

Konsep dan Tantangan Pengembangan *Biorefinery*

Dyah Setyo Pertiwi

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Itenas, Bandung

Email: dsp@itenas.ac.id

ABSTRAK

Saat ini telah terdapat definisi dan pendekatan penamaan/pengklasifikasian *biorefinery* yang dirumuskan oleh suatu badan otonomi bernama IEA Bioenergy, Task Number 42. Definisi *biorefinery* yang dirumuskan terbukti paling komprehensif dibandingkan definisi lain yang tersedia di literatur. Pendekatan pengklasifikasian *biorefinery* yang diajukan pun telah mempertimbangkan empat feature utama dari *biorefinery*, yaitu platform, produk, bahan baku dan proses. Panduan yang sistematis dinilai perlu ada untuk mendorong pengembangan *biorefinery* yang sustainable. Pengembangan *biorefinery* saat ini cenderung berbasis kepada kebutuhan untuk mensubstitusi produk oil refinery. Pengembangan proses-proses dalam *biorefinery* pun menyerupai pengembangan proses dalam oil refinery. Namun demikian, perbedaan karakteristik bahan baku memberi tantangan kepada sintesis *biorefinery*. Tantangan berupa pemilihan bahan baku dan produk disarankan untuk dihadapi dengan penggunaan parameter-parameter pembanding, seperti Chemical Value, Fuel Value, dan Component Value; sedangkan pemilihan jenis proses dan urutan proses yang sistematis dapat dirintis dengan adanya pemetaan technology platform terhadap kandungan bahan baku. Pemetaan tersebut akan menunjukkan adanya perbedaan yang berarti antara proses-proses untuk energy-driven *biorefineries* dan material-driven *biorefineries*. Keberadaan klasifikasi *biorefinery* serta ketersediaan perangkat, berupa peta dan parameter pembanding, diharapkan dapat mendorong pengembangan sistem *biorefinery* yang sustainable dengan lebih cepat.

Kata kunci: *biorefinery*, konsep, tantangan, sintesis

ABSTRACT

There has been a definition and classification approach for *biorefinery* systems provided by an autonomous agency, IEA Bioenergy, Task Number 42. The definition is so far the most comprehensive and the classification has included four major features in *biorefinery*, i.e. platforms, products, raw materials and processes. It is envisaged that systematic guidance for developing sustainable *biorefineries* will be available. The current *biorefinery* development has been based on the need for the substitution of oil refinery products. Also, the development has been analogous to the oil refinery process development. However, the special characteristics of biomass have given some challenges to *biorefinery* synthesis. Some parameters are suggested to face the challenges in raw material and product selections, i.e. Chemical Value, Fuel Value, and Component Value, while process and process order selection can be assisted by technology platform and raw material mapping. There should be significant differences in process development for energy-driven *biorefineries* and material-driven *biorefineries*. The existence of *biorefinery* classification as well as some tools, i.e. mappings and relevant parameters, is expected to foster the development of sustainable *biorefinery* systems.

Keywords: *biorefinery*, concepts, challenges, synthesis

¹ Sebagian isi makalah ini telah disajikan pada Seminar Tjipto Utomo pada tanggal 30 September 2010 di Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung.

1. PENDAHULUAN

Biorefinery diharapkan dapat menjadi salah satu sarana untuk menyediakan materi dan energi yang selama ini dipenuhi oleh *oil refinery*. Selain didorong oleh kebutuhan akan produk, perkembangan *biorefinery* di berbagai belahan dunia didorong juga oleh ketersediaan bahan baku maupun teknologi. Potensi pengembangan sistem *biorefinery* sangat besar mengingat banyaknya jenis biomassa. Namun demikian panduan yang sistematis untuk sintesis *biorefinery* yang *sustainable* belum tersedia. Studi ini mengidentifikasi tantangan-tantangan dalam sintesis *biorefinery* dan mengusulkan beberapa parameter dan perangkat untuk menghadapinya. Usulan tersebut dapat diselaraskan dengan pendekatan penamaan/pengklasifikasian sistem *biorefinery* yang diusulkan oleh suatu badan otonomi internasional yang bekerja dalam area *biorefinery*. Dalam tulisan ini juga disajikan perbandingan proses-proses dalam *biorefinery* dan *oil refinery*. Terdapat analogi proses di antara keduanya, namun mengingat sifat bahan baku yang berbeda, maka urutan proses dalam *biorefinery* perlu lebih diperhatikan.

