

Kimia Hijau dan Pembangunan Kesehatan yang Berkelanjutan di Perkotaan

Dina Mustafa

PENDAHULUAN

Perkembangan dan pemanfaatan zat-zat kimia yang tanpa kendali, menyebabkan tubuh manusia terkontaminasi oleh sejumlah besar zat kimia sintetis hasil industrialisasi, banyak diantaranya telah diketahui bersifat racun dan penyebab kanker. Zat-zat tersebut masuk ke tubuh manusia melalui produk yang tidak disebutkan sebagai komponen penyusun atau *ingredients* pada produk-produk makanan atau aditif, makanan yang terkontaminasi zat kimia, udara, air dan debu. Bahkan, janin yang tumbuh di perut ibu juga sudah terpapar langsung oleh zat kimia melalui makanan dan obat-obatan yang dikonsumsi oleh ibu. Pada akhirnya banyak zat kimia yang masuk ke rantai makanan dan tersirkulasi ke seluruh dunia. Telah terbukti bahwa pestisida yang digunakan di daerah tropis ternyata sudah umum ditemukan di Artika (wilayah di Kutub Utara) sekarang (Clark, 2005). Zat pencegah api pada mebel dan elektronik saat ini ternyata didapati di tubuh mamalia yang hidup di lautan.

Sejak tahun 1990-an Amerika Serikat telah mulai memberikan penghargaan yang berhubungan dengan kimia hijau, namun banyak penerapan kimia hijau yang sebenarnya telah lama dikenal sebelum itu. Berbagai negara juga menerapkan kimia hijau seperti Jerman yang tidak menggunakan pelarut pada proses komersial serta pemanfaatan katalis yang dapat didaur ulang di Inggris (Clark, 2005).

Istilah kimia hijau pertama kali digunakan oleh Paul T. Anastas pada sebuah program khusus yang diperkenalkan organisasi EPA (Environmental Protection Agency) di Amerika Serikat tahun 1991. Program ini dimaksudkan untuk menerapkan pengembangan berkelanjutan di bidang kimia dan teknologi kimia oleh dunia industri, akademi, dan pemerintahan. Konsep kimia hijau mengintegrasikan pendekatan baru untuk proses sintesa, pengolahan, dan aplikasi zat-zat kimia sedemikian rupa sehingga dapat menurunkan ancaman terhadap kesehatan dan lingkungan. Pendekatan baru ini kemudian diberi istilah: kimia yang ramah terhadap lingkungan

(*Environmental benign Chemistry*), kimia bersih (*Clean Chemistry*) ekonomi atom (*atom economy*), kimia yang dirancang jinak/ramah (*benign-by-design chemistry*).

Konsep kimia hijau biasanya ditampilkan sebagai gabungan dari 12 prinsip yang diusulkan oleh Anastas dan Warner (Anastas & Warner, 1998), apabila diterapkan dapat menunjukkan bagaimana produksi zat kimia dapat memfasilitasi kesehatan manusia dan lingkungan, dengan tetap memperhatikan efisiensi dan keuntungan. Kedua belas prinsip kimia hijau itu adalah: 1) pencegahan: pencegahan limbah lebih diutamakan daripada perlakuan terhadap air limbah; 2) atom ekonomi: metode sintesa harus dirancang untuk memaksimalkan pemanfaatan semua materi yang digunakan dalam proses sampai menghasilkan suatu produk; 3) sintesa zat kimia dengan kemungkinan timbulnya bahaya seminimal mungkin: kegiatan pembuatan zat kimia diusahakan menerapkan metode yang dirancang untuk memanfaatkan dan menghasilkan zat-zat dengan toksisitas serendah mungkin bagi kesehatan manusia dan lingkungan; 4) merancang zat kimia yang aman yang dapat digunakan sesuai peruntukannya dengan meminimalisir toksisitas zat tersebut; 5) pemanfaatan pelarut dan zat pendamping yang aman; 6) perancangan sistem untuk mendapatkan efisiensi energi pada temperatur dan tekanan rendah serta ramah lingkungan; 7) sejauh mungkin menerapkan penggunaan bahan mentah yang terbarukan, bukan yang menghabiskan sumber daya; 8) sejauh mungkin mengurangi pemanfaatan zat derivatif seperti zat pencegah, pelindung, atau penghancur; 9) pemanfaatan katalis selektif mungkin dan yang merupakan reagen dengan sifat stokiometrik yang paling baik; 10) perancangan agar mudah diuraikan, zat-zat kimia yang dihasilkan harus mudah diuraikan saat manfaatnya telah selesai; 11) analisis secara *real-time* untuk pencegahan polusi; metode-metode analisis harus dikembangkan untuk memungkinkan pemantauan dan pencegahan secara langsung pada setiap tahap dari proses sintesa untuk mencegah terbentuknya zat berbahaya; 12) penerapan kimia aman untuk mencegah kecelakaan, zat-zat yang digunakan dalam proses kimia harus dipilih untuk meminimalisir potensi kecelakaan, termasuk pelepasan zat berbahaya, ledakan, dan kebakaran. Kedua belas prinsip ini diharapkan dapat memotivasi hal-hal yang berhubungan dengan bidang kimia seperti penelitian, pendidikan, dan kebijakan dan persepsi masyarakat. Prinsip pertama menggambarkan ide dasar dari kimia hijau, yang dilanjutkan dengan prinsip-prinsip berikutnya

