

Pengembangan Teknologi Bersih dan Kimia Hijau dalam Meminimalisasi Limbah Industri

Oleh:

Oberlin Sidjabat

S A R I

Teknologi atau proses yang digunakan industri-industri untuk memproduksi produk-produk yang kita butuhkan sangat mempengaruhi kualitas hidup kita terutama terhadap lingkungan dan kesehatan. Pada umumnya industri-industri masih banyak menghasilkan limbah yang merusak lingkungan. Oleh karena itu dibutuhkan solusi untuk meminimalisasi limbah industri atau kerusakan lingkungan dengan mengembangkan teknologi bersih (*clean technology*) berdasarkan konsep kimia hijau (*green chemistry*).

Pengembangan teknologi atau proses untuk meminimalisasi limbah perlu pertimbangan beberapa aspek yaitu Faktor Lingkungan (*Environmental Factor*), Utilisasi Atom, dan Peran Katalisis (Proses Katalitik). Aspek yang paling penting dan juga mempunyai pengaruh untuk meminimalisasi limbah industri-industri adalah proses katalitik.

Kata kunci: lingkungan; teknologi bersih; kimia hijau; faktor lingkungan; utilisasi atom; katalis

ABSTRACT

Technology or processing used in industries to produce the products that we need, will affect our life quality mainly for environment and health. Generally, a lot of industries still produce waste that damages the environment. Therefore, solution is needed to minimize the waste of industries or the destruction of environment by development of clean technology based on green chemistry concept.

Development of technology or process to minimize the waste needed a consideration of some aspects i.e. environmental factor, atom utilization, and the role of catalysis (catalytic processing). The most important aspect that also has an influence in minimization of waste industries is catalytic processing.

Key words: environment; clean technology; green chemistry; environmental factor; atom utilization; catalyst

I. PENDAHULUAN

Kualitas hidup kita, terutama di dalam masyarakat moderen, sangat tergantung pada hasil atau produk-produk dari industri-industri kimia, proses pengolahan minyak, dan automotif. Dengan kata lain, kehidupan masyarakat di zaman globalisasi ini sangat dipengaruhi dan juga tergantung pada produk-produk teknologi yang sedang berkembang. Namun hasil atau produk dari industri-industri tersebut tidak saja menghasilkan produk yang kita butuhkan akan tetapi juga

menghasilkan limbah atau emisi yang dapat merusak lingkungan dan kesehatan manusia [Nakajima, 1991; Rhodes, 1994; Sheldon, 1994]. Dalam hal ini, masih banyak proses-proses atau teknologi yang digunakan dalam industri-industri tersebut pada saat memproduksi produk tertentu yang menghasilkan limbah atau merusak lingkungan sekitar kita.

Selain itu kepedulian terhadap lingkungan sudah memasyarakat dan mengglobalisasi, di mana perhatian masyarakat, kalangan industri dan pemerintah yang

saling mendukung dan bekerjasama dalam menghadapi hal tersebut. Pemerintah juga sudah mengeluarkan peraturan-peraturan atau undang-undang tentang penanggulangan atau pencegahan limbah atau polusi terhadap lingkungan.

Oleh karena itu perlu mencari suatu solusi untuk mendapatkan suatu proses atau teknologi bersih (*clean technology*) dan mengembangkan kimia hijau (*green chemistry*) untuk dapat meminimalisasi limbah industri. Hal ini merupakan tantangan bagi ilmuwan (ahli kimia dan ahli enjinir/teknik kimia) untuk dapat mengembangkan proses-proses yang tidak hanya menghasilkan produk-produk yang diinginkan tetapi juga efisien dan ramah lingkungan. Dengan kata lain, teknologi yang relatif bersih dan/atau dapat meminimalisasi limbah merupakan teknologi unggulan industri untuk saat ini dan di masa mendatang [Cusumano, 1992].

Salah satu teknologi proses yang sudah berkembang dan terus dikembangkan untuk dapat mengurangi pencemaran atau limbah industri adalah teknologi katalitik atau dengan peran katalis [Bell, dkk., 1995; Centi, 2003; Cusumano, 1992; Nakajima, 1991; Sidjabat, 1996].