2. DEFINISI DAN KLASIFIKASI BIOREFINERY

Menurut Oxford English Dictionary, '*refinery*' adalah '*a factory where a substance such as oil is refined (made pure)*' [1]. Tetapi, istilah '*oil refinery*' and '*biorefinery*' tidak terbatas pada pemurnian minyak bumi atau biomassa. Istilah *biorefinery* dapat ditemukan dalam paper-paper sejak permulaan tahun 1990-an [2] dan makin populer di awal abad ini. Pada saat itu, istilah lain juga digunakan untuk merepresentasikan proses-proses yang menggunakan biomassa untuk berbagai produk, seperti *biomass conversion plants* [3], *biomass refining & processing industries* [4], *agricultural refineries* [5], dan *food & bioproduct processing* [6]. *Biorefinery* juga dianggap sebagai kebangkitan dari *chemurgy*, sebuah istilah yang dikenal di tahun 1930-an [6], [7], [8].

Ada berbagai definisi *biorefinery* dalam literatur [9], [10], [11], [12] 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. Aktivitasnya 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*. Terdapat empat puluh *Implementing Agreements* yang aktif, di antaranya adalah IEA *Bioenergy*, yang dibentuk di tahun 1978 [13].

IEA *Bioenergy* beranggotakan Komisi Eropa dan 21 negara (Australia, Austria, Belgia, Brazil, Kanada, Kroasia, Denmark, 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. 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 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 menyiapkan 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 mencakup kata-kata kunci sebagai berikut [14]:

- *biorefinery*: konsep, fasilitas, proses, kelompok industri,
- *sustainable*: memaksimalkan nilai ekonomi, meminimalkan aspek lingkungan, penggantian bahan bakar berbasis fosil, mempertimbangkan aspek sosio-ekonomi,
- *processing*: proses hulu, transformasi, fraksionasi, konversi termokimia dan/atau biokimia, ekstraksi, pemisahan, proses hilir,

- *biomass*: hasil pertanian, residu organik, residu pertanian, residu kehutanan, kayu, biomassa air,
- *spectrum*: lebih dari satu,
- *marketable*: pasar tersedia/diharapkan segera tersedia dengan volume dan harga yang diterima
- *products*: produk antara maupun produk akhir, sebagai contoh makanan, pakan ternak, bahan kimia dan material; dan
- *energy*: bahan bakar, daya, panas.

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 pakan ternak dalam spektrum produknya, yang umumnya tidak dicakup dalam definisi *biorefinery* yang lain. Prosesnya mencakup konversi di samping pemurnian. Keseluruhan proses harus *sustainable*, yaitu mempertimbangkan aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan, yang bisa dicapai dengan memproduksi lebih dari satu material dan/atau energi.

Ada beberapa istilah klasifikasi yang umum digunakan, meskipun dengan konsistensi yang rendah. Sebagai contoh, *biorefinery* kadang dikelompokkan menurut bahan bakunya dan/atau fleksibilitas dari prosesnya. Berdasarkan bahan bakunya, sering digunakan istilah *biorefinery* generasi pertama, kedua, dan ketiga. Istilah *biorefinery* generasi pertama digunakan untuk yang memanfaatkan *crops* (hasil pertanian), seperti hasil pertanian yang kaya akan gula, pati dan minyak. *Biorefinery* generasi kedua dan ketiga masing-masing menggunakan bahan berbasis *lignocellulose* dan limbah serta diharapkan untuk mengantisipasi kerawanan pangan. Dengan memanfaatkan limbah, masalah lingkungan akan juga teratasi. Satu istilah baru, *bioerefinery* 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* [14]. Akan tetapi, teknologi berkembang sangat cepat, sehingga penggolongan semacam ini tidak akan valid dalam jangka panjang.

