

# STUDI METABOLISME INDUSTRI DALAM RANGKA MINIMISASI LIMBAH INDUSTRI TEKSTIL

**Reda Rizal**

Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik UPN "Veteran" Jakarta  
Jl. R.S. Fatmawati, Pondok Labu, Jakarta Selatan – 12450  
Telp./HP. 021-7656971 Ext. 195

---

## Abstract

*The concept of industrial metabolism deals with the integration of physical processes which convert raw material, energy, and labor into finished products and wastes. Labor input and consumer output act as the human components or stabilizing controls of the processes. The word metabolism refers to the internal processes of a living organism that are necessary for the maintenance of life. There are many similarities between the biological and industrial processes both described with this word. They are both examples of dissipative systems which are self-stabilizing in a stable state. Industrial metabolism, by analogy, is the set of physico-chemical transformations that convert raw materials (biomass, fuels, minerals, metals) into manufactured products and structures (i.e. goods) and wastes. To an economist, these processes are called production. A further transformation of economic term is consumption. Thus industrial metabolism comprehends all the materials and energy transformations that enable the economic system to function, i.e. to produce and to consume. Study about industrial metabolism in textile industry means to realize the minimum disadvantage in economy and ecology as a cause of the economic materials dissipations and environment degradations.*

**Key Words:** *metabolism, textile industrial,*

---

## PENDAHULUAN

Metabolisme industri adalah suatu konsep untuk membuat pola-pola produksi industri yang memiliki hubungan sangat dekat dengan kegiatan produksi bersih (Graedel: 1995). Produksi bersih adalah perwujudan aktivitas kegiatan produksi secara berkelanjutan dengan melaksanakan strategi pencegahan pencemaran lingkungan secara terpadu yang diaplikasikan pada proses, produk, dan jasa produk guna meningkatkan efisiensi di semua lini kegiatan, dan mengurangi risiko terhadap manusia dan lingkungan hidup. Studi metabolisme industri tekstil dimaksudkan untuk mencari peluang dan alternatif untuk meminimumkan kerugian ekonomi dan kerugian ekologi sebagai akibat terbuangnya limbah tekstil ke lingkungan hidup yang merugikan ekologi dan terbuangnya material yang masih

memiliki nilai ekonomi. Metabolisme industri merupakan suatu studi terhadap sistem industri dan aktivitas ekonomi yang secara mendasar terkait dengan sistem alami (ekologi). Pada prinsipnya, hasil studi metabolisme industri membantu industri untuk mengarahkan kegiatannya pada aspek penggunaan material yang dapat didaur ulang dalam suatu ekosistem, mengelola siklus material dan aliran energi dalam industri secara berkelanjutan. Siklus materi dan aliran energi dalam sistem industri dapat dianalogikan sebagai interaksi sistem industri dengan sistem lingkungan alam di sekitarnya atau disebut sebagai metabolisme industri (Weisz, 2007:3). Metabolisme industri analog dengan metabolisme manusia, dimana terdapat bahan baku (makanan), proses (pencernaan), produk (kerja) dan entropi (kotoran/limbah). Konsep metabolisme industri mengkaji masalah pengintegrasian proses-proses

fisik yang mengonversikan bahan baku, energi dan tenaga kerja menjadi produk akhir dan limbah. Faktor input tenaga kerja dalam proses produksi dan output produk untuk konsumen berperan sebagai komponen manusia dapat dijadikan alat pengontrol stabilitas proses produksi dalam suatu kegiatan industri yang berwawasan lingkungan. Kata "metabolisme" mengacu pada proses-proses internal dari suatu organisme hidup yang dibutuhkan untuk menjaga dan mempertahankan stabilitas lingkungan kehidupan secara berkualitas. Konsumen sebagai alat kontrol produksi dan kegiatan produksi diperankan pada saat produk barang dijual ke konsumen. Konsumen akan menolak produk barang yang ditawarkan industri bilamana produk barang tersebut membahayakan konsumen dan lingkungan hidup, baik pada saat proses produksi maupun pada saat produk barang tersebut dipakai oleh konsumen. Pada aspek tenaga kerja, eksistensi keselamatan dan kesehatan pekerja maupun hak-hak pekerja selama bekerja harus dipenuhi oleh manajemen industri, bila tidak dipenuhi maka akan terjadi penolakan produk barang oleh konsumen internasional yang dicerminkan oleh laporan-laporan *international labour organization* (ILO).

Terdapat banyak kesamaan antara proses-proses biologi dengan proses-proses industri yang dapat digambarkan oleh kata metabolisme. Kedua proses tersebut di atas (metabolisme biologi dan industri) dapat memberikan gambaran tentang sistem disipasi (*dissipative systems*) atau "pemborosan" yang tidak jarang terjadi di pabrik/industri. Dimana di setiap proses produksi yang terjadi dalam pabrik dapat dipastikan terjadi limbah atau nutrien industri sebagai output sampingan dari proses produksi. *Nutrien* industri didefinisikan oleh *Williams and Ross (1987)* sebagai material bahan baku yang digunakan oleh industri atau pabrik untuk memproduksi produk barang dan sekaligus menghasilkan produk sampah atau limbah. Bahan-bahan tersebut bila diolah dan dijadikan sebagai sumber daya yang bernilai ekonomi, maka limbah nutrien dapat digunakan untuk memproduksi produk lain yang bermanfaat, bahkan limbah dapat dimanfaatkan untuk keperluan lain selain keperluan kegiatan industri. Perlu diketahui bahwa nutrien industri masih memiliki sifat ekonomi dan ada yang bersifat toksik bagi lingkungan hidup. Dalam pengelolaannya, nutrien yang masih memiliki nilai ekonomis harus diupayakan untuk dimanfaatkan bagi keuntungan lingkungan, sedangkan nutrien yang bersifat toksik harus dikelola dengan tidak membuangnya ke lingkungan, tetapi harus diamankan dari risiko terhadap

lingkungan hidup.

Limbah-limbah yang tidak dapat dimanfaatkan oleh pabrik tersebut menjadi suatu produk, maka limbah-limbah tersebut dapat berubah menjadi an-caman pencemar lingkungan, baik pada lingkungan tanah (media tanah), pada media air di sungai atau air tanah maupun di udara bebas (udara ambien). Contoh lain dapat digambarkan, manusia makan nasi dengan lauk-pauk dan lain sebagainya masuk kedalam perut dan diolah oleh metabolisme dalam tubuh (perut) menjadi energi kerja dan sebagian dari makanan tersebut dipastikan menjadi tinja atau limbah yang harus dibuang ke lingkungan. Apabila kita memakan nasi ataupun lauk-pauk yang tidak berkualitas (bahan baku jelek) maka dapat dipastikan perut kita akan mulas, sering buang air besar, sebentar-sebentar kita harus ke toilet untuk buang air besar, maka dengan sendirinya output kita (aktivitas bekerja) akan terhambat dan kualitas hasil kerja kita akan menurun. Artinya apa?, bahwa jika bahan baku produksi tidak berkualitas, maka dapat dipastikan proses-proses produksi akan terganggu dan output produk dipastikan pula akan ikut jelek. Disamping itu, entropi berupa limbah produksi pasti akan banyak jumlahnya. Pada kasus lain misalnya, apabila kita tidak terbiasa makan nasi dengan kandungan sambal (cabe) yang terlalu banyak maka dapat dipastikan perut kita (mesin produksi) akan mengalami masalah, demikian pula dengan output produk yang dihasilkan dapat dipastikan pula tidak berkualitas (sebentar-sebentar kita harus ke toilet).