II. TEKNOLOGI BERSIH (*CLEAN TECHNOLOGY*)

Teknologi bersih merupakan suatu konsep dari kimia hijau (*green chemistry*) yang diintroduksikan atau diperkenalkan pada awal tahun 1990-an dalam komunitas ilmuwan yang kemudian diadopsi sebagai pendekatan baru untuk memperbaharui pendekatan “cemari-dan-kemudian bersihkan” (*pollute-and-then-clean up*) atau pendekatan pada akhir proses atau produk (*end-of-pipe*) yang sering digunakan dalam praktek industri.

Definisi kimia hijau (*green chemistry*), menurut US EPA (*Environmental Protection Agency*), adalah menggunakan ilmu kimia dan prosesnya untuk pencegahan polusi (pencemaran), dan merancang produk kimia dan proses-prosesnya yang lebih akrab lingkungan [<http://www.epa.gov/greenchemistry/whatis.htm>]. Kimia hijau merupakan perancangan kembali produk kimia dan prosesnya dengan tujuan mereduksi atau mengeliminasi setiap pengaruh negatif terhadap lingkungan dan kesehatan. Sebagai contoh dari proyek kimia hijau adalah untuk menemukan bahan yang tidak beracun (non-toksik), pelarut pengganti yang tidak mudah menguap, me-

ngembangkan katalis baru dan bahan-bahan yang ramah lingkungan. Selain itu sejak tahun 1970-an, pemikiran atau pertimbangan tentang produk dan proses tidak hanya didasarkan pada pasar dan keekonomian proses tapi juga sudah mempertimbangkan lingkungan [Cusumano, 1992].

Teknologi kimia hijau (*green chemistry*) dapat dikategorikan ke dalam salah satu atau lebih dari tiga hal berikut:

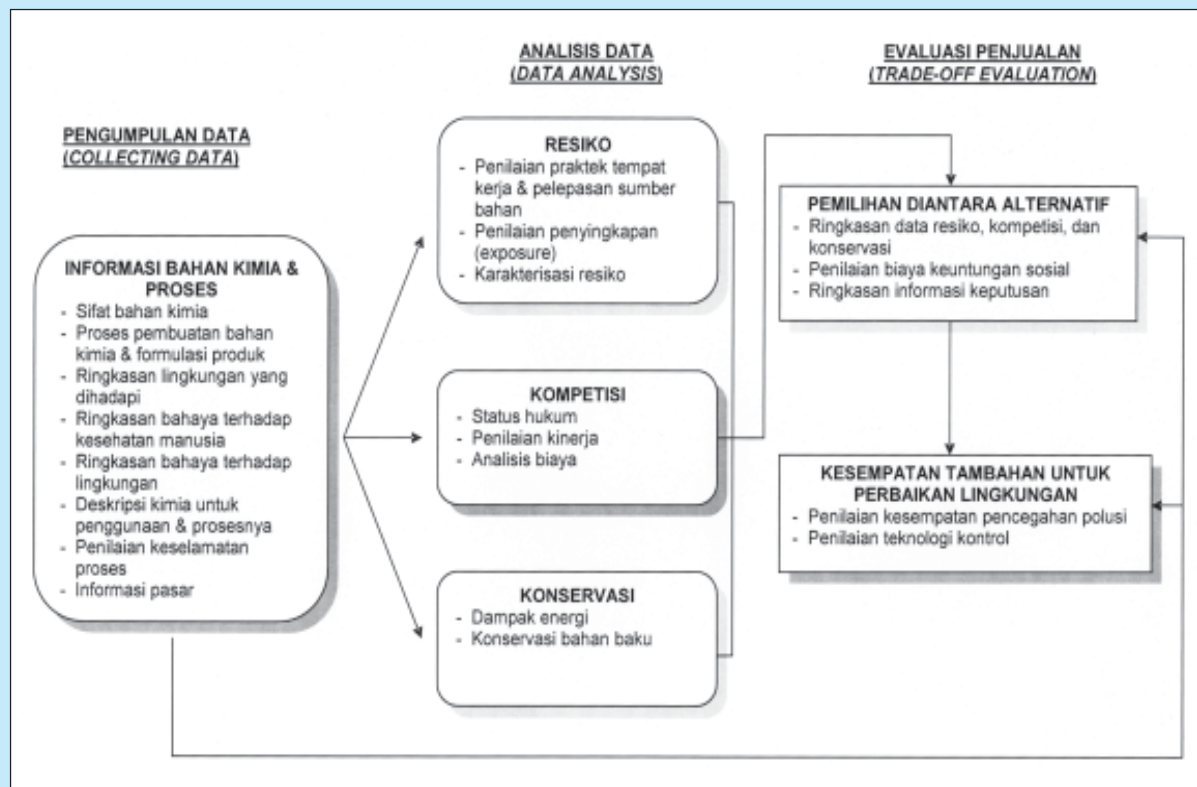
1. Menggunakan jalur sintesis alternatif untuk kimia hijau (*green chemistry*).
2. Menggunakan kondisi reaksi alternatif untuk kimia hijau.
3. Merancang bahan kimia yang lebih aman, misalnya dengan sifat toksik (racun) yang lebih kecil dari pada alternatif yang ada dan/atau lebih aman terhadap potensi kecelakaan.

