

# **PERANAN KIMIA HIJAU (*GREEN CHEMISTRY*) DALAM MENDUKUNG TERCAPAINYA KOTA CERDAS (*SMART CITY*) SUATU TINJAUAN PUSTAKA**

**Dina Mustafa