## PEMBAHASAN

### Metabolisme Industri Tekstil

Perwujudan teori metabolisme industri dapat diterapkan pada pengelolaan kegiatan industri tekstil menuju industri yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan. Prinsip dasar dalam menerapkan teori metabolisme industri adalah mengkaji aspek input material dan energi, proses-proses produksi, output produk dan limbah serta pencemaran yang dihasilkan oleh kegiatan industri tekstil. Total penggunaan material dan energi dalam proses produksi tekstil adalah keseluruhan proses-proses industri seperti kegiatan pabrik, kegiatan suplai bahan baku, penggunaan energi, transportasi material dan energi, daur ulang material, penggunaan kembali sisa material limbah, dan pembuangan material limbah sebagai nutrien industri sebagaimana dibutuhkan-nya materi dan energi pada setiap tahapan proses produksi. Dalam konteks metabolisme industri, se-

tiap proses selalu menghasilkan entropi atau limbah yang disebut sebagai nutrien (material dan energi dalam bentuk gizi) yang harus dapat memberikan manfaat bagi lingkungan hidup, dan bukan untuk merusak lingkungan hidup. Nutrien industri didefinisikan oleh *Michael Braungart* (1994) sebagai material bahan baku yang digunakan oleh industri atau pabrik untuk memproduksi produk barang dan sekaligus menghasilkan produk barang sampah. Bahan-bahan tersebut bila diperlakukan dan diolah sebagai sumber daya yang bernilai ekonomi, maka limbah nutrien dapat digunakan untuk memproduksi produk lain yang bermanfaat, bahkan limbah dapat dimanfaatkan untuk keperluan lain selain keperluan kegiatan industri. Perlu diketahui bahwa nutrien industri masih memiliki sifat ekonomi dan ada yang bersifat toksik bagi lingkungan hidup. Dalam pengelolannya, nutrien yang masih memiliki nilai ekonomis harus diupayakan untuk dimanfaatkan bagi keuntungan lingkungan, sedangkan limbah yang bersifat toksik harus dikelola dengan tidak membuangnya ke lingkungan, tetapi harus diamankan dari risiko terhadap lingkungan hidup.

Enam prinsip dasar yang harus diterapkan pada studi metabolisme industri tekstil dalam rangka meminimumkan limbah kegiatan industri tekstil adalah: (1). Menciptakan ekosistem industri tekstil dengan cara: a) maksimumkan penggunaan material yang dapat didaur ulang di dalam sistem produksi, b) mengoptimalkan pemanfaatan material dan energi yang terbarukan, c) melakukan minimisasi limbah, d) melakukan evaluasi ulang terhadap limbah yang terjadi untuk dapat digunakan kembali pada proses (menjadi produk) lain, (2). Menyeimbangkan antara material input dan output produksi tekstil terhadap kemampuan ekosistem alami (daya tampung lingkungan) untuk menerima produk dan limbah serta kemampuan untuk mensuplai material bahan baku produksi (daya dukung lingkungan). Keseimbangan material input-output harus dilakukan dengan cara memahami tipologi lingkungan atau kemampuan ekosistem alam untuk menyerap limbah toksik khususnya pada saat terjadi keadaan darurat atau bencana alam, (3). Dematerialisasi material produk output industri tekstil, mereduksi intensitas material dan energi dalam proses dan selama proses produksi, (4). Memperbaiki lintasan (*pathways*) proses-proses industri dan penggunaan material, melakukan reduksi ataupun melakukan penyederhanaan proses-proses industri, serta meningkatkan efisiensi di segala bidang, (5) Menggunakan pola-pola sistemik dalam menggunakan energi, memperbaiki sistem aliran energi yang dapat berfungsi sebagai bagian dari ekosistem industri tekstil, dan

meminimumkan dampak negatif yang timbul atau bebas dampak negatif terhadap lingkungan, dan searah dengan pola-pola penggunaan energi, dan (6). Mensejajarkan kebijakan jangka panjang dan perspektif pengembangan sistem industri, melalui kerja sama antar sektor industri untuk mengintegrasikan kebijakan ekonomi dan ekologi.

Studi metabolisme industri tekstil memfokuskan pemikiran dan pemahaman terhadap bagaimana industri tekstil dapat dikembangkan untuk mampu mereduksi keseluruhan beban lingkungan yang disebabkan oleh kegiatan industri tekstil melalui penilaian daur hidup material dan siklus produk (ekstraksi, produksi, penggunaan, dan pembuangan produk bekas sebagai sampah dan merangkum semua variabel terkait mencakup: (1). Studi tentang aliran materi dan energi; studi ini akan mempelajari bagaimana peristiwa terjadinya proses daur materi dan aliran energi dalam aktivitas industri tekstil. Pada studi ini akan digunakan hukum alam tentang hukum kekekalan energi dan peristiwa terjadinya entropi. Dalam hasil kajian ini akan diperoleh gambaran mengenai potensi limbah dan pencemaran yang dilakukan oleh industri tekstil terhadap lingkungannya, (2). Dematerialisasi dan dekarbonisasi; studi ini akan mengarahkan pengelola industri tekstil pada aspek efisiensi dan produktivitas penggunaan material bahan baku dan bahan pembantu pada proses produksi, sehingga dapat dicapai suatu keadaan penghematan sumber daya alam (materi dan energi) menuju efisien dalam aspek ekonomi dan efisien pula dalam aspek ekologi. Dematerialisasi dimaksudkan sebagai upaya meminimumkan penggunaan material bahan baku dan bahan pembantu dalam proses produksi, atau dengan kata lain yaitu upaya penghematan material dalam proses produksi. Sedangkan yang dimaksud dengan dekarbonisasi adalah upaya untuk meminimumkan timbulnya karbon atau arang dalam proses pembakaran yang terjadi akibat penggunaan energi yang berlebihan pada proses produksi. Dekarbonisasi ini sekaligus akan meminimumkan terjadinya pencemaran lingkungan oleh karbon sebagai akibat dari adanya peristiwa perpindahan energi dalam proses-proses industri, (3). Perbaiki teknologi dan lingkungan; dimaksudkan untuk memperbaiki dan atau memperbarui teknologi yang sudah tua atau usang. Teknologi usang umumnya menghasilkan limbah dan pencemar yang lebih banyak dibanding teknologi yang baru. Logika ini menyangkut kondisi mesin yang aus tentunya membutuhkan perawatan dan pengelolaan yang lebih intensif dibanding mesin yang baru, demikian pula mesin yang aus biasanya membutuhkan oli pelumas yang lebih

banyak dibanding mesin yang baru. Mesin yang baru umumnya lebih irit menggunakan bahan bakar minyak (BBM) dibanding mesin yang sudah tua. Sehingga dengan logika berfikir demikian maka perbaikan teknologi diharapkan dapat menghemat energi dan tentunya membawa dampak positif terhadap lingkungan, dimana mesin yang baik akan lebih ramah lingkungan dibanding teknologi yang sudah usang. Perbaikan lingkungan dimaksudkan sebagai upaya memperbaiki lingkungan hidup dalam konteks proses industri, dimana perbaikan lingkungan dilakukan tidak hanya pada subyek lingkungan yang diperbaiki, melainkan teknologi yang berdampak negatif terhadap lingkungan juga harus diperbaiki. Caranya adalah sama dengan memperbaiki alat dan teknologi agar diperoleh lingkungan yang lebih baik. Cara terakhir ini lebih bersifat pasif terhadap perbaikan lingkungan dibanding dengan memperbaiki lingkungan secara langsung (secara aktif), (4). Perencanaan siklus, desain dan penilaian daur hidup material; perancangan siklus material selama proses industri (proses-proses berlangsungnya perubahan materi dan atau energi dalam kegiatan produksi) mengarahkan kita kepada bagaimana cara untuk mendapatkan siklus yang berkelanjutan. Artinya, material yang dipergunakan untuk kegiatan produksi yang kita ambil dari alam, diupayakan untuk dapat dimanfaatkan selama mungkin baik dengan cara merancang daya tahan (*durability*) produk yang lebih tinggi (daya manfaat produk lebih lama), dan jika produk sudah tidak dapat dipergunakan lagi, maka harus diupayakan agar produk tersebut dapat didaur ulang. Sehingga dalam konteks perencanaan siklus material diharapkan penggunaan material yang diambil dari lingkungan alam dapat dipakai dengan durasi waktu yang panjang sehingga dapat menghemat penggunaan sumber daya alam tersebut dan ketahanan lingkungan.