Pada umumnya mereduksi limbah pada sumbernya lebih disukai dan seringkali lebih murah daripada solusi pada akhir proses (*end-of-pipe*) dan dapat dicapai dengan berbagai cara seperti modifikasi proses, mendaur ulang atau memperoleh kembali (*recovery*) bahan dari limbah.

Teknologi bersih merupakan suatu teknologi yang dapat berfungsi untuk hal berikut [Feckova, 2002]:

- a. Menghemat bahan mentah (umpan) dan energi; mereduksi toksisitas (atau bahaya) dari bahan-bahan yang digunakan dalam suatu proses; mereduksi jumlah dan/atau toksisitas (bahaya) limbah dari proses industri dan emisinya.
- b. Memproduksi produk (dan pengemasannya) dengan mengkonsumsi sedikit bahan baku dan sedikit energi selama digunakan, menghasilkan sedikit emisi dan limbah, mudah digunakan kembali, dapat diperoleh kembali atau mudah didaur ulang setelah digunakan, dan mempunyai dampak kecil jika dibuang ke lingkungannya.

EPA sudah mendefinisikan suatu prosedur untuk menilai teknologi bersih berdasarkan pada evaluasi resiko yang komparatif, kinerja (*performance*), biaya (*cost*) dan penghematan (konservasi) sumber bahan baku terhadap teknologi yang digunakan pada saat ini [<http://www.epa.gov/opptintr/dfe/tools/ctsa/>]. Aspek-aspek kunci dari prosedur penilaian tersebut disajikan pada Gambar 1. Aspek utama dari prosedur tersebut terletak pada penilaian biaya secara kuantitatif, dan keuntungan sosial dan lingkungan termasuk kesehatan.



Gambar 1
 Ikhtisar prosedur penilaian teknologi bersih

Untuk meminimiliasi limbah dari suatu proses kimia maka perlu pertimbangan aspek hal berikut:

- a. Faktor Lingkungan , Faktor E (*Environmental Factor*)
- b. Utilisasi Atom
- c. Peran Katalisis (Proses Katalitik)

A. Faktor Lingkungan (Environmental Factor)

Pada umumnya industri-industri kima mendapat tekanan dari berbagai regulasi atau peraturan pemerintah agar dapat meminimalisasi limbahnya. Seperti diketahui, limbah didefinisikan sebagai semua produk hasil proses (hasil samping) kecuali produk yang diinginkan. Dalam hal ini perlu ada pertimbangan yang disebut faktor E (Faktor Lingkungan) yaitu jumlah limbah yang dihasilkan per kilogram produk dalam berbagai segmen industri kimia. Sebagai gambaran dari faktor lingkungan (faktor E) untuk segmen industri disajikan pada Tabel 1.

Dari Tabel 1 terlihat bahwa segmen industri pengolahan minyak bumi mempunyai nilai faktor

lingkungan yang lebih rendah dibandingkan segmen industri lain, meskipun jumlah produknya lebih besar dibandingkan dengan industri lainnya. Sedangkan segmen industri farmasi mempunyai nilai faktor lingkungan yang paling besar dan produknya paling kecil di antara segmen industri-industri tersebut dalam Tabel 1.