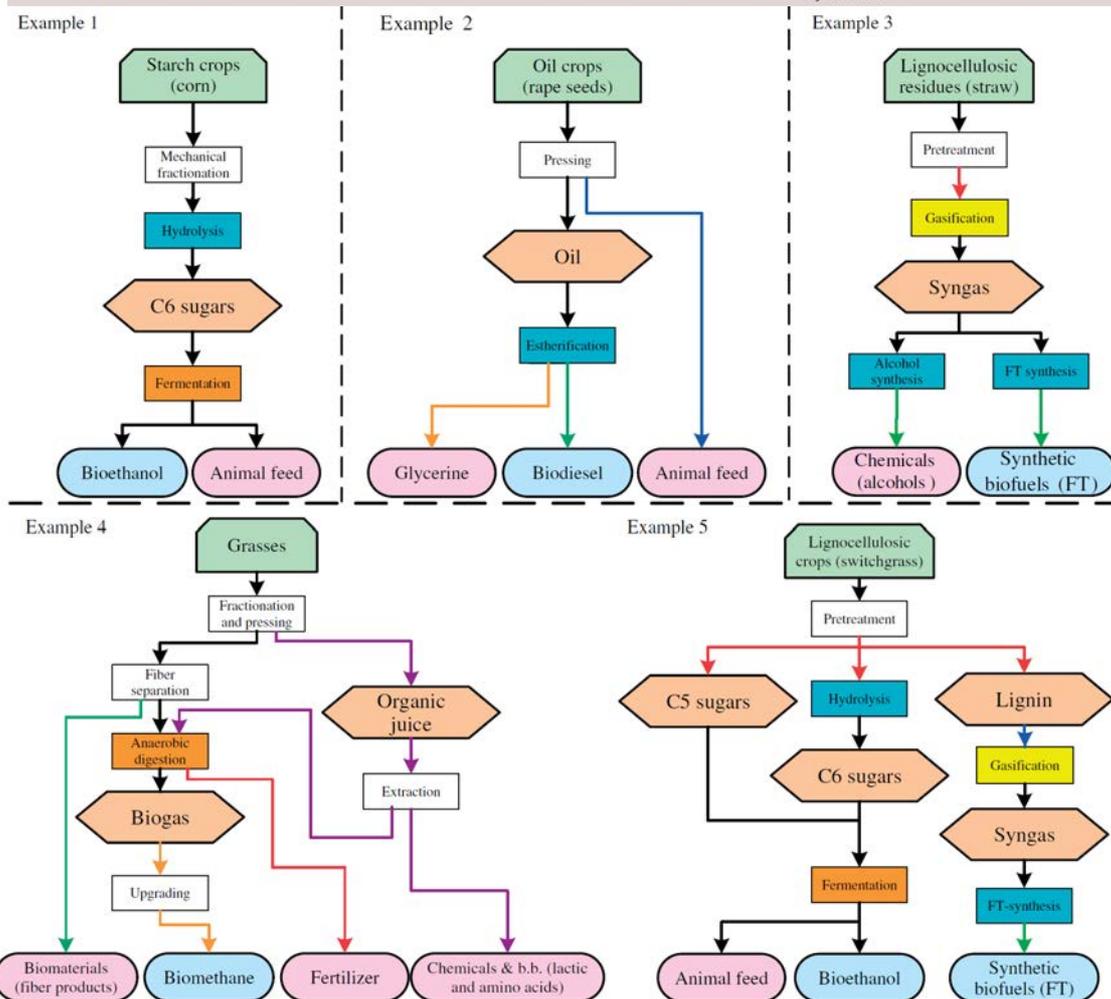
Tiap generasi *biorefinery*, selama ini juga dikelompokkan lagi menjadi tiga ‘fasa’, yaitu *biorefinery* fasa satu (seri), fasa dua (bercabang) dan fasa tiga (paralel). *Biorefinery* fasa satu menggunakan satu jenis bahan baku untuk satu konfigurasi proses yang menghasilkan satu jenis produk. Fasa dua 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 [2], [15], [16]. 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*. *Biorefinery* fasa satu perlu dimodifikasi menjadi *biorefinery* fasa dua atau tiga. Sebagai contoh, pada proses produksi biodiesel produk samping gliserin dikonversi menjadi asam suksinik atau plastik terbarukan.

Selama ini, 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*) [2], [14], [15]. Proyek-proyek tersebut berada dalam berbagai level pengembangan, yaitu skala pilot, skala demonstrasi/skala penuh, level *Research & Development* (R&D), atau dalam level pengembangan *network*; dan kebanyakan proyek tersebut mengembangkan *biorefinery* fasa kedua dan ketiga.

Untuk mengatasi pengklasifikasian dan penamaan yang beragam, IEA *Bioenergy Task Number 42* telah merumuskan pendekatan penamaan *biorefinery* berdasarkan empat *feature* utama (diurutkan sesuai dengan tingkat kepentingannya) sbb.: platform, produk, bahan baku dan proses [17]. Pemberian nama suatu sistem *biorefinery* diawali dengan tahap identifikasi *feature* utama, dilanjutkan dengan penggambaran skema sistem *biorefinery* menggunakan *feature* yang terlibat dan pemberian nama sistem *biorefinery* dengan menyatakan jumlah platform, produk, bahan baku dan jika perlu prosesnya. Contoh penamaan/pengklasifikasian sistem *biorefinery* menurut IEA *Bioenergy Task Number 42* disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Contoh penamaan sistem *biorefinery* berdasarkan IEA *Bioenergy Task Number 42* [17]

#	Name	Platforms	Products			Processes	Source of auxiliary energy	
			Energy	Material	Feedstock		Heat	Power
1	One-platform (C6 sugar) biorefinery for bioethanol and animal feed from starch crops	C6 sugars	Bioethanol	Animal feed	Starch crops (corn)	Hydrolysis, fermentation	Natural gas	Grid
2	One-platform (oil) biorefinery for biodiesel, animal feed and glycerine from oil crops	Oil	Biodiesel	Animal feed (rape cake), glycerine	Oil crops (rapeseed)	Pressing, transesterification	Natural gas	Grid
3	One-platform (syngas) biorefinery for synthetic biofuels and chemicals from lignocellulosic residues	Syngas	Synthetic biofuels (FT-fuels)	Chemicals (alcohols)	Lignocellulosic residues (straw)	Pre-treatment, gasification, FT synthesis, alcohol synthesis	Natural gas	Grid
4	Two-platform (biogas and organic juice) biorefinery for biomethane, chemical b.b., biomaterials and fertilizer from grasses	Biogas, organic juice	Biomethane	Chemical b.b. (lactic acid, amino acid), biomaterials (fibers)	Grasses	Pressing, fiber separation, anaerobic digestion, upgrading (...)	Natural gas	Grid
5	Four-platform (C6/C5 sugars and lignin/syngas) biorefinery for synthetic biofuels, bioethanol and animal feed from lignocellulosic crops	C6/C5 sugars, lignin, syngas	Synthetic biofuels (FT-fuels), bioethanol	Animal feed	Lignocellulosic crops (switchgrass)	Pre-treatment, hydrolysis, fermentation, gasification, FT synthesis	Natural gas	Grid