Penilaian daur hidup dimaksudkan untuk memperoleh gambaran tentang sesuatu keadaan bila menggunakan alternatif material tertentu, sehingga dapat diambil kebijakan untuk menggunakan material yang masa pakainya lebih lama. Dalam konteks ini upaya yang dapat dilakukan manajemen industri tekstil adalah menilai dan kemudian memilih alternatif bahan baku yang dapat menghemat penggunaan sumber daya alam, baik dari segi teknologi, proses maupun desain produk yang hendak dihasilkan.

Perancangan lingkungan yang mengarah pada *eco-design*; perancangan lingkungan dimaksudkan sebagai upaya untuk merencanakan bentuk atau desain lingkungan yang sesuai dengan tipologi lingkungan yang ada atau sesuai dengan karakteristik

lingkungan yang seharusnya ada di wilayah lokasi industri tekstil yang akan kita kaji terkait dengan tipologi kegiatan industri tekstil. Misalnya, kita merencanakan mendirikan pabrik finishing tekstil, maka perancangan lingkungan yang harus kita lakukan adalah mempelajari tipologi lingkungan hidrologi dan vegetasi, apakah di wilayah tersebut memungkinkan tersedianya material air dan zat pewarna tekstil secara berkelanjutan dengan tanpa merusak ekosistem lokal. Apakah limbah zat pewarna dan finishing tekstil yang dihasilkan dapat didaur ulang untuk diproduksi menjadi produk yang bermanfaat secara ekonomi dan secara ekologi lokal. Sasaran akhirnya adalah untuk mendapatkan lingkungan yang mampu mensuplai bahan baku secara berkelanjutan dan limbah yang dihasilkan oleh kegiatan industri tidak mengganggu lingkungan lokal. Bila ekologi lokal tidak terganggu maka gangguan terhadap ekologi global dapat dihindari.

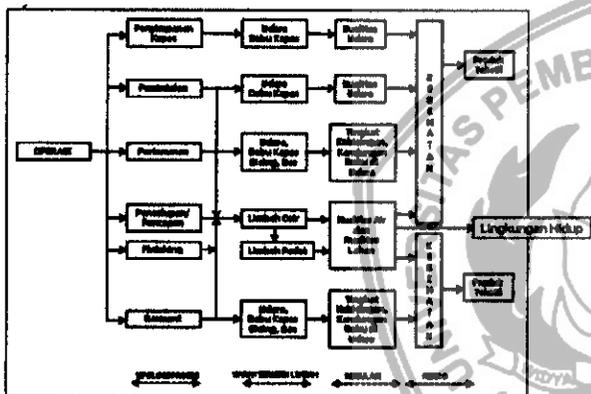
Peningkatan tanggungjawab produsen yang mengarah pada "*product stewardship*". Peningkatan kesadaran tanggung jawab produsen dan pemilik industri tekstil terhadap lingkungan maupun terhadap konsumen yang menerima produk tekstil yang dihasilkan. Dalam konteks ini misalnya, produsen tekstil bertanggung jawab terhadap lingkungan pabrik dimana pabrik beroperasi maupun tanggung jawab sosial kesehatan masyarakat sekitar industri serta tanggung jawab produsen terhadap pencemaran yang dikeluarkan oleh industri tekstil yang mencemari media air, udara dan tanah termasuk aspek biologi lingkungan. Sedangkan tanggung jawab terhadap konsumen adalah tanggung jawab bila produk tekstil yang dihasilkan oleh pabrik tidak mengganggu kesehatan konsumen pemakai tekstil. Daur hidup produk tekstil selama pemakaiannya oleh konsumen termasuk dalam hal perawatan tekstil seperti mencuci kain yang limbah cucuannya tidak banyak warnanya yang luntur hanyut pada saat pencucian. Dalam hal ini, produk tekstil yang dijual ke konsumen tidak mengakibatkan konsumen dirugikan secara ekonomi, maupun tidak merugikan kesehatan dan keselamatan pemakai tekstil. *Product stewardship* ini dalam implementasinya dapat diwujudkan dalam bentuk program tanggungjawab sosial perusahaan "*CSR*" (*corporate social responsibility*) ataupun program penghijauan lingkungan.

Menciptakan kawasan industri tekstil terpadu yang ramah lingkungan (*eco-industrial parks*) yang mengarah pada praktik simbiosis industri "*industrial symbiosis*". Salah satu pabrik dalam kawasan industri menghasilkan limbah, maka limbah pabrik tersebut dapat dimanfaatkan oleh industri lainnya sebagai bahan baku utamanya, dan limbah pabrik

yang kedua ini juga dapat dimanfaatkan oleh pabrik ketiga sebagai bahan baku pembantu produksi dan sebagainya. Sehingga pada kawasan industri tidak ada satupun limbah yang dibuang ke lingkungan.

Kebijakan yang mendorong penggunaan bahan baku yang dapat diperbarui dan mencegah penggunaan material bahan berbahaya dan beracun (B3) dalam proses produksi tekstil, serta kebijakan yang berorientasi pada produk tekstil yang ramah lingkungan (*eco-textile product*).

Untuk dapat menerapkan manajemen ekologi industri tekstil secara baik maka diperlukan pemahaman tentang sifat dan karakteristik industri tekstil, sifat dan karakteristik bahan baku produksi, teknologi, sumber bahan baku, cara memperoleh bahan baku, tipologi lingkungan industri, memahami proses-proses produksi, sifat limbah, aspek hidrologi lingkungan, topografi lingkungan, arah dan kecepatan angin dan lain sebagainya.