B. Utilisasi Atom

Proses-proses industri dirancang berdasarkan konsep utilisasi atom (*atom utilization*). Utilisasi atom berarti bahwa perhatian ditujukan pada perancangan reaksi kimia sehingga seluruh atau hampir semua atom dari bahan awal (umpan) dalam proses akan dikonversikan menjadi molekul atau senyawa yang diinginkan daripada menjadi produk samping sebagai limbah.

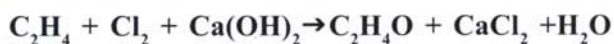
Utilisasi atom dari suatu proses atau reaksi dikalkulasi dengan membagi berat molekul (BM) produk yang diinginkan dengan berat molekul (BM) seluruh zat yang diproduksi dalam persamaan stokhiometri, seperti persamaan berikut:

$$\% \text{ Utilisasi Atom} = \frac{\text{Berat Molekul (BM) produk yang diinginkan}}{\text{Berat Molekul (BM) dari seluruh reaktan}}$$

Utilisasi atom sering juga disebut selektifitas atom, merupakan suatu kunci untuk meminimalisasi limbah berdasarkan selektifitas yaitu suatu ukuran tentang bagaimana efisiensi suatu sintesis (reaksi) dilakukan. Seperti diketahui selektifitas didefinisikan sebagai perolehan produk dibagi dengan jumlah substrat (bahan) yang dikonversikan yang dinyatakan dalam prosentase (%). Parameter ini adalah akar penyebab masalah limbah, terutama pada industri kimia.

Suatu contoh sederhana untuk menggambarkan konsep ini adalah pembuatan etilena oksida (C_2H_4O) dari bahan baku etilena (C_2H_4) dengan dua rute (cara) yaitu:

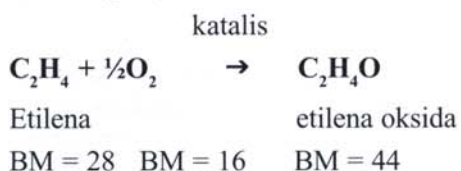
a. Rute klasik khlorohidrin



Etilena
 BM = 28
 Etilena oksida
 BM = 74
 $CaCl_2$
 BM = 111
 H_2O
 BM = 18

Reaksi ini mempunyai nilai utilisasi atom adalah $44/173 = 25\%$ dan proses ini juga disebut sebagai proses kalsium khlorida ($CaCl_2$) karena produk ini jauh lebih besar (nilai utilisasi atom : $111/173 = 64\%$) dibandingkan dengan etilena oksida, yang merupakan hasil samping (limbah).

b. Rute petrokimia moderen



Reaksi ini mempunyai nilai utilisasi (selektifitas) atom adalah $44/44 = 100\%$ dan proses ini menggunakan katalis.

Perbandingan nilai utilisasi (selektifitas) atom, dengan dasar/basis perolehan secara teoritis, adalah suatu cara cepat untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari rute-rute proses alternatif untuk suatu produk.

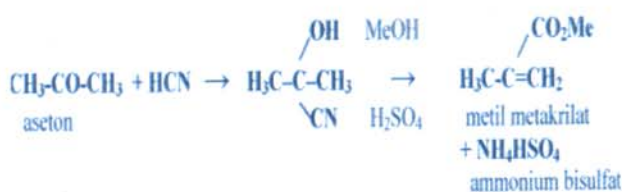
C. Peran Katalisis (Proses Katalitik)

Peranan katalis selain mempercepat reaksi, juga dapat mengarah-

kan reaksi ke produk yang diinginkan dengan selektifitas tinggi. Seperti digambarkan dengan utilisasi (selektifitas) atom maka peran katalis juga meningkatkan selektifitas untuk produk tertentu.

Sebagai contoh adalah reaksi pembentukan etilena oksida di atas dimana reaksi yang menggunakan katalis lebih baik dan menghasilkan limbah dalam jumlah kecil. Contoh lain adalah reaksi pembuatan metil metakrilat seperti digambarkan pada reaksi berikut:

a. Rute klasik (tanpa katalis)



Reaksi ini menggunakan aseton dan mempunyai nilai Faktor E (faktor lingkungan) sebesar 2,5 yaitu akan menghasilkan produk samping (limbah) sebanyak 2,5 kg ammonium bisulfat per kilogram metil metakrilat. Sedangkan nilai utilisasi atom adalah 46%.

b. Rute Katalitik



Reaksi katalitik ini menggunakan bahan baku metilasetilena dan mempunyai nilai utilisasi atom sebesar 100%.