yang menjadi pedoman dalam melaksanakan prinsip pertama itu seperti *atom economy*, penghindaran toksisitas, pemanfaatan solven dan media lainnya dengan konsumsi energi seminimal mungkin, pemanfaatan bahan mentah dari sumber yang terbarukan, serta penguraian produk kimia menjadi zat-zat nontoksik sederhana yang ramah lingkungan (Dhage, 2013).

KIMIA HIJAU

Kimia hijau adalah suatu pendekatan terhadap perancangan, proses pembuatan, dan pemanfaatan produk-produk kimia sedemikian rupa sehingga dapat mengurangi atau menghilangkan bahaya dampak buruk zat kimia terhadap lingkungan termasuk manusia. Tujuan utama pendekatan kimia hijau adalah untuk menciptakan zat-zat kimia yang lebih baik dan aman dan secara bersamaan dapat memilih cara-cara yang paling aman dan efisien untuk mensintesa zat-zat tersebut dan mengurangi sampah kimia yang dihasilkan.

Pendekatan kimia hijau bertujuan untuk menghilangkan dampak buruk zat kimia sejak pada proses perancangan. Praktik pencegahan bahaya dari sejak awal proses pembuatan zat kimia akan bermanfaat bagi kesehatan manusia dan lingkungan, yang meliputi proses perancangan, produksi, penggunaan atau penggunaan kembali, dan pembuangan limbah yang dihasilkan (Gambar 1). Perbedaan utama pendekatan lama dan baru dalam pembuatan zat kimia adalah pemanfaatan pelarut dari minyak bumi. Industri kimia umumnya mengandalkan pelarut petroleum yang tidak dapat diperbaharui sebagai materi utama untuk membuat zat kimia. Industri seperti ini biasanya adalah sangat intensif dalam penggunaan energi, tidak efisien, dan menghasilkan racun, baik produk maupun limbah kimia yang berbahaya.

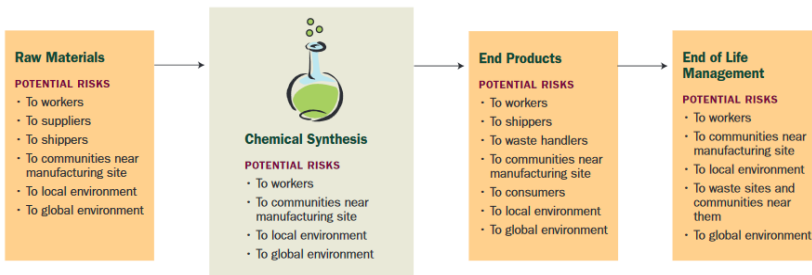
Salah satu prinsip dari kimia hijau adalah mengutamakan pemanfaatan zat-zat alternatif dan terbarukan termasuk pemanfaatan limbah pertanian atau biomass atau produk-produk biologis yang tidak terkait dengan bahan pangan. Secara umum reaksi-reaksi kimia dari bahan-bahan alternatif ini sangat kurang bahayanya dibandingkan jika menggunakan petroleum. Prinsip berikutnya adalah pencegahan limbah, sintesa kimia yang kurang atau tidak berbahaya, dan perancangan zat kimia yang tidak atau kurang berbahaya termasuk pelarut yang lebih aman. Prinsip lain berfokus pada perancangan produk-produk kimia yang mudah dan aman terurai di

lingkungan dan efisiensi dan penyederhanaan proses-proses kimia. Lebih jauh lagi, karena proses-proses dalam kimia hijau jauh lebih efisien, maka perusahaan akan menggunakan lebih sedikit bahan mentah dan energi sekaligus menghemat dana untuk pembuangan limbah.