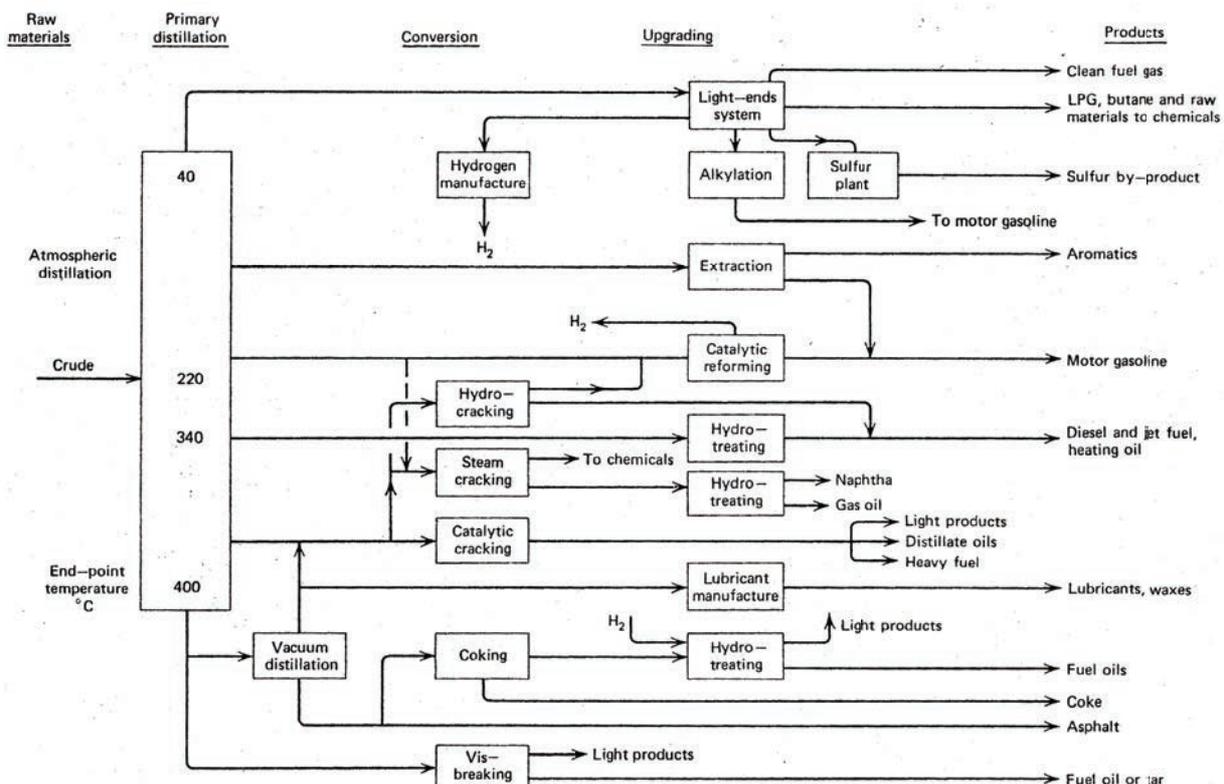


Dalam Tabel 1 disajikan lima contoh penamaan sistem *biorefinery*. Skema sistem *biorefinery* meliputi empat *feature* yang diwakili dengan berbagai bentuk bangun dan warna. Produk *biorefinery* dikelompokkan menjadi dua yaitu jenis energi dan material. Dalam definisi *biorefinery* menurut IEA *Bioenergy, Task Number 42*, kata kunci *products* digunakan untuk meliputi produk-produk selain energi. Namun pada metode penamaan ini, produk selain energi dikelompokkan sebagai *material*. Untuk menghindari makna ganda dari *products*, tulisan ini konsisten pada pengelompokan jenis produk *biorefinery* sebagai energi dan material.