Bila dibandingkan dari kedua rute reaksi ini maka tergambar bahwa katalisis berperan dalam pengembangan proses (teknologi) bersih dan menghasilkan produk garam yang rendah.

Tabel 1
 Akseptibilitas lingkungan (Faktor E)

| Segmen industri | Produk (Ton) | Rasio, kg produk samping/kg produk |
|--|---------------|------------------------------------|
| Pengolahan minyak bumi (<i>Oil refining</i>) | $10^8 - 10^9$ | ~0.1 |
| Kimia curah (<i>Bulk chemicals</i>) | $10^4 - 10^6$ | <1 – 5 |
| Kimia adi (<i>Fine chemicals</i>) | $10^2 - 10^4$ | 5 – 50 |
| Farmasi (<i>Pharmaceuticals</i>) | $10^1 - 10^3$ | 25 – 100+ |

III. PENGGUNAAN PROSES KATALITIK DALAM MEMINIMALISASI LIMBAH

Katalisis atau proses katalitik adalah suatu kunci teknologi untuk memberikan suatu solusi yang realistis terhadap banyak hal termasuk isu tentang masalah lingkungan. Proses katalitik atau katalisis berperan pada seluruh kehidupan kita, di mana banyak produk yang kita butuhkan dihasilkan dengan bantuan katalis.

Pencegahan atau meminimalisasi limbah atau pencemaran sudah menjadi pusat perhatian semua pihak baik pemerintah, industriawan, ilmuwan, dsb. Konsep untuk pencegahan limbah ini disebut pencegahan polusi (*pollution prevention*), mengurangi sumbernya (*source reduction*) dan meminimalisasi limbah (*waste minimization*) [Oliver, 1994]. Idenya adalah “lebih baik tidak menghasilkan limbah daripada mempunyai masalah dalam pengolahan dan pembuangan limbahnya”.

Ada dua cara untuk pencegahan polusi atau pencemar yaitu pencegahan primer dan pencegahan sekunder [Cusumano, 1992]. Pencegahan primer adalah mengembangkan teknologi bersih yang tidak menghasilkan pencemar (limbah). Hal ini merupakan masa depan industri kita. Sedangkan pencegahan sekunder adalah mengolah limbah yang dihasilkan suatu industri sebelum dibuang.

Prinsip teknologi bersih dengan menggunakan katalisis adalah pencegahan polusi (primer) dan pembersihan polutan setelah kejadian atau sebelum dilepas ke udara, air dan tanah (sekunder). Peran katalis atau teknologi katalitik sangat banyak digunakan di industri pengolahan minyak untuk menghasilkan bahan bakar minyak yang berhubungan dengan aspek lingkungan. Demikian juga industri kimia banyak menggunakan proses katalis dengan tujuan mengurangi limbah yang merusak lingkungan. Selain itu katalis juga mempunyai peran penting untuk mengontrol emisi gas yang berasal dari kendaraan bermotor dan gas buang dari industri pembangkit tenaga listrik [Aria, 1991; Nakajima, 1991]. Dalam hal lain, sesuai dengan kepedulian terhadap lingkungan dan kemajuan teknologi, beberapa negara maju seperti Jepang telah menggunakan katalis untuk mencegah polusi yang berasal dari rumah tangga seperti kompor masak, microwave, dsb. [Nishino, 1991; Centi, 2002].

IV. PENANGANAN KATALIS BEKAS (*SPENT CATALYST*)

Sehubungan dengan penggunaan katalis dalam proses kimia (teknologi katalitik) maka akan dihasilkan katalis bekas (*spent catalyst*) yang sudah tidak aktif. Dalam hal ini perlu ada penanganan khusus untuk mencegah limbah katalis tersebut, dan ada 4 pilihan alternatif untuk menangani katalis bekas [Lassner, dkk., 1994] yaitu:

- a. Perolehan kembali logam-logamnya (*reclaiming*) untuk dapat digunakan lagi untuk membuat katalis baru atau didaur-ulang untuk penggunaan lain.
- b. Regenerasi dan dipakai lagi
- c. Sebagai bahan campuran untuk pembuatan sejenis batako (*paving block*)
- d. Ditimbun dalam tanah (*landfill*)