Manfaat kimia hijau adalah mengusahakan proses-proses kimia yang lebih ekonomis karena biaya produksi dan regulasi yang lebih rendah, efisien dalam penggunaan energi, pengurangan limbah produksi, pengurangan kecelakaan, produk yang lebih aman, tempat kerja dan komunitas yang lebih sehat, perlindungan terhadap kesehatan manusia dan lingkungan, dan mendapatkan keunggulan yang kompetitif atas produk yang dihasilkan. Dengan memperhatikan dan menerapkan pendekatan atau teknologi kimia hijau akan menghasilkan tempat kerja yang lebih aman bagi para pekerja industri, risiko-risiko yang jauh lebih sedikit bagi komunitas di sekitar lingkungan pabrik dan produk yang lebih aman bagi pengguna/pembeli.

PENERAPAN KIMIA HIJAU

Para ahli kimia dapat mengakses berbagai sumber informasi mengenai potensi bahaya molekul zat kimia yang akan dirancang dan zat pendukung yang akan dipilih. Saat ini para ahli kimia hijau sudah terlatih untuk mengintegrasikan berbagai informasi tersebut untuk merancang molekul dengan menghindari atau mengurangi sifat racun/toksik dari molekul tersebut. Sebagai contoh, mereka mungkin merancang molekul yang cukup besar ukurannya sehingga tidak dapat menembus jauh ke dalam paru-paru manusia atau hewan, yaitu tempat efek toksik dapat terjadi. Cara lain adalah mengubah sifat-sifat suatu molekul untuk mencegah absorpsi oleh kulit atau untuk memastikan molekul tersebut akan mudah terurai di lingkungan.



Sumber: Institute for Agricultural and Trade Policy, 2007

Gambar 1. Manfaat Pendekatan Kimia Hijau

Dengan kemajuan di bidang teknologi pembuatan partikel nano, maka perlu diperhatikan atau dibuat peraturan untuk mengurangi dampak kesehatan dan lingkungan yang disebabkan partikel nano ini termasuk aplikasi teknologi dan partikel nano di dunia kedokteran, seperti pencitraan, pemberian obat, disinfektasi, dan perbaikan jaringan (Albrecht, Evans, & Raston, 2006). Partikel nano ini dapat masuk ke tubuh manusia melalui paru, usus besar, kulit, serta dapat masuk ke jaringan otak yang kemungkinan besar dapat menimbulkan masalah kesehatan, meskipun penelitian mengenai ini belum tuntas. Aturan dan regulasi terkait nano partikel dan kesehatan serta lingkungan perlu dikembangkan berdasarkan 12 prinsip kimia hijau. Albrechts et al., (2006) menguraikan dampak nano partikel dan berbagai kemungkinan alternatif yang tidak berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan untuk pemanfaatan nano partikel di berbagai aspek kehidupan. Manfaat pendekatan kimia hijau adalah mengurangi berbagai risiko pada siklus produksi dan pemanfaatan zat kimia (Gambar 1). Pendekatan pembaharuan berkelanjutan dalam hal penemuan atau inovasi akan membawa kepada proses dan produk yang aman di dalam ekosistem alami, dan mudah terurai, sehingga menjadi zat gizi untuk alam atau dapat didaur ulang.

CAT RAMAH LINGKUNGAN

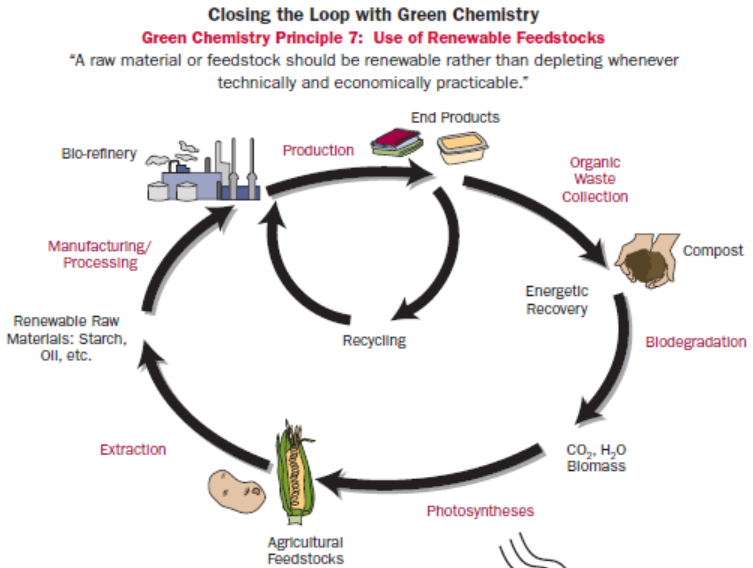
Senyawa organik yang mudah menguap *atau volatile organic compounds (VOC)* biasa diidentifikasi sebagai bau sesuatu yang baru dicat, bersifat berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan. Sejak dulu ada cat yang larut dalam air berbentuk bubuk, tetapi tidak mudah didapat. Perusahaan cat di Inggris berhasil membuat cat yang sedikit sekali atau tidak mengandung VOC tetapi tetap menarik, misalnya cat yang berbasis pelarut dari tanaman yang tidak berbau, mudah dibersihkan, dan berdaya tutup yang baik. Cat-cat yang diiklankan di Indonesia juga sudah mulai memperhatikan keamanan terhadap kesehatan dan lingkungan.