Gambar 1. Tipologi Proses, Karakteristik Limbah Kegiatan Industri Tekstil  
Sumber: Rizal, R. (2008)

Gambar 1, menjelaskan tipologi proses, karakteristik limbah kegiatan industri tekstil. Pabrik pemintalan yang mengolah serat menjadi benang termasuk proses kering (tidak menggunakan air) dalam industri tekstil. Limbah yang dihasilkan dari tahapan proses pemintalan adalah debu dari serat pendek, kebisingan, dan getaran yang ditimbulkan oleh gerakan peralatan mesin. Tingkat kebisingan, getaran dan konsentrasi debu yang dikeluarkan dari setiap tahapan proses ditentukan oleh jenis dan kualitas serat yang diolah serta jenis mesin/alat yang digunakan. Pada proses pertenunan, benang melalui beberapa tahapan pengerjaan diolah menjadi kain tenun. Benang yang ditunen dapat berupa benang mentah atau benang yang sudah diwarnai. Proses pertenunan sebetulnya merupakan industri yang melakukan proses kering. Limbah yang dikeluarkan adalah debu dan kebisingan. Akan tetapi pada

pengerjaan benang lusi yang biasanya mengandung kanji alam (tepung tapioka, jagung atau kentang), kanji sintetik (*polivinil alkohol* dan *poliakrilat*), pelemas (lemak/minyak) dan bahan pengisi (kaolin, garam mineral), dan lain-lain. Sebagai pelarut kanji digunakan air sehingga dikeluarkan limbah cair berupa sisa larutan kanji yang digunakan. Industri penyempurnaan akan menghasilkan kain putih, kain celup atau kain bercorak warna pencapan. Tahap proses persiapan penyempurnaan dan proses penyempurnaan akhir dapat berbeda, bergantung pada jenis kain (serat) yang diproses, serta kualitas produk yang ingin dihasilkan. Proses penyempurnaan tekstil merupakan proses basah tekstil yang paling banyak menimbulkan pencemaran, karena mengerjakan tekstil dalam larutan zat kimia dengan air sebagai mediumnya. Adanya penggunaan zat-zat kimia seperti alkali, asam, kanji, oksidator, reduktor, elektrolit, zat aktif permukaan (surfaktan), zat warna, polimer sintetik dan panas, dapat menyebabkan air buangan industri tekstil bersifat alkali atau asam, COD dan BOD tinggi, berwarna, berbusa, bau dan panas. Tingkat pencemaran yang ditimbulkan bergantung pada macam bahan yang dikerjakan, proses pengerjaan dan jenis mesin alat yang digunakan. Ciri dan karakteristik limbah dan pencemaran yang dihasilkan oleh pabrik tekstil terpadu adalah integrasi limbah dan pencemaran kegiatan pabrik *spinning*, *weaving*, dan *finishing*. Limbah tersebut pada dasarnya dapat terjadi akibat adanya material produksi baik bahan utama maupun bahan pembantu yang tidak dapat dimanfaatkan secara baik dan sempurna selama proses produksi. Penyebab terjadinya limbah secara umum disebabkan oleh karena aspek manajerial, teknologi dan aspek *attitude* pengelola pabrik tekstil.

### Siklus Materi dan Aliran Energi

Siklus materi dan aliran energi memberikan basis bagi upaya mentransformasikan sistem industri menuju siklus tertutup dengan meminimalkan disipasi/pemborosan bahan dan energi. Siklus materi dan aliran energi dalam sistem industri dapat dianalogikan sebagai interaksi sistem industri dengan sistem lingkungan alam di sekitarnya atau disebut sebagai metabolisme industri (*Weisz, 2007:3*).

Model linier menempatkan sistem produksi dan sistem konsumsi sebagai dasar analisis terhadap aktivitas industri tekstil, dan ekosistem bertindak untuk menyeimbangkan sistem produksi dan dekomposisi, dengan mendaur ulang nutrien secara terus menerus guna menunjang siklus produksi

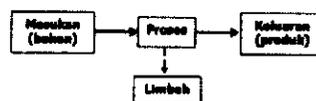
berikutnya. Transformasi sistem industri tekstil tersebut memberi pengaruh yang besar terhadap paradigma sistem industri dan memberikan keyakinan bahwa (Lowe, 1996); (1) keseluruhan tahapan operasi pada industri tekstil dapat menjamin sistem lingkungan alami berfungsi sebagaimana mestinya dalam batas-batas ekosistem local dan biosfir, (2) dinamika dan prinsip-prinsip ekosistem menjadi acuan mendasar dalam perencanaan dan manajemen sistem industri tekstil, (3) efisiensi materi dan energi dalam pemanfaatan, pemrosesan dan daur ulang material tekstil akan memberikan keunggulan kompetitif dan manfaat ekonomi yang besar bagi industri tekstil, dan (4) sumber pokok nilai ekonomi dari planet bumi dan ekosistem local berlangsung dalam jangka waktu panjang, tanpa itu maka kesuksesan industri/pengusaha tekstil tidak ada artinya.

Berbagai pendekatan yang dicoba selama ini guna mencari batas-batas ekologis sesuai instrumen regulasi, ekonomi, maupun kerekayasaan telah dilakukan, namun belum cukup memadai untuk mengintegrasikan pengelolaan lingkungan pada berbagai skala ke dalam suatu pendekatan yang lebih sistematis. Dalam pemahaman pendekatan sistem ekologi industri tekstil, maka kendala yang dihadapi adalah keterbatasan pengetahuan pengelolaan industri tekstil untuk melintasi dimensi ruang dan waktu. Kendala dan kompleksnya permasalahan yang ditemui dalam melintasi dimensi ruang dan waktu tersebut telah melahirkan berbagai perspektif dalam menjelaskan transformasi sistem industri tekstil dari model linier-mekanistik kepada sistem ekologi industri. Untuk mengatasinya dan memulai menerapkan sistem ekologi industri tekstil yang tertutup maka Lowe menyarankan agar para pengelola industri tekstil; (1) belajar dari ekosistem, yaitu menggunakan dinamika dan prinsip ekologi dalam perencanaan dan merancang sistem produksi tekstil. Caranya adalah melalui penerapan sistem pendaur-ulangan bahan secara multilinier dalam satu kawasan industri tekstil, (2) mengkaji metabolisme industri dengan cara mempelajari dan menganalisis aliran materi dan energi, mulai asal bahan baku masuk ke dalam sistem industri tekstil kemudian produk tekstil yang dihasilkan dikembalikan lagi ke biosfir dalam keadaan tidak merusak biosfir, (3) mempelajari struktur ekonomi dan model dinamika masukan-keluaran, menganalisis dampak perubahan jaringan teknologi terhadap perusahaan, industri dan ekosistem, (4) mendesain lingkungan industri, dengan cara menyiapkan fasilitas perangkat mendesain, desain proses, desain produk dengan mempertimbangkan manfaat dan biaya ekologi dan ekonomi bagi siklus hidup secara keseluruhan, (5)

mengelola keterkaitan antara sistem industri tekstil dengan sistem lingkungan alam yang memungkinkan umpan balik bagi industri untuk melakukan penyesuaian diri setiap waktu, dan (6) berusaha untuk memperpanjang usia dan manfaat produk tekstil dengan cara mengkaji kembali keseimbangan antara produksi tekstil dan manfaat produk tekstil secara lebih proporsional.

Aliran perspektif tersebut di atas saling melengkapi satu sama lain dan sinergi diantaranya akan melahirkan suatu pendekatan yang bersifat holistik dan sistemik. Untuk mengurangi kompleksitas ekologi industri tekstil menuju suatu penjelasan yang lebih terukur, maka pendekatan aliran materi dan energi dianggap dapat membantu menjelaskan pengaruh sistem industri tekstil terhadap sistem lingkungan alam melalui neraca massa. Pendekatan ini mencoba mengidentifikasi aliran, transformasi dan disipasi materi dan energi di dalam sistem industri pada berbagai skala, dengan menganalogikannya pada ekosistem. Hukum termodinamika mengenai kekekalan massa dan energi memberikan implikasi bahwasanya bahan atau materi yang diambil dari lingkungan alam untuk diproduksi menjadi barang dan jasa (produk tekstil dan manfaat tekstil bagi konsumen) akan kembali ke lingkungan alam dalam bentuk yang sudah terdegradasi. Aliran materi dan energi memberikan basis bagi upaya mentransformasikan sistem industri menuju siklus tertutup dengan meminimalkan disipasi bahan dan energi. Aliran materi dan energi dalam sistem industri tekstil dapat dianalogikan sebagai interaksi sistem industri tekstil dengan sistem ekologi lokal. Secara sederhana sistem industri tekstil digambarkan sebagai aliran masukan, proses dan keluaran yang dikenal dengan sistem produksi.