Contoh pertama yang disajikan di Tabel 1 adalah *Example 1*, yaitu sistem *biorefinery* yang diberi nama *One-platform (C6 sugar) biorefinery for bioethanol and animal feed from starch crops/Biorefinery satu platform (gula C6) untuk bioetanol dan pakan ternak dari hasil pertanian berbasis tepung*. Nama sistem *biorefinery* yang lain juga memuat empat *feature* masing-masing. Metode penamaan tersebut dianggap dapat mengakomodasi variasi sistem *biorefinery* yang akan terus bertambah di masa yang akan datang. Setelah perumusan definisi dan klasifikasi *biorefinery*, target IEA *Bioenergy Task Number 42* selanjutnya (2010 – 2012) di antaranya [18] mengidentifikasi produk-produk berbasis bio yang paling potensial, memeriksa status dan pengembangan potensi dari *energy-driven biorefineries* dan *material-driven biorefineries*, serta menyediakan tinjauan tentang pendekatan dan pengembangan panduan untuk *sustainability assessment*.

3. '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*. Gambar 1 memuat diagram *oil refinery* secara umum, sedangkan Tabel 2 memuat perbandingan aspek proses dari *biorefinery* dan *oil refinery*. Perbandingan aspek-aspek ini diperlukan untuk menentukan langkah-langkah strategis pengembangan *biorefinery*.



Gambar 1. Proses *oil refinery* secara keseluruhan [25]

Tabel 2. Perbandingan aspek proses *biorefineries* dan *oil refineries* [19]

No	Komponen	Biorefineries	Oil Refineries
1	Bahan baku (raw material)	Bahan organik non fosil [20].	Minyak bumi
2	Building blocks	Building blocks untuk bahan kimia: 1,4 diacids (succinic, fumaric dan malic), 2,5 furan dicarboxylic acid, 3 hydroxy propionic acid, aspartic acid, glucaric acid, glutamic acid, itaconic acid, levulinic acid, 3-hydroxybutyrolactone, glycerol, sorbitol, dan xylitol/arabinitol [21]	Etilena, propilena, olefin C4 (butadiena dan butena), benzena, toluen, xilena (ortho, meta, dan para) dan metana [22]
3	Komponen utama	Gula, tepung (starch), lignocellulose, minyak/lemak atau protein, air, vitamin dan mineral	Hidrokarbon, sulfur, nitrogen, oksigen, logam dan elemen lain [23].
4	Sifat material - Komposisi - Variasi - Ketersediaan - Ketahanan - Kestabilan - Wujud	- Campuran kompleks - Banyak - Musiman dan terbarukan - Mudah rusak - Terbiodegradasi - Kandungan padatan tinggi	- Campuran dengan komposisi yang sudah diketahui - Sedikit - Sepanjang tahun tapi terbatas - Tahan - Stabil - Kebanyakan fasa cair
5	Operasi utama	- Perlakuan awal biomassa (contoh pengeringan, pengecilan ukuran), - Refinery primer (contoh: pressing, hydrolysis, torrefaction, pyrolysis, hydro-thermal processing, digestion), - Refinery sekunder (contoh fermentasi, gasifikasi), - Produksi energi (contoh pemasakan/pembakaran dan produksi CHP dari residu proses), - Upgrading (katalitik) produk antara dan produk akhir (contoh konversi katalitik syngas, sintesis katalitik platform chemicals), - Pemisahan produk. [14]	- Perlakuan awal untuk minyak mentah (contoh: blending), - Distilasi primer/primary distillation (contoh: distilasi atmosferik & distilasi vakum/vacuum distillation) - Konversi (contoh: hydro-cracking, steam cracking, catalytic cracking, coking, visbreaking, termasuk pemisahan senyawa yang tidak diinginkan), - Upgrading (contoh: 23 unit proses mayor dan 16 unit proses minor, seperti alkilasi, catalytic reforming, hydrotreating, esterification, termasuk pemisahan senyawa yang tidak diinginkan). [24], [25], [26], [27]
6	Metode sintesis proses	Belum ada metode yang mapan. Sangat mungkin akan dapat mengadopsi metode sintesis proses yang telah ada, tetapi diduga akan ada beberapa modifikasi sehubungan dengan karakteristik bahan baku yang spesial.	Telah ada heuristics yang relevan dan perangkat simulasi dan pengendalian
7	Data base sifat bahan	Terbatas dan dalam masa pengembangan, seperti: - Phyllis (ECN) - Biomass Database (US-DoE)	Data base yang sudah mapan, seperti: - CRC Handbook of Chemistry and Physics - Perry's Chemical Engineers' Handbook - Material Safety Data Sheets (MSDS) - Data sifat termofisika untuk komponen murni dan campuran yang disusun oleh The Design Institute for Physical Property Data (DIPPR)

Dalam Gambar 1, dan seperti disajikan dalam Tabel 2, tampak bahwa keseluruhan proses *oil refinery* dapat diklasifikasikan menjadi tiga tahap, yaitu *primary distillation*, *conversion* dan proses *upgrading* [25]. 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.