PLASTIK RAMAH LINGKUNGAN

Sudah ada produk-produk plastik yang berbahan dasar gula dari tanaman hasil pertanian yang terbarukan, seperti jagung, kentang, dan gula dari buah bit, untuk mulai menggantikan plastik yang berasal dari

petroleum. Beberapa perusahaan di negara maju telah menghasilkan produk-produk plastik yang ramah lingkungan. Sebagai contoh, perusahaan di Amerika yang memasarkan polimer PLA dari tumbuhan yang berasal dari jagung, digunakan dalam kemasan makanan dan minuman. Perusahaan ini juga berhasil membuat serat yang berasal dari jagung dinamakan Ingeo dan digunakan untuk membuat selimut serta hasil tekstil lain. Pabrik yang memakai polimer PLA sebagai bahan dasarnya juga mengintegrasikan prinsip-prinsip kimia hijau termasuk dalam memilih zat warna untuk produk-produk mereka. Di Amerika Serikat, terdapat perusahaan yang mengganti bahan penguat karpet yang biasanya terdiri atas aspal, polivinil klorida (PVC), dan poliuretan, dengan resin poliolefin, yang berasal dari tanaman dan lebih rendah toksisitasnya. Karpet jenis ini memiliki daya rekat yang tinggi dan tidak mudah menyusut. Saat ini karpet yang ramah lingkungan ini telah digunakan untuk bangunan rumah, sekolah, rumah sakit, dan kantor.

Saat ini sudah ada Pedoman Pemanfaatan Biomaterial Berkelanjutan (*Sustainable Biomaterials Guidelines*) yang memberi arahan untuk pendekatan komprehensif terhadap siklus produksi, pemanfaatan dan pengolahan limbah untuk praktik pertanian sampai dengan daur ulang dan pembuatan pupuk. Pedoman tersebut memberi saran bagaimana mengolah limbah tumbuhan seperti kayu, rumput kering, tanaman, dan berbagai bahan mentah pertanian untuk dimanfaatkan kembali. Pedoman tersebut sesuai dengan prinsip kimia hijau yang ke tujuh yaitu memanfaatkan bahan baku pertanian yang dapat didaur ulang, seperti yang digambarkan pada Gambar 2. Prinsip ini mendasari usaha para ahli kimia untuk memanfaatkan material yang dapat diperbaharui, seperti bahan bakar biogas dan pakan ternak, menghemat penggunaan energi, dan memproduksi zat-zat kimia yang ramah lingkungan pada pengolahan bahan makanan.



Gambar 2: Siklus Tertutup pada Pendekatan Kimia Hijau pada Usaha Bahan Pangan

ADOPSI PENDEKATAN KIMIA HIJAU PADA TINGKAT INDUSTRI

Banyak usaha yang mulai memperhatikan pendekatan kimia hijau. Perusahaan bangunan memanfaatkan bahan bangunan yang ramah lingkungan dan menghindari bahan yang terbukti berbahaya bagi kesehatan seperti asbestos. Usaha pencucian baju atau laundry juga sudah mengganti pelarut bahan kimia untuk *dry cleaning*, dari Perchloroethylene (PERC) – $\text{Cl}_2\text{C}=\text{CCl}_2$ –, dengan CO_2 cair dan surfaktan (Dhage, 2013). PERC terbukti berbahaya bagi air tanah dan diduga bersifat karsinogenik, seperti hampir semua pelarut yang mengandung halogen.

