesuai, seperti halnya dalam *oil refineries*. Untuk biomassa, bahan-bahan yang mengandung gula, pati dan minyak/lemak/protein seharusnya diprioritaskan untuk kebutuhan pangan/pakan ternak. Namun, gaya hidup telah membawa kebutuhan non-primer seperti transportasi dan listrik menjadi prioritas utama. Kelebihan bahan makanan di suatu area cenderung akan digunakan untuk bahan baku energi dari pada dikirimkan ke daerah rawan pangan. Untuk mengantisipasi kecenderungan ini, *biorefinery* yang ideal perlu segera memanfaatkan bahan baku non-pangan.



Gambar 2: Sintesis *Biorefinery* berdasarkan Usulan Heuristik & Parameter (Pertiwi 2010)

Pemetaan biomass dapat disederhanakan dengan metode *grouping/lumping*. Dalam peta tersebut data komposisi biomassa dan kandungan energi tiap komponen perlu ditampilkan (Pertiwi, 2010, untuk lebih detail). Nilai komponen biomassa bisa diukur dengan parameter semacam *Carbon Value* dan *Energy Value*. Parameter-parameter ini analog dengan *Chemical and Fuel Values* suggested by Tong & Cannell [1983]. *Carbon Value* adalah harga bahan baku per unit masa karbon, sedangkan *energy value* adalah harga per unit energi. Parameter lain bisa pula ditetapkan sesuai dengan komponen utama dari biomassa, seperti *Starch Value*, *Oil Value*, dan *Protein Value*. Parameter-

parameter ini bisa digunakan untuk membantu pengambilan keputusan pemilihan bahan baku yang paling murah di antara alternatif bahan baku dengan komponen utama yang sama. Selain itu, informasi keberadaan bahan baku juga diperlukan.

Beberapa technology platforms dari konsep *biorefinery* yang telah ada dapat digunakan untuk merintis pemetaan potensial proses dan produk (Pertiwi 2010, untuk lebih detail). Biorefinery harus memproduksi lebih dari satu produk, dan proses pemilihan dapat dibantu dengan menggunakan parameter potensi profit, seperti *Chemical Value* dan *Fuel Value* [Tong & Cannel 1983]. *Chemical Value* adalah harga produk per unit massa, sedangkan *Fuel Value* adalah *Chemical Value* per unit energi produk. Urutan operasi, dan perlu tidaknya pemisahan atau pemurnian material dalam *biorefinery* perlu diperhatikan. Urutan operasi dalam *biorefinery* akan mempengaruhi komposisi keluaran, yang di dalam *biorefinery* umumnya tidak reversibel. Komponen biomassa barangkali bisa diurutkan berdasarkan kestabilannya, misalnya kestabilan lignin > selulosa > hemiselulosa > pati > gula, juga kestabilan proteins > oils/fats > vitamins (Pertiwi 2009). Evaluasi pada perlakuan awal bahan-bahan mengandung lignoselulosa menunjukkan bahwa urutan proses yang disarankan untuk *biorefinery* dengan orientasi non-energi adalah perlakuan fisika (suhu rendah) → perlakuan fisikokimia (suhu rendah) → perlakuan biologi → perlakuan kimiawi → pemurnian produk (Pertiwi, 2009). Proses produksi ethanol dari jagung, tebu dan gandum juga mengikuti urutan yang serupa. Ethanol yang dihasilkan bisa menjadi produk antara untuk proses selanjutnya. Secara ringkas, integrasi operasi-operasi yang terlibat dalam *biorefinery* perlu diperhatikan untuk menjaga struktur alami komponen-komponen berharga yang mungkin sensitif. Meskipun demikian, penjagaan struktur alami biomassa ini menjadi tidak perlu ketika biomassa ditargetkan menjadi sumber elemen karbon dan hidrogen (sumber energi). Sebagai contoh adalah proses-proses dalam *thermo-chemical biorefinery* dari *Energy Research Centre (ECN)* di Belanda. Perlakuan fisika dengan suhu tinggi, atau proses kimiawi dan fisikokimiawi suhu tinggi bisa dioperasikan di awal keseluruhan proses.

4. Kesimpulan

Konsep dan aplikasi *biorefinery* masih terus dikembangkan. Usaha pengembangan yang sistematis perlu terus diupayakan. Diperlukan kerja sama berbagai pihak untuk mengumpulkan dan mengevaluasi perkembangan yang ada untuk menyiapkan *data base* bahan baku, proses dan produk, juga untuk menyiapkan heuristik-heuristik yang relevan bagi sintesis *biorefinery*. Keberadaan pedoman-pedoman sistematis diharapkan akan menghemat sumber daya dan lebih jauh lagi mendukung dihasilkannya temuan-temuan baru.