Sebagai analogi, *primary distillation* dapat diserupakan dengan operasi-operasi awal untuk mengekstrak prekursor dalam biomassa. 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, seperti disajikan pada Tabel 1, *Example 2* dan 4, *rape seeds* dan *grasses* dipisahkan minyak dan jus organiknya dari *lignocellulose* dengan *pressing* (memanipulasi perbedaan fasa). Pada *Example 5*, *switchgrass* dipisahkan menjadi tiga komponen dengan perlakuan awal. Tiap komponen tersebut kemudian menjadi *platform chemicals* untuk berbagai produk.

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 [26]. 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 *hydrolysis*. Pada Tabel 1, *Example 1* dan 5, proses *hydrolysis* digunakan untuk menghasilkan gula C6 dari senyawa dengan rantai karbon yang lebih panjang (*starch* dan *lignocellulose*). 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.

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, xilena (ortho, meta, dan para) dan metana [22]. *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* [21]. Prekursor biomassa lain, seperti protein dan minyak/lemak juga potensial untuk produk lain yang berharga. *Oleochemical* tertentu dapat menjadi sumber yang baik untuk pelumas [29]. Tipe-tipe biomassa tertentu diharapkan potensial menjadi substitusi *petrochemical* tertentu [4]. 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 [24].

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 [30]. Dalam konteks *biorefinery*, pendekatan ini seperti yang terjadi dalam pengembangan *biorefinery* generasi kedua, di mana selulosa dan hemiselulosa dari residu pertanian di-*hydrolysis* menjadi gula untuk selanjutnya diproses menjadi biofuel dan produk lain. Pada Tabel 1, sistem *biorefinery* yang relevan adalah *Example 3*, 4 dan 5.

4. TANTANGAN DALAM SINTESIS *BIOREFINERY*

Nampak dalam tinjauan sebelumnya bahwa perkembangan *biorefinery* memang mengarah kepada produksi substitusi *petrochemicals*. Proyek-proyek *biorefinery* lebih banyak muncul karena kebutuhan akan produk, tetapi keberadaan bahan baku juga menjadi dasar pengembangan *biorefinery*. Masih banyak komponen biomassa yang belum dimanfaatkan. Kelayakan ekonomi dan pemenuhan aspek lingkungan juga perlu ditingkatkan. *Biorefinery* diharapkan dapat memenuhi kebutuhan pasar, dapat mengantisipasi perbedaan musim panen dari berbagai bahan bakunya dan dapat beroperasi secara kontinu untuk menciptakan lapangan kerja yang bukan musiman [15], [16]. Ide-ide pengembangan *biorefinery* yang telah ada perlu dikumpulkan untuk dirumuskan menjadi pedoman-pedoman yang sistematis untuk sintesis *biorefinery* yang *sustainable*.

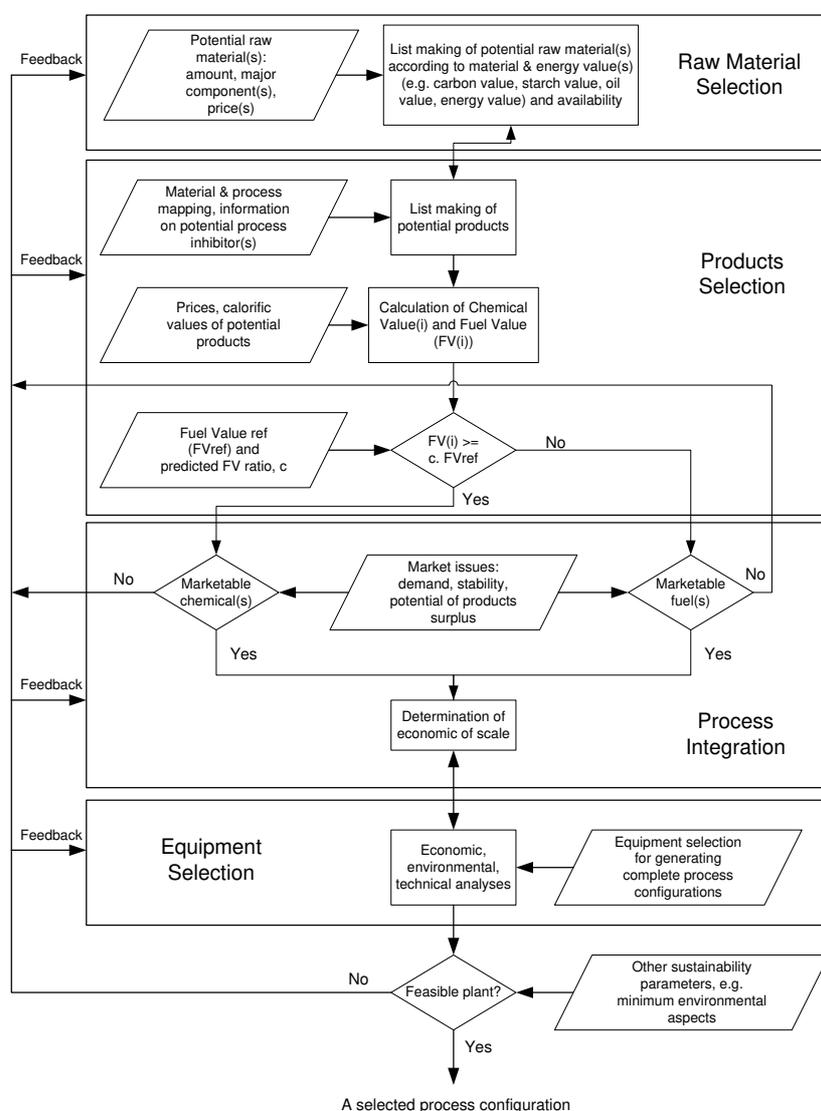
Metode yang sistematis dan heuristics sintesis proses yang ada sekarang dirintis di awal tahun 70-an. Metode sintesis proses yang dikenal adalah *systematic generation*, *evolutionary modification* dan *superstructure optimisation*. Ada empat tantangan utama dalam sintesis *biorefinery* bila diasosiasikan dengan tahap-tahap *systematic generation* oleh Siirola and Rudd (*reaction path*, *material allocation*, *task identification*, *task integration*, *utility* dan *equipment design*) [31]. 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, pada umumnya berbentuk fluida. Beberapa perangkat, analogi dengan yang diusulkan oleh Speight dan Tong & Cannell, telah diusulkan untuk mengantisipasi tiga tantangan yang pertama [4], [19], [23]. Korelasi antara keempat tantangan dengan perangkat yang diusulkan, ditampilkan dalam Gambar 2.