Penggantian zat pemutih kertas, yaitu gas klorin (Cl_2), untuk menghilangkan zat lignin, dengan peroksida (H_2O_2) bersama katalisator TAML (Dhage, 2013). Gas klorin ternyata bereaksi dengan lignin membentuk dioksin, seperti 2,3,4-tetrachlorodioksin dan furan terklorinasi. Zat tersebut merupakan zat berbahaya bagi kesehatan karena menjadi polutan pada rantai makanan untuk pakan ternak yang menghasilkan daging atau ikan terkontaminasi dioksin. Dengan katalis TAML memungkinkan H_2O_2 untuk mengurai lebih banyak lignin dalam waktu yang lebih singkat. Sistem

pemutihan ini juga digunakan di usaha laundry karena ternyata dapat mengurangi jumlah pemanfaatan air.

Bubuk dari biji asam jawa (*tamarind seed kernel powder*) yang merupakan limbah produk pertanian, dapat dijadikan zat yang efektif untuk menjernihkan air buangan rumah tangga dan industri (Dhage, 2013). Bubuk biji asam jawa bersifat non-toksik, mudah terurai secara alami, hemat biaya, dapat menggantikan garam Al (aluminium) atau alum yang biasa digunakan untuk mengolah air limbah. Zat alum ini terbukti meningkatkan jumlah ion berbahaya dalam air olahan itu dan dapat menyebabkan penyakit seperti alzheimer (pikun/dementia). Hasil penelitian membuktikan bahwa bubuk biji asam jawa cukup ekonomis sebagai flokulan yang kinerjanya setara dengan $K_2SO_4Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$ (potash alum) yang biasa dipakai pada penjernihan air.

KUALITAS KIMIA AIR SUNGAI CILIWUNG DI PROVINSI DKI JAKARTA

Sungai Ciliwung memiliki 2 (dua) peruntukan air sungai yaitu peruntukan air baku air minum (golongan B) dan peruntukan pertanian dan usaha perkotaan (golongan D). Sungai Ciliwung merupakan sungai utama dari sistem aliran sungai yang melalui DKI Jakarta. Pada bagian tengah Ciliwung terdapat kota Depok, di bagian hulunya terdapat Kabupaten Bogor dan Kota Bogor (Badan Pengelola Lingkungan Hidup Daerah/BPLHD Provinsi DKI Jakarta, 2014). Sungai Ciliwung tergolong sungai sedang, memiliki lebar sungai rata-rata 18-33 Meter. Parameter yang akan dibahas di sini adalah parameter kunci yang dapat mempengaruhi kualitas air sungai yang meliputi parameter fosfat, Senyawa Aktif Biru Metilen (detergen), Zat Organik, *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Dissolved Oxygen* (DO).

Salah satu parameter kunci dalam analisa kualitas kimia air sungai ini adalah kandungan Fosfat. Kandungan fosfat dalam air disebabkan oleh buangan limbah industri dan kandungan detergen. Konsentrasi fosfat yang tinggi menyebabkan terjadinya eutrofikasi yang bermula dari pertumbuhan luar biasa tumbuhan alga dan enceng gondok. Eutrofikasi secara fisik terlihat dari kondisi air yang berwarna hijau akibat tumbuhan alga didalamnya. Konsentrasi fosfat di sungai Ciliwung berada pada kisaran 0 – 3,76 Mg/L. Jika dibandingkan dengan baku mutu fosfat yang diijinkan yaitu 0,5 Mg/L, maka sebagian besar titik pantau kelas D berada pada kondisi di atas baku mutu.

Senyawa Aktif Biru Metilen merupakan senyawa pencemar perairan yang paling banyak dihasilkan dari limbah tekstil. Keberadaan senyawa ini dalam perairan dapat meningkatkan COD dan menyebabkan perairan menjadi tidak jernih. Baku mutu senyawa aktif metilen biru yang ditetapkan untuk air sungai kelas B adalah sebesar 1 Mg/L dan kelas D adalah 0,5 Mg/L. Seluruh titik pantau yang berada di areal sungai Ciliwung mengandung senyawa aktif metilen biru di bawah baku mutu. Konsentrasi senyawa aktif metilen biru cenderung lebih tinggi pada titik pantau sungai kelas D, yaitu 2,71 Mg/L. Konsentrasi detergen yang tinggi pada badan sungai Ciliwung diakibatkan dari aktivitas rumah tangga maupun industri.

Kandungan senyawa organik dapat berasal aktivitas organisme baik hewan, tumbuhan, ataupun manusia. Pada umumnya senyawa organik ini berisikan kombinasi Karbon, Hidrogen, dan Oksigen bersama-sama dengan Nitrogen. Semakin tinggi kandungan senyawa organik maka ada beberapa zat yang sulit untuk diuraikan oleh mikroorganisme. Sumber pencemar dominan dari parameter ini adalah limbah domestik yang berasal dari aktivitas warga. Konsentrasi zat organik di seluruh titik pemantauan sungai Ciliwung berada di atas baku mutu yang seharusnya di bawah 15 Mg/L, bahkan ada yang mencapai 91,50 Mg/L.