Secara sederhana sistem industri digambarkan sebagai metabolisme aliran masukan materi dan energi, proses dan keluaran. Keluaran akan berkualitas bila input berkualitas, dan proses metabolisme industri yang baik akan menghasilkan limbah yang minimum, serta limbah akan lebih banyak bila input dan sistem produksi tidak berkualitas.



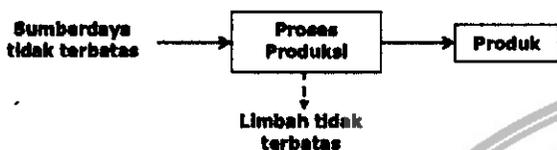
Gambar 2. Sistem Produksi pada Industri Tekstil  
Sumber: Graedel, 1995:94 dimodifikasi penulis

Sistem masukan bagi sistem industri tekstil adalah bahan baku yang umumnya bersumber dari alam, proses produksi merupakan serangkaian ak-

tivitas yang melibatkan komponen teknologi, manusia dan manajemen untuk menghasilkan produk yang digunakan oleh konsumen. Disamping produk, aktivitas proses produksi juga menghasilkan limbah dan pencemar. Limbah yang mempunyai nilai dapat digunakan kembali di dalam proses produksi yang bersangkutan atau proses produksi produk lainnya, sedangkan limbah dan pencemar yang tidak memiliki nilai dibuang ke lingkungan dengan batas-batas baku mutu lingkungan hidup.

Graedel, (1995) menulis tiga model aliran materi dan energi yang menggambarkan siklus hidup yang terdapat pada sistem industri tekstil yaitu; model linier, model semi-siklus dan model siklus tertutup.

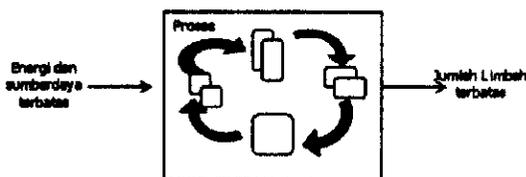
### Model-1: Linier



Gambar 3. Model Linier Aliran Materi dan Energi pada Industri Tekstil  
Sumber: Graedel, 1995:94 dimodifikasi penulis

Aliran materi dan energi model linier di dalam ekosistem industri tekstil terjadi bilamana sumber daya yang disediakan oleh lingkungan alam diolah dan diproses menjadi produk tekstil, limbah yang timbul tidak terbatas jumlahnya dilepas ke lingkungan alam, dan limbah tersebut tidak dapat dimanfaatkan oleh industri tekstil sehingga keefisiensinya rendah (*in-eco-efficient*).

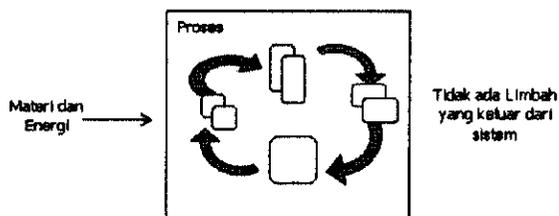
### Model-2: Semi siklus



Gambar 4. Model Semi Siklus Aliran Materi dan Energi pada Industri Tekstil  
Sumber: Graedel, 1995:94 dimodifikasi penulis

Aliran materi dan energi model semi-siklus di dalam ekosistem industri tekstil terjadi bilamana sumber daya yang disediakan oleh lingkungan alam diolah dan diproses menjadi produk tekstil, limbah yang timbul secara terbatas masih dapat dimanfaatkan kembali pada ekosistem industri tekstil. Sedangkan sebagian limbah secara terbatas dilepas ke lingkungan alam. Dalam hal ini keefisiensi industri tekstil model semi siklus ini lebih baik dibanding keefisiensi industri tekstil model linier.

### Model-3: Siklus tertutup

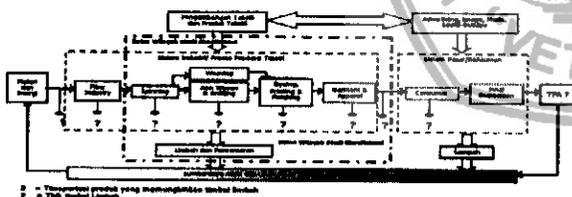


Gambar 5. Model Siklus Tertutup Aliran Materi dan Energi pada Industri Tekstil  
Sumber: Graedel, 1995:94 dimodifikasi penulis

Aliran materi dan energi model siklus tertutup di dalam ekosistem industri tekstil terjadi bilamana sumber daya yang disediakan oleh lingkungan alam diolah dan diproses secara selektif menjadi produk tekstil, limbah yang timbul dapat dimanfaatkan kembali pada ekosistem industri secara terus menerus. Dalam rangka mengaplikasikan prinsip-prinsip sistem alami pada sistem buatan (*man-made system*), maka beberapa karakteristik ekosistem alami yang harus diperhatikan oleh industri tekstil menurut Lowe (1996:448-449) adalah: (1) Di dalam ekosistem alami, efisiensi dan produktivitas berada dalam keseimbangan yang dinamis melalui daya lentingnya sendiri. Perubahan terhadap keseimbangan tersebut akan dapat merusak ekosistem itu sendiri; (2) Ekosistem tidak mengenal adanya limbah, dalam pengertian sebagai sesuatu yang tidak dapat dimanfaatkan kembali bagi kehidupan sistem tersebut, dan nutrisi yang dibutuhkan oleh suatu spesies dihasilkan oleh spesies lainnya tanpa ada yang terbuang; (3) Bagian yang terbesar dari aliran energi dikonsumsi oleh proses dekomposisi guna mendaur ulang limbah yang dimanfaatkan kembali bagi kehidupan ekosistem; (4) Bahan beracun tidak tersimpan atau dipindahkan pada skala ekosistem dalam jumlah yang besar, akan tetapi disintesis dan dimanfaatkan kembali oleh spesies sesuai dengan kebutuhan individualnya; (5) Materi dan nutrisi disirkulasikan secara terus menerus dan ditransformasikan secara sempurna, sistem digerakkan oleh energi matahari dan dalam perjalanan waktu menyimpannya dalam bentuk bahan bakar fosil; (6) Ekosistem bersifat dinamis, dan determinasi pelaku ekosistem adalah dalam pengertian suatu proses; (7) Dalam ekosistem dimungkinkan aktivitas spesies secara independen, namun tetap berada dalam pola aktivitas spesies secara keseluruhan, serta kerjasama dan kompetisi berlangsung dalam suatu keseimbangan; (8) Setiap komponen ekosistem mempunyai fungsi ganda setara dengan tingkat keterkaitannya dengan komponen lainnya; dan (9) Relung ekologi setiap komponen dalam sistem identik dengan total keterkaitan yang ber-

sangkutan dengan komponen lainnya, serta mencerminkan prasyarat fisik, kimiawi, dan biologi yang dibutuhkan untuk melangsungkan kehidupan dan reproduksinya dalam ekosistem.