V. KESIMPULAN

Salah satu teknologi bersih yang sudah berkembang dan terus dikembangkan untuk dapat mengurangi pencemaran atau limbah industri adalah teknologi katalitik atau dengan peran katalis

Teknologi bersih adalah suatu konsep dari kimia hijau (*green chemistry*) dan merupakan suatu teknologi yang dapat:

- a. Menghemat bahan mentah (umpan) dan energi; mereduksi toksisitas (atau bahaya) dari bahan-bahan yang digunakan dalam suatu proses; mereduksi jumlah dan/atau toksisitas (bahaya) limbah dari proses industri dan emisinya.
- b. Memproduksi produk (dan pengemasannya) dengan mengkonsumsi sedikit bahan baku dan sedikit energi selama digunakan, menghasilkan sedikit emisi dan limbah, mudah digunakan kembali, dapat diperoleh kembali atau mudah didaur ulang setelah digunakan, dan mempunyai dampak kecil jika dibuang ke lingkungan.

Untuk meminimalisasi limbah dari suatu proses kimia maka perlu pertimbangan aspek-aspek berikut:

- a. Faktor Lingkungan, Faktor E (*Environmental Factor*)
- b. Utilisasi Atom
- c. Peran Katalisis (Proses Katalitik)

Katalis bekas (*spent catalyst*) dapat diolah dengan cara perolehan kembali logam-logamnya (*reclaiming*), regenerasi dan/atau ditimbun dalam tanah

(*landfill*), sehingga tidak menjadi masalah dalam lingkungan.

KEPUSTAKAAN

1. Arai, H. and Machida, M., (1991), *Recent Progress in High Temperature Catalytic Combustion*, Catal. Today, 10, hal. 81-94
2. Bell, A.T., Manzer, L. E., Chen, N.Y., Weekman, V.W., Hegedus, L.L. and Pereira, C.J., (1995). *Protecting the Environment Through Catalysis*, Chem. Eng. Prog., Feb., hal. 26-34
3. Centi, G. and Perathoner, S., (2003), *Catalysis and Sustainable (green) chemistry*, Catal. Today, 77, 287-297
4. Centi, G., Ciambelli, P., Perathoner, S. and Russo, P., (2002), *Environmental Catalysis: Trends and Outlook*, Catal. Today, 75, hal. 3-15
5. Cusumano, J., (1992), *New Tehnology and the Environment*, CHEMTECH, August, hal. 482-489
6. Feckova, V., (2002), *National Strategies for Cleaner Technology Transfer*, International Forum On Strategies And Priorities for Environmental Industries, Bratislava, 12-14 June 2002
7. <http://www.epa.gov/greenchemistry/whatis.htm>
8. <http://www.epa.gov/opptintr/dfe/tools/ctsa/>
9. Lassner, J.A., Lasher, L.B., Koppel, R.L. and Hamilton, J.N., (1994), *Reclaim Spent Catalyst Properly*, Chem. Eng. Prog., August, hal. 95-97
10. Nakajima, F., (1991), *Air Pollution Control With Catalysis – Past, Present and Future*, Catal. Today, 10, hal. 1-20
11. Nishino, A., (1991), *Household Appliances Using Catalysis*, Cat. Today, 10, hal. 107-118
12. Oliver, J. and Anthony, D. b., (1994), *Pollution Prevention – A Global Perspective*, Hydrocarbon Processing, hal. 82-C – 82-L
13. Rhodes, A.K., (1993), *Technology, Efficient Operation Key Elements in Environmental Strategy*, Oil & Gas J., Nov 29, hal. 39-49
14. Rhodes, A.K., (1994), *Public, Agencies Key Players in L.A Refiner’s Program*, Oil & Gas J., May 30, hal 64-74
15. Sheldon, R.A., (1994), *Consider the Environmental Quotient*, CHEMTECH, March, hal. 38-47
16. Sidjabat, O., Morina, dan Rahman, M., (1996), *Peran Katalis Dan Teknologi Katalitik Untuk Mencegah Polusi*, IndoKimia, Vol 2, No 5, hal. 59-72.