Konsentrasi BOD menunjukkan kebutuhan oksigen oleh mikroorganisme untuk mengurai senyawa organik yang terkandung dalam perairan. Konsentrasi BOD dipengaruhi oleh proses penguraian mikroorganisme dalam sungai. Proses penguraian bahan organik di perairan dapat membantu pengolahan air tetapi di sisi lain dapat meningkatkan timbulnya lumpur yang mengakibatkan pendangkalan. Baku mutu BOD yang digunakan pada analisa sungai kualitas B adalah 10 Mg/L dan baku mutu pada kualitas D adalah 20 Mg/L, mengacu pada Keputusan Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 582 Tahun 1995. Berdasarkan hasil analisis laboratorium, seluruh perairan di sungai Ciliwung memiliki konsentrasi BOD yang tinggi di atas baku mutu, yang paling tinggi adalah 68,13 Mg/L untuk sungai kelas B.

DO atau oksigen terlarut dalam perairan sangat berpengaruh terhadap kehidupan akuatik. Air dengan kualitas yang baik memiliki DO yang lebih tinggi dibandingkan dengan perairan yang tercemar. Kandungan DO dalam perairan berbanding terbalik dengan konsentrasi COD dan BOD. Semakin tinggi angka COD dan BOD, maka oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan senyawa organik dan mengoksidasi senyawa anorganik

semakin tinggi pula. Hal ini menyebabkan konsentrasi DO dalam perairan menurun dan menimbulkan dampak buruk bagi makhluk hidup akuatik di dalamnya. Baku mutu DO yang ditentukan untuk air kualitas B adalah 3 Mg/L dan untuk air kualitas D adalah 3 Mg/L. Ada beberapa titik dengan DO yang lebih rendah dari baku mutu yang ditetapkan. Rendahnya konsentrasi DO dapat mengindikasikan terjadi pencemaran organik yang cukup tinggi. Untuk menguraikan senyawa organik secara mikrobiologi dibutuhkan oksigen terlarut.

Secara umum laporan terkait pencemaran air oleh zat kimia, menunjukkan bahwa di bagian hulu sungai Ciliwung umumnya keadaan masih di bawah batas baku mutu yang ditetapkan, namun di hilir yang mendekati muara sungai Ciliwung di teluk Jakarta, memiliki indeks pencemaran zat kimia di atas baku mutu yang ditetapkan untuk sungai sebagai sumber air minum dan sumber air industri.

SOSIALISASI KIMIA HIJAU

Pendekatan kimia hijau untuk pengolahan limbah padat, baik organik maupun anorganik, dapat disosialisasikan ke masyarakat (Anggraeni, et al., 2012). Masyarakat di desa Padakembang dan Cilampung Hilir, Kecamatan Cisayong, kabupaten Tasikmalaya, difasilitasi untuk mendaur ulang limbah anorganik menjadi barang yang bernilai ekonomis, seperti limbah kertas jadi produk seni; dan mengolah limbah organik menjadi kompos. Pendekatan yang digunakan adalah 5 R, yaitu *Reduce, Reuse, Recycle, Replace, and Refill*.

PENGAWASAN PENERAPAN KIMIA HIJAU DI INDONESIA

Pemerintah telah membuat suatu kebijakan berkaitan dengan kepedulian menjaga kelestarian lingkungan dan penerapan konsep kimia hijau oleh industri dan bisnis. Kebijakan ini disebut Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan atau dikenal dengan sebutan PROPER. PROPER ini menjadi instrumen kebijakan alternatif atas pencapaian kinerja dan ketaatan terhadap peraturan perundang-undangan di bidang pengendalian pencemaran dan pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun. PROPER ini mendorong ketaatan dan kepedulian perusahaan dalam pengelolaan lingkungan hidup melalui penyebaran informasi tingkat kinerja ketaatan perusahaan kepada publik dan *stakeholder (public information disclosure)* (Menteri lingkungan Hidup Republik Indonesia, 2011).