5. Referensi

- AIChE, 1993. Guidelines for Engineering Design for Process Safety. Centre for Chemical Process Safety/AIChE, New York.
- Anon., 2008b. Better Living through Chemurgy. In: *The Economist*. New York.
- Beeman, R., 1994. Chemivisions: The Forgotten Promises of the Chemurgy Movement. *Agricultural History* 64 (4), 23.
- Brown, R.C., 2003. *Bio Renewable Resources*. Iowa State Press, The U.S.
- Burel, C., 2007. European Lead Market on Biobased Products. In: *Forest-Based Sector Technology Platform 4th Conference. A European Technology Platform for Sustainable Chemistry*, Hannover, Germany.
- Clark, J.H., Deswarte, F.E.I., 2008. The Biorefinery Concept - An Integrated Approach. In: Clark, J.H., Deswarte, F.E.I. (Ed.), *Introduction to Chemicals from Biomass*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
- De Jong, E., Van Ree, R., Van Tuil, R., Elbersen, W., 2006. Biorefineries for the Chemical Industry - A Dutch Point of View. In: Kamm, B., Kamm, M., Gruber, P.R. (Eds.), *Biorefineries - Industrial Processes and Products, Status Quo and Future Directions*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Germany.
- Goldstein, I.S., 1981. Integrated Plants for Chemicals from Biomass. In: Goldstein, I.S. (Ed.), *Organic Chemicals from Biomass*. CRC Press, Inc., Florida.
- Herrick, E.C., King, J.A., Oullette, R.P., Cheremisinoff, P.N., 1979. *Unit Process Guide to Organic Chemical Industries*. Ann Arbor Science Publishers, Inc., Michigan
- Hill, K., 2006. Industrial Development and Application of Biobased Oleochemicals. In: Kamm, B., Gruber, P.R., Kamm, M. (Eds.), *Biorefineries - Industrial Processes and Products*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA., Weinheim, Germany, pp. 497.
- Hornby, A.S., 2000. *Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English*. Oxford University Press, Oxford.

- IEA Bioenergy, 2009. What is IEA Bioenergy? Retrieved 12 February, 2009 from <http://www.ieabioenergy.com/IEABioenergy.aspx>. IEA Bioenergy,
- Irion, W.W., Neuwirth, O.S., 1991. Oil, Oil Refining. In: Bredrich, I., Goltz, H., Gutsche, R., Pikart-Muller, M., Bugler-Ryan, P. (Eds.), Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, Germany.
- Kamm, B., Kamm, M., Gruber, P.R., Kromus, S., 2006. Biorefinery Systems - An Overview. In: Kamm, B., Gruber, P.R., Kamm, M. (Eds.), Biorefineries - Industrial Processes and Products. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, pp. 3-40.
- Kirk, R.E., Othmer, D.F., Herman, M.F., Martin, G., David, E., Jahnig, C.E., 1982. Encyclopedia of Chemical Technology. Petroleum (Refinery Processes, Survey). In: Petroleum (Refinery Processes, Survey) vol. 17. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- NREL, 2008. What Is a Biorefinery? In: Biomass Research. Retrieved 19 February, 2009 from <http://www.nrel.gov/biomass/biorefinery.html>. NREL,
- Pertiwi, D.S., 2009. Process Synthesis for Biorefineries. Tesis PhD. The University of Manchester, UK.
- Pertiwi, D.S. et al, 2010. Conceiving Process Synthesis Methods for Biorefineries. 13th Asia Pacific Confederation of Chemical Engineering, Taipei, Taiwan, 5-8 Oktober.
- Rexen, F., Munck, L., 1984. Cereal Crops for Industrial Use in Europe. Report EUR 9617 EN by The Commission of The European Communities, Denmark.
- SCI, 2005. Biorefinery Revolution. In: Chemistry & Industry. pp. 14-15.
- Thran, D., Grongroft, A., Muller-langer, F., 2008. Second and Third Generation of Biofuels and Biorefineries. Considerations and Concepts. In: Workshop: Biofuels and Bio-based Chemicals. Trieste.
- Tong, G.E., Cannell, R.P., 1983. The Economics of Organic Chemicals from Biomass. In: Wise, D.L. (Ed.), Organic Chemicals from Biomass. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., Cambridge, Massachusetts.
- Ullmann, F., 1988. Encyclopedia of Industrial Chemistry. VCH, Weinheim.
- Van Ree, R., Annevelink, B., 2007. Status Report Biorefinery 2007. Report 847 by Agrotechnology and Food Sciences Group, Wageningen.
- Webb, C., 1994. Bioconversion of Cereals: New Challenges in Food and Bioproducts Processing. Trans I ChemE 72 (Part C).
- Werpy, T., Petersen, G., Aden, A., Bozell, J., Holladay, J., White, J., Manheim, A., Elliot, D., Lasure, L., Jones, S., Gerber, M., Ibsen, K., Lumberg, L., Kelley, S., 2004. Top Value Added Chemicals from Biomass. In: Volume I-Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas. Report NREL/TP-510-35523, DOE/GO-102004-1992 by National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge.
- Wittcoff, H.A., Reuben, B.G., Plotkin, J.S., 2004. Industrial Organic Chemicals. John Wiley & Sons, New Jersey.