Kecenderungan aplikasi teknologi industri tekstil di masa depan hendaknya mengarah pada sistem industri model siklus tertutup yang pada intinya menuju sasaran pembangunan industri tekstil yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan (Graedel & Allenby, 1995:21-22). Sasaran pembangunan industri tekstil diantaranya adalah: (1) Prinsip-prinsip penghematan pemakaian bahan baku (*dematerialization*), (2) Substitusi materi bahan melalui penggunaan bahan baku yang lebih bersahabat lingkungan (*more environmentally suitable materials*), (3) Melakukan perbaikan pola pemanfaatan intensitas energi dan waktu melalui metode dekarbonisasi (*decarbonizations*) dan mereduksi penggunaan energi, artinya; bahwa dengan menurunkan intensitas energi akan berimplikasi pada penurunan polutan secara signifikan, (4) Bertindak sebagai agen perubahan menjadi sistem ekologi industri tekstil, menggunakan sistem komputerisasi teknologi dan informasi untuk memonitor seluruh operasi teknologi guna meyakinkan prinsip-prinsip ekologi industri tekstil dapat diterapkan dalam rancangan, dan mencegah terjadinya kebocoran-kebocoran dan mencegah arus material yang tidak perlu, dan (5) Penerapan ekologi industri tekstil dapat memberikan implikasi optimalisasi pemanfaatan bahan, energi, biaya dan interaksi industri dengan lingkungannya.



Gambar-6 Fenomena Metabolisme, Interaksi Industri Tekstil Terpadu dan Ekologi

Gambar-6 memperlihatkan interaksi antara sistem industri tekstil dengan sistem sosial dan sistem alami berlangsung sangat kompleks sebagai akibat dari pola aktivitas kegiatan dalam sistem industri (sistem ekonomi) yang dapat mempengaruhi atau dipengaruhi oleh sistem pasar (sistem sosial) dan oleh sistem lingkungan alami. Sistem pasar tekstil dapat dipengaruhi oleh sistem sosial melalui perilaku masyarakat dalam merespon iklan dan model pakaian yang disebar oleh industri tekstil. Dalam situasi ini, industri tekstil balik pula untuk merespon kebu-

tuhan masyarakat terhadap tekstil dalam bentuk reaksi melakukan riset dan pengembangan produk. Selanjutnya, akibat hasil rekayasa produk tekstil yang dilakukan oleh industri tekstil dan dikomunikasikan lewat iklan dan mode, maka timbul dampak ganda yakni terhadap permintaan produk tekstil oleh masyarakat yang semakin meningkat dan terhadap aktivitas produksi yang juga semakin meningkat. Selanjutnya pada Gambar-6 juga menjelaskan metabolisme dalam lingkungan pabrik tekstil yang menggunakan bahan baku material dan energi berasal dari lingkungan alam ditransformasikan atau dicerna menjadi produk tekstil, dengan hasil sampingan berupa limbah dan emisi (*entropy*). Kualitas material *input* dapat mempengaruhi kualitas proses produksi, kualitas produk yang dihasilkan dan kualitas entropi. Apabila kualitas *input* buruk maka kualitas *output* juga ikut buruk dan limbah yang dihasilkan semakin banyak. Bila seluruh produk tekstil yang mengandung material dalam bentuk produk utama (tekstil) dan produk ikutan (pembungkus) berkualitas buruk, maka seluruh produk tekstil, limbah dan emisi bahkan keseluruhan hasil-hasil proses produksi nantinya akan masuk ke dalam lingkungan sehingga berpotensi mengganggu lingkungan hidup. Material bahan baku produksi pabrik tekstil yang diambil dari lingkungan, dicerna atau diproses menjadi produk tekstil, dan sisa hasil material yang tidak terproses secara sempurna oleh metabolisme industri akan menjadi limbah yang berpotensi mencemari lingkungan. Semakin baik metabolisme industri maka semakin baik *output* yang dihasilkan dan entropi yang timbul dapat diminimumkan sehingga efisiensi ekologi dapat ditingkatkan.

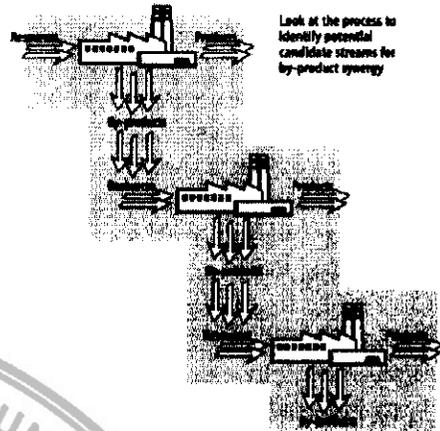
### Minimisasi Limbah dan Pencemaran Industri Tekstil

Prinsip dasar dalam pelaksanaan minimisasi limbah dan pencemaran yang dilakukan oleh industri tekstil dituangkan dalam 5R (*Reduction, Re-use, Recycle, Recovery and Re-think*): **Reduction**, yang berarti upaya pengurangan jumlah limbah pada sumbernya melalui penggunaan teknologi tepat guna dan berdaya guna yang dapat mengurangi dan mencegah timbulnya limbah sejak tahap awal

kegiatan produksi. Implikasi dari *reduction* adalah mengurangi dan meminimumkan pemakaian bahan baku produksi, meminimumkan pemakaian air, meminimumkan pemakaian energi dan menghindari pemakaian bahan baku berbahaya dan beracun serta mereduksi terjadinya limbah pada sumbernya sehingga dapat dicegah dan menekan timbulnya masalah pencemaran dan kerusakan lingkungan hidup serta risiko pada manusia. *Reuse*, yang berarti upaya penggunaan kembali material yang menjadi limbah dengan suatu teknologi yang memungkinkan suatu limbah dapat digunakan kembali untuk diproses menjadi produk utama. Implikasi dari re-use adalah penggunaan kembali material yang terlanjur menjadi limbah untuk digunakan kembali pada proses produksi menjadi produk utama, sehingga tidak ada limbah yang terbuang. Contoh; limbah kain (perca) pada industri garmen digunakan kembali untuk membuat garmen (produk utama). *Recycle*, atau daur ulang adalah upaya penggunaan kembali material yang menjadi limbah untuk diproses menjadi produk yang berbeda dengan produk utama. Daur ulang menggunakan teknologi yang berfungsi untuk memanfaatkan limbah dengan memprosesnya kembali ke proses yang berbeda dan dapat dicapai melalui perlakuan proses fisika, proses kimia, atau proses biologi. Contoh; limbah kain (perca) pada industri garmen digunakan untuk membuat produk boneka, kain keset, kain lap dan lain sebagainya. *Recovery*, adalah proses pemulihan limbah menjadi material yang dapat dijadikan produk yang bermanfaat secara ekonomi. Contoh; melakukan pemulihan (*recovery*) khrom pada limbah padat dari industri kulit, melakukan pemulihan timah hitam dari limbah baterai bekas. *Re-think*, adalah tindakan desain ulang terhadap proses produksi yang menghasilkan limbah yang tidak dapat dilakukan reduce, reuse, recycling ataupun recovery untuk dapat digunakan kembali pada kegiatan produksi. Contoh; 1) melakukan perubahan pada pola produksi dan konsumsi berlaku baik pada proses maupun produk yang dihasilkan, 2) melakukan perubahan pada pola pikir, sikap dan tingkah laku dari semua pihak terkait kegiatan produksi.