Komponen-komponen berharga yang 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.

Pemetaan biomassa dapat disederhanakan dengan metode *grouping/lumping*. Dalam peta tersebut data komposisi biomassa dan kandungan energi tiap komponen perlu ditampilkan [19]. Nilai komponen biomassa bisa diukur dengan parameter semacam *Carbon Value* dan *Energy Value*. Parameter-parameter ini analog dengan *Chemical and Fuel Values* yang disarankan oleh Tong & Cannell. *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 memilih bahan baku yang paling ekonomis 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 [19]. *Biorefinery* harus memproduksi lebih dari satu produk, dan proses pemilihan dapat dibantu dengan menggunakan parameter potensi profit, seperti *Chemical Value* dan *Fuel Value* [4]. *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 bisa diurutkan berdasarkan kestabilannya, misalnya kestabilan lignin > selulosa > hemiselulosa > pati > gula, juga kestabilan proteins > oils/fats > vitamins [28]. Hal ini sejalan dengan skema sistem *biorefinery* di Tabel 1, *Example 2*, 4 dan 5. Minyak, jus organik dan gula dipisahkan terlebih dahulu sebelum pengolahan *lignocellulose*. Evaluasi pada perlakuan awal bahan-bahan mengandung *lignocellulose* 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 [28]. Proses produksi etanol dari jagung, tebu dan gandum juga mengikuti urutan yang serupa. Etanol 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 proses. Pada Tabel 1, *Example 3*, residu lignocellulose semua diumpungkan ke gasifier karena ditargetkan untuk pembentukan *syngas*. Di sisi lain, sistem *biorefinery* di *Example 5* memisahkan terlebih dahulu gula C5 dan senyawa yang dapat di-*hydrolysis* menjadi gula C6 sebelum pemrosesan lignin di gasifier. Secara umum dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan pengembangan proses untuk *energy-driven biorefineries* dan *material-driven biorefineries*.



Gambar 2. Sintesis *biorefinery* dengan memanfaatkan parameter pembandingan [19]