PROPER memberi peringkat reputasi industri ke dalam lima peringkat yaitu emas, hijau, biru, merah dan hitam, dengan penjelasan sebagai berikut (Menteri lingkungan Hidup Republik Indonesia, 2011):

1. Emas, telah secara konsisten menunjukkan keunggulan lingkungan (*environmental excellency*) dalam proses produksi dan/atau jasa, melaksanakan bisnis yang beretika dan bertanggung jawab terhadap masyarakat.
2. Hijau, telah melakukan pengelolaan lingkungan lebih dari yang dipersyaratkan dalam peraturan (*beyond compliance*) melalui pelaksanaan sistem pengelolaan lingkungan, pemanfaatan sumberdaya secara efisien melalui upaya 4R (*Reduce, Reuse, Recycle dan Recovery*), dan melakukan upaya tanggung jawab sosial (*corporate social responsibility/CSR/comunity development*) dengan baik.
3. Biru, telah melakukan upaya pengelolaan lingkungan yang dipersyaratkan sesuai dengan ketentuan dan/atau peraturan perundang-undangan yang berlaku.
4. Merah, upaya pengelolaan lingkungan yang dilakukan belum sesuai dengan persyaratan sebagaimana diatur dalam peraturan perundang-undangan dan dalam tahapan melaksanakan sanksi administrasi.
5. Hitam, secara sengaja melakukan perbuatan atau melakukan kelalaian yang mengakibatkan pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan serta pelanggaran terhadap peraturan perundang-undangan yang berlaku atau tidak melaksanakan sanksi administrasi.

Dalam kebijakan PROPER tersebut, suatu industri harus mengatur proses produksi menggunakan prinsip 'kimia hijau' dengan kriteria yang telah ditetapkan. Kriteria itu antara lain adalah sebagai berikut. Ada bukti pelaksanaan AMDAL; pengendalian pencemaran air (dengan aspek titik penaaatan, parameter, pelaporan, baku mutu, izin, ketentuan teknis); pengendalian pencemaran udara (dengan aspek sumber emisi, parameter, pelaporan, baku mutu, ketentuan teknis); pengelolaan limbah B3 (dengan aspek pendataan jenis dan volume limbah yang dihasilkan, perizinan, pelaksanaan ketentuan izin, *open dumping* dan pengelolaan tumpahan dan tanah terkontaminasi limbah B3, jumlah limbah B3 yang dikelola sesuai dengan peraturan, pengelolaan limbah B3 oleh pihak ke 3 dan pengangkutannya, *dumping, open burning*, dan pengelolaan limbah B3 dengan cara tertentu); pengendalian kerusakan lingkungan dengan kriteria

yang menunjukkan status aktivitas pembersihan lahan/pengupasan tanah pucuk/penggalian tanah penutup/penambangan/penimbunan/ reklamasi.

Proses penyediaan bahan baku hingga pendistribusian sisa produksi harus memiliki prosedur kerja yang jelas dan tidak mencemari lingkungan. Dalam beberapa proses kimia industri, limbah tidak hanya berupa produk tetapi juga reagen yang digunakan untuk produksi. Limbah ini dapat menyebabkan ancaman terhadap lingkungan. Risiko paparan untuk senyawa kimia berbahaya yang memiliki ambang batas dapat diminimalkan dengan menggunakan alat pelindung seperti kacamata, masker, dan baju pelindung. Menurut prinsip-prinsip kimia hijau, ancaman tersebut bisa dihilangkan dengan cara sederhana yaitu dengan menggunakan bahan baku yang aman untuk proses produksi kimia.

INTEGRASI KIMIA HIJAU DAN PENDIDIKAN

Maria, Praptining, dan Lussana (2013) dari program studi (prodi) Pendidikan Biologi FPMIPA IKIP PGRI Semarang menguraikan usaha untuk mengintegrasikan konsep pengetahuan mengenai kimia hijau pada prodi Pendidikan Biologi. Pada artikel yang dipresentasikan pada Seminar Nasional X Pendidikan Biologi FKIP UNS, para penulis itu menguraikan kemungkinan menerapkan konsep dan aspek-aspek kimia hijau dalam mata kuliah pengetahuan lingkungan pada mahasiswa pendidikan biologi, terutama bila ilmu kimia bukan merupakan mata kuliah pokok. Tahapan pelaksanaan penerapan konsep kimia hijau seperti tahap pada difusi inovasi, yaitu tahap pertama, menanamkan kepekaan mahasiswa tentang masalah lingkungan dan pencemaran yang diakibatkan oleh bahan kimia beracun dan berbahaya. Tahap kedua, mengenalkan kepada mahasiswa 12 prinsip kimia hijau. Tahap ketiga, mahasiswa belajar menganalisis penerapan prinsip kimia hijau dalam mata kuliah pengetahuan lingkungan.