Prinsip dasar di atas diarahkan pada pengaturan sendiri (*self regulation*) dan bukan didasarkan pada pengaturan secara *command and control*. Sehingga pelaksanaan program produksi bersih tidak hanya mengandalkan peraturan saja, tetapi lebih ditekankan pada aspek kesadaran untuk memperbaiki sikap dan tingkah laku semua pihak terkait kegiatan produksi yang minimum pencemaran lingkungan. Pelaksanaan prinsip dasar di atas ditujukan untuk: 1) melakukan rasionalisasi terhadap pemakaian

bahan baku, air, energi, dan mengurangi kerugian material produksi sehingga biaya produksi dapat diminimumkan; 2) mengurangi volume dan toksisitas limbah, baik limbah padat, cair maupun emisi gas; 3) pemakaian kembali dan atau daur ulang secara maksimal atas material bahan baku produksi dan bahan pembantu; 4) meningkatkan kualitas lingkungan kerja dan keselamatan kerja di pabrik; dan 4) Peningkatan kinerja lingkungan (ekoefisiensi) pabrik.

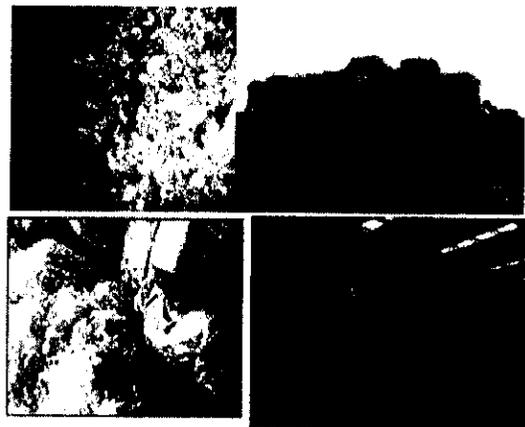


Gambar 7. Sistem Produksi Tekstil Dalam Kawasan Industri Bersimpul Tertutup

Gambar 7 menjelaskan sistem produksi tekstil dalam kawasan industri bersimpul tertutup, dimana arus utama material pada pabrik pemintalan yang mengolah material kapas untuk diproduksi menjadi benang sebagai produk utama. Produk sampingan pabrik pemintalan berupa debu kapas dan limbah benang dimanfaatkan sebagai bahan baku pembantu pada pabrik pembuat atap asbes. Produk sampingan pabrik pembuat atap asbes berupa serpihan asbestos dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembantu pada pabrik batu batako. Demikian seterusnya, limbah pabrik batu batako berupa serpihan batako maupun sisa-sisa pasir dan semen dapat dimanfaatkan kembali (*reuse*) untuk memproduksi batu batako.

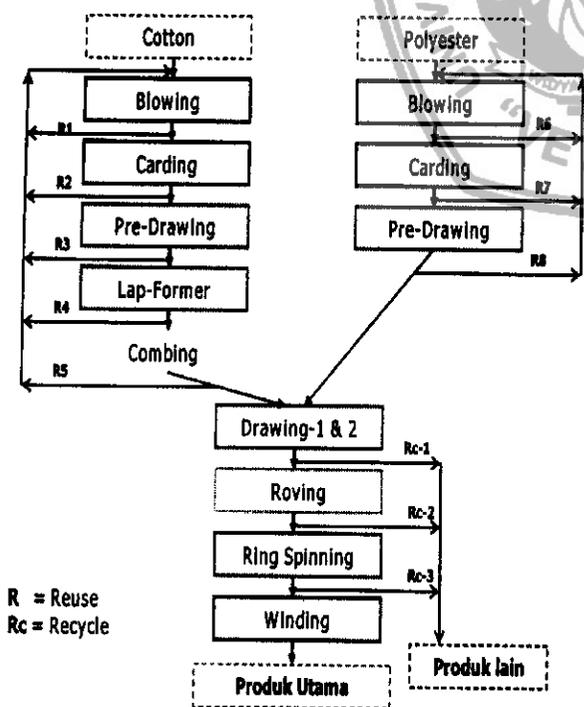
Dalam rangka meminimisasi entropy industri tekstil, maka beberapa alternatif pengembangan sumber energi nonkonvensional yang dikembangkan untuk mengganti sumber energi konvensional yang terbatas jumlahnya. Alternatif energi nonkonvensional tersebut adalah sebagai berikut: (1) Energi matahari; cahaya matahari dapat diubah menjadi energi listrik dengan jalan menangkap cahaya matahari dengan ribuan fotosel. Fotosel dapat dibuat dari silikon yang sisi-sisinya dilapisi dengan Boron dan Arsen. Untuk mendapatkan voltase yang tinggi dan arus yang kuat, ribuan fotosel dihubungkan secara seri-paralel. Energi matahari dapat juga diubah

menjadi energi panas dengan pertolongan cermin cekung, (2) Energi panas bumi; panas dari gunung berapi bersumber dari magma, bila di dekat magma tersebut terdapat cadangan air maka air itu akan mendapatkan panas. Rembesan air panas ke permukaan bumi dapat merupakan sumber air panas, berupa semburan uap atau semburan air panas. Panas bumi berupa uap air panas dapat digunakan untuk menggerakkan turbin yang dapat menggerakkan generator listrik, (3) Energi angin; langsung dapat diubah menjadi listrik dengan menggunakan kincir angin yang dihubungkan dengan generator listrik, (4) Energi pasang surut; dapat dimanfaatkan dengan menggunakan dam yang memiliki pintu air yang dapat diatur pembukaannya. Pada saat air laut pasang, air laut masuk ke dalam dam melalui pintu air. Bila air surut maka air laut akan ke luar juga melalui pintu air yang sama. Di pintu air itulah dipasang turbin yang dapat menggerakkan generator listrik, (5) Energi biogas; prinsipnya adalah memanfaatkan jasad hidup sampah melalui cara pembusukan dengan pertolongan bakteri pengurai. Bakteri itu diperoleh dari kotoran kerbau atau sapi. Gas yang sebagian besar adalah metan dapat dibakar untuk keperluan masak memasak, dan (6) Energi biomassa; bahan bakunya adalah sampah organik. Panas yang timbul, digunakan untuk memanaskan ketel uap. Uap yang dihasilkan digunakan untuk menggerakkan generator listrik.



Gambar 9. Pengelolaan Material Limbah Pabrik Pemintalan

Gambar 8 menjelaskan salah satu contoh penerapan analisa metabolisme industri dalam minimisasi limbah produksi tekstil dalam pabrik tekstil, dimana setiap input-output rangkaian mesin produksi diseleksi sedemikian rupa hingga menghasilkan entropy yang dapat dimanfaatkan kembali (*reuse*) atau didaur ulang (*recycle*). Sebelum entropy terbentuk, maka tindakan minimisasi (*reduce*) entropy yang akan terbentuk harus diutamakan. Pada industri pemintalan ini, pada dasarnya tidak ditemukan entropy yang membahayakan lingkungan. Namun pada industri lainnya bila tindakan *reduce-reuse-recycle* material telah dilakukan dan ternyata limbah atau entropy masih terjadi, maka tindakan yang dilakukan selanjutnya adalah melakukan recovery terhadap limbah yang mengandung racun dan atau membuang limbah yang sudah dinetralisir untuk dijadikan nutrisi alam. Bila tindakan recovery terhadap limbah beracun tidak dapat dilakukan maka tindakan berikutnya adalah mengkaji kembali (*re-think*) dan mendesain ulang seluruh rangkaian kegiatan produksi untuk dapat kembali berproduksi dengan tidak melakukan perusakan lingkungan dan menghindari kerugian ekologi serta kerugian ekonomi.