5. SIMPULAN

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 *heuristics* yang relevan bagi sintesis *biorefinery*. Keberadaan pedoman-pedoman sistematis diharapkan akan menghemat sumber daya, mendorong dihasilkannya temuan-temuan baru dan mendukung pengembangan *biorefinery* yang lebih cepat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program TPSDSP Batch III atas dana penelitian doktoral dalam bidang *biorefinery*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hornby, A.S., (2000). *Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English*, Oxford University Press, Oxford.
- [2] Kamm, B., Kamm, M., Gruber, P.R., Kromus, S., (2006). "Biorefinery Systems - An Overview" dalam: Kamm, B., Gruber, P.R., Kamm, M. (Eds.), *Biorefineries - Industrial Processes and Products*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, 3-40.
- [3] Goldstein, I.S., (1981). "Integrated Plants for Chemicals from Biomass" dalam: Goldstein, I.S. (Ed.), *Organic Chemicals from Biomass*, CRC Press, Inc., Florida.
- [4] Tong, G.E., Cannell, R.P., (1983). "The Economics of Organic Chemicals from Biomass" dalam: Wise, D.L. (Ed.), *Organic Chemicals from Biomass*, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., Cambridge, Massachusetts.
- [5] Rexen, F., Munck, L., (1984). *Cereal Crops for Industrial Use in Europe, Report EUR 9617 EN* oleh The Commission of The European Communities, Denmark.
- [6] Webb, C., (1994). "Bioconversion of Cereals: New Challenges in Food and Bioproducts Processing", *Trans I ChemE* 72 (Part C).
- [7] Anon., (2008b). "Better Living through Chemurgy", *The Economist*, New York.
- [8] Beeman, R., (1994). "Chemivisions: The Forgotten Promises of the Chemurgy Movement", *Agricultural History*, 64 (4), 23.
- [9] Burel, C., (2007). "European Lead Market on Biobased Products" dalam: Forest-Based Sector Technology Platform 4th Conference, *A European Technology Platform for Sustainable Chemistry*, Hannover, Germany.
- [10] De Jong, E., Van Ree, R., Van Tuil, R., Elbersen, W., (2006). "Biorefineries for the Chemical Industry - A Dutch Point of View" dalam: 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.
- [11] NREL, (2008). "What Is a Biorefinery?" dalam: *Biomass Research*, diunduh 19 Februari, 2009 dari <http://www.nrel.gov/biomass/biorefinery.html>, NREL
- [12] Thran, D., Grongroft, A., Muller-langer, F., (2008). "Second and Third Generation of Biofuels and Biorefineries. Considerations and Concepts" dalam: *Workshop: Biofuels and Bio-based Chemicals*, Trieste.
- [13] IEA Bioenergy, (2009). "What is IEA Bioenergy?" diunduh pada 12 Februari, 2009 dari <http://www.ieabioenergy.com/IEABioenergy.aspx>, IEA Bioenergy
- [14] Van Ree, R., Annevelink, B., (2007). *Status Report Biorefinery 2007, Report 847* by Agrotechnology and Food Sciences Group, Wageningen.

- [15] Clark, J.H., Deswarte, F.E.I., (2008). "The Biorefinery Concept - An Integrated Approach" dalam: Clark, J.H., Deswarte, F.E.I. (Ed.), *Introduction to Chemicals from Biomass*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
- [16] SCI, (2005). "Biorefinery Revolution", dalam: *Chemistry & Industry*, 14-15.
- [17] Cherubini, F., Jungmeier, G., Wellish, M., Willke, T., Skiadas I., Van Ree R., De Jong, E., (2009). "Toward a Common Classification Approach for Biorefinery Systems", *Biofuels, Bioproducts & Biorefining*, 3 (5), 534-546.
- [18] Walsh, P. "Co-production of Food, Feed, Chemicals, Materials, Fuels, Power and Heat from Biomass", diunduh 19 November, 2012 dari http://www.seai.ie/Renewables/Bioenergy/Task_42_Biorefineries_Patrick_Walsh_NUIG.pdf, SEAI.
- [19] Pertiwi, D.S. dkk., (2010). "Conceiving Process Synthesis Methods for Biorefineries", *13th Asia Pacific Confederation of Chemical Engineering*, Taipei, Taiwan, 5-8 Oktober.
- [20] Brown, R.C., (2003). *Bio Renewable Resources*, Iowa State Press, The U.S.
- [21] 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" dalam: *Volume I-Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas, Report NREL/TP-510-35523, DOE/GO-102004-1992* oleh National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge.
- [22] AIChE, (1993). *Guidelines for Engineering Design for Process Safety*, Centre for Chemical Process Safety/AIChE, New York
- [23] Speight, J. G., (2002). *Handbook of Petroleum Product Analysis*, John Wiley & Sons, New Jersey.
- [24] 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
- [25] Kirk, R.E., Othmer, D.F., Herman, M.F., Martin, G., David, E., Jahnig, C.E., (1982). "Petroleum (Refinery Processes, Survey)" dalam: *Encyclopedia of Chemical Technology*, Vol. 17, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [26] Ullmann, F., (1988). *Encyclopedia of Industrial Chemistry*, VCH, Weinheim.
- [27] Wittcoff, H.A., Reuben, B.G., Plotkin, J.S., (2004). *Industrial Organic Chemicals*, John Wiley & Sons, New Jersey.
- [28] Pertiwi, D.S., (2009). *Process Synthesis for Biorefineries*, Tesis PhD, The University of Manchester, UK.
- [29] Hill, K., (2006). "Industrial Development and Application of Biobased Oleochemicals" dalam: Kamm, B., Gruber, P.R., Kamm, M. (Eds.), *Biorefineries - Industrial Processes and Products*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGAA., Weinheim, Germany, 497.
- [30] Irion, W.W., Neuwirth, O.S., (1991). "Oil, Oil Refining" dalam: Bredrich, I., Goltz, H., Gutsche, R., Pikart-Muller, M., Bugler-Ryan, P. (Eds.), *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, Germany.
- [31] Siirola, J.J., Rudd, D.F., (1971). "Computer-Aided Synthesis of Chemical Process Designs – From Reaction Path Data to Process Task Network", *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*, 10 (3), 353.