KESIMPULAN

Pendekatan kimia hijau adalah usaha penerapan prinsip penghilangan dan pengurangan senyawa berbahaya melalui usaha perancangan, produksi, dan penerapan produk kimia. Pendekatan kimia hijau berusaha meminimalisir zat berbahaya, pemanfaatan katalis yang aman untuk reaksi dan proses kimia, penggunaan reagen yang tidak beracun, penggunaan

sumber daya yang dapat diperbaharui, peningkatan efisiensi pada tingkat atom, dan penggunaan pelarut yang ramah lingkungan. Usaha untuk menerapkan kimia hijau untuk menghasilkan produk industri untuk bangunan dan penggantian zat kimia berbahaya yang digunakan pada berbagai industri dan kesehatan telah dilakukan. Berbagai peraturan mengenai penerapan kimia hijau pada tingkat dunia dan Indonesia telah dibuat. Perlu pengawasan ketat untuk penerapan pendekatan kimia hijau ini untuk mencegah bahaya terhadap kesehatan dan lingkungan. Masih banyak usaha yang perlu dilakukan untuk meningkatkan penelitian, pendidikan, kebijakan, dan penerapan kimia hijau terutama tentang penerapan nanopartikel untuk kesehatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Albrecht, M, A., Evans, C, W., & Raston, C, L. (2006). "Green Chemistry and The Health Implications of Nanoparticles". *Green Chemistry*, 8, 417-432
[http://www.temas.ch/IMPART/IMPARTProj.nsf/f41e562f4f53bf50c12569f30037663e/46e7a24d8071fec4c125746a0039b267/\\$FILE/8.pdf](http://www.temas.ch/IMPART/IMPARTProj.nsf/f41e562f4f53bf50c12569f30037663e/46e7a24d8071fec4c125746a0039b267/$FILE/8.pdf)
Diunduh pada 16/06/2016.
- Anastas, P. T., and J. C. Warner (1998) *Green Chemistry: Theory and Practice* Eds. Oxford University Press: Oxford, UK.
- Anggraeni, N.I; Kamara, D.S; dan Dahlan, A. (2012). Sosialisasi Kimia Hijau: Daur Ulang Limbah Organik dan Anorganik Di Desa Padakembangan dan Cilampung Hilir, Kecamatan Cisayong, Kabupaten Tasikmalaya. *Dharmakarya: Jurnal Aplikasi Ipteks Untuk Masyarakat*, 1 (1), 49-56. ISSN1410 – 5675.
- Badan Pengelola Lingkungan Hidup Daerah BPLHD Provinsi DKI Jakarta. (2014). Laporan Status Lingkungan Hidup Daerah Provinsi DKI Jakarta 2014. Pemerintah Provinsi DKI Jakarta, Jakarta.
- Clark, J. H. (2005). Green Chemistry and Environmentally Friendly Technology. In C. A. M. Afonso and J. G. Crespo (eds). *Green Separation Processes*. pp 3 – 4. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim ISBN 3-527-30985-3. https://www.wiley-ch.de/books/sample/3527309853_c01.pdf. Diunduh pada 20/06/2016.
- Dhage, S, D. (2013). Applications of Green Chemistry Principles in Every Day Life. *International Journal of Research in Pharmacy and Chemistry*, 3 (3). <http://www.ijrpc.com/files/01-346.pdf> Diunduh pada 16/03/2016.
- Institute for Agriculture and Trade Policy (IATP) (2007, 18 Juli). Why We Need Green Chemistry. Retrieved from <http://www.iatp.org/documents/why-we-need-green-chemistry-1>. Diunduh pada 16/06/2016.

Maria U., Praptining R., & Lussana R. D. (2013). 'Konsep Pengetahuan Lingkungan Green Chemistry Pada Program Studi Pendidikan Biologi.' *Prosiding Seminar Nasional X Pendidikan Biologi, Vol II: Biologi, Sains, Lingkungan, Dan Pembelajarannya* – PS Biologi, Jur Pendidikan MIPA, FKIP – Universitas Sebelas Maret – Surakarta – 6 Juli 2013.

Menteri Lingkungan Hidup. (2011). *Peraturan Menteri negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 05 Tahun 2011 Tentang Program Penilaian Peringkat kinerja Perusahaan Dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup.* <http://apki.net/wp-content/uploads/2012/05/Peraturan-Menteri-Negara-Lingkungan-Hidup-Nomor-5-Tahun-2011-Program-Penilaian-Perangkat-Kinerja-Perusahaan-dalam-Pengelolaan-Lingkungan-Hidup1.pdf> Diunduh pada 22/08/2016.