Gambar 8. Metabolisme Produksi Tekstil Dalam Pabrik Pemintalan

## SIMPULAN

Tindakan penyehatan metabolisme industri tekstil untuk menghasilkan produk output industri yang berkualitas dapat mengacu pada 4 (empat) pilar penopang kehidupan industri yang sehat yaitu: 1) material bahan baku industri sebagai makanan yang sehat dan berkualitas sesuai kemampuan (usia) teknologi yang memproses, 2) teknologi, mekanisasi proses produksi yang "mencerna" bahan baku menjadi produk output yang berkualitas, 3) produk tekstil yang dihasilkan secara berkualitas

bagi kehidupan lingkungan termasuk keamanan dan kesehatan manusia yang memakai atau memanfaatkan produk tekstil yang dihasilkan, dan 4) produk limbah produksi dijadikan produk sampingan industri sebagai "nutrisi" ekologi.

Aspek *input* material bahan baku sebagai makanan industri tekstil seperti; 1) serat-serat tekstil (*fiber-filament*) yang berkualitas untuk diproses metabolisme oleh pabrik pemintalan, 2) benang tekstil (*spun yarn-filament yarn*) yang berkualitas untuk diproses metabolisme oleh pabrik pertenunan atau perajutan, 3) kain tenun atau kaos (*grey fabric*) yang berkualitas untuk diproses metabolisme oleh pabrik finishing tekstil, dan 4) kain finishing (*fabric finished*) yang berkualitas untuk diproses metabolisme pada pabrik pakaian jadi (*garment and apparel*). Pada aspek input industri tekstil harus diseleksi sedemikian rupa hingga input makanan industri tekstil harus tetap berkualitas sehingga dapat menghasilkan output berkualitas dengan *entropy* yang minimum.

Aspek proses yang menggunakan alat teknologi produksi tekstil yang berperan untuk melakukan metabolisme material bahan baku untuk ditransformasikan secara "fisik-kimia"; 1) teknologi pemintalan (*spinning technology*) yang berkualitas fisik baik untuk mentransformasikan serat-serat tekstil menjadi produk benang, 2) teknologi pertenunan-perajutan (*weaving-knitting technology*) yang berkualitas fisik baik untuk mentransformasikan benang tekstil menjadi produk kain, 3) teknologi penyempurnaan tekstil (*fabric finishing technology*) yang berkualitas fisik baik untuk mentransformasikan kain mentah (*grey fabric*) menjadi produk kain finish (*fabric finished*), dan 4) teknologi garment dan apparel (*garment-apparel technology*) yang berkualitas fisik baik untuk mentransformasikan kain (*fabric finished*) menjadi produk pakaian jadi (*garment-apparel*). Pada aspek teknologi proses dalam industri tekstil harus seleksi dan dirawat sedemikian rupa (usia mesin, faktor efisiensi mesin, keausan mesin) hingga proses metabolisme industri tekstil tetap berkualitas sehingga dapat menghasilkan output produk berkualitas dengan produk *entropy* yang minimum.

Aspek *output* sebagai produk industri tekstil seperti; 1) benang tekstil (*spun yarn-filament yarn*) yang berkualitas untuk dapat dimanfaatkan oleh konsumen dalam bentuk pabrik pertenunan atau perajutan, 2) kain tenun atau kaos (*grey fabric*) yang berkualitas untuk dapat dimanfaatkan oleh konsumen dalam bentuk pabrik finishing tekstil, dan 3) kain finishing (*fabric finished*) yang berkualitas untuk dapat dimanfaatkan oleh kon-

sumen dalam bentuk pabrik pakaian jadi (*garment and apparel*) dan 4) pakaian jadi (*garment-fashion*) yang berkualitas untuk dapat dimanfaatkan oleh konsumen masyarakat luas (manusia). Pada aspek output industri tekstil harus dirancang (*re-design*) sedemikian rupa hingga mampu diproduksi tekstil berkualitas dengan durasi pemanfaatannya pada tahap konsumen dalam durasi waktu yang lama (*durable*).

Aspek *entropy* sebagai produk sampingan industri tekstil seperti; 1) sisa serat-serat dan benang tekstil (*material waste*) yang minimum dan limbah yang dapat didaur ulang (*reuseable-recyclable*) menjadi produk utama atau produk lain, 2) sisa benang tekstil dan kain (*material waste*) yang minimum dan limbah yang dapat didaur ulang (*reuseable-recyclable*) menjadi produk utama atau produk lain, dan 3) sisa kain tekstil (*material waste*) yang minimum dan limbah yang dapat didaur ulang (*reuseable-recyclable*) menjadi produk utama atau produk lain, dan 4) pakaian bekas atau yang usang (*old-fashion*) yang minimum untuk dapat didaur ulang (*reuseable-recyclable*) menjadi produk lain. Pada *entropy* industri tekstil harus direkayasa (*re-engineering*) sedemikian rupa hingga material limbah dapat diminimumkan ataupun material limbah yang terjadi dapat didaur ulang (*reuse-recycle*) menjadi nutrisi bagi kegiatan industri lain dan ataupun menjadi nutrisi bagi tanah (*ecology*).

#### DAFTAR PUSTAKA

- Allen, P. M., and J. M. McGlade., 1987, *Modelling Complex Human Systems. A Fisheries Example*, *European Journal of Operations Research* 30 (1987): 147-167.
- Braungart, Michael, 1994, *Industrial Metabolism*, United Nations University (UNU), Tokyo.
- Eberle H, 2007, *Clothing Technology; from fiber to fashion*. Fifth edition, VERLAG EUROPA LEHRMITTEL – Nourney, Vollmer GmbH & Co KG, Dusselberger-Strabe.
- Graedel & Allenby. 1995. *Industrial Ecology*. AT&T Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey: xix + 412 hlm.
- Larson, E. D., M. H. Ross, and R. H. Williams. 1986, *Beyond the Era of Materials*, *Scientific American*.
- Lowe, Ernest. 1996. *Industrial Ecology: A Context for Design and Decision*. McGraw-Hill. New York.

- Marco A. Janssen et.al (2001) *Changing Industrial Metabolism: Methods for Analysis*. Department of Spatial Economics, Vrije Universiteit, De Boelelaan 1105, 1081 HV, Amsterdam
- Ogden, J. M., and R. H. Williams, 1989, *Solar Hydrogen. Moving beyond Fossil Fuels*. Washington, D. C.: World Resources Institute.
- Peet, R., 1987, *International Capitalism and Industrial Restructuring*. Boston: Allen & Unwin, 1987.
- Rizal, R., 2008, *Ekoefisiensi Pemanfaatan Materi dan Energi Pada Pabrik Tekstil*. Disertasi. Univeristas Indonesia. Jakarta.
- Rizal, R., 2008 *Konsep Eco-Efficiency Dalam Pengembangan Industri Tekstil Berwawasan Lingkungan*, Bina Widya, Vol. 19 No. 2. Juli 2008. (ISSN: 0853-2621)
- Singer, C., and T. J. Williams., 1979, *A History of Technology 1954-1979*. Vols. 1-7. Oxford: Oxford University Press.
- Simonis, U. E. 1989, *Ecological Modernization of Industrial Society. Three Strategic Elements*, *International Social Science Journal* 41 (1989), no. 3: 347-361.
- Weisz, Helga, 2007, *Material Use Across World Regions: Inevitable Pasts and Possible Futures*. *Journal of Industrial Ecology*, April 15, 2007.
- Weisz, Helga., 2007, *Material and Energy Flow Studies ("Industrial Metabolism")*. <http://www.mitpressjournals.org/jie>
- Williams, R. H., E. D. Larson, and M. H. Ross, 1987, *Materials, Affluence, and Industrial Energy Use*, *Annual Review of Energy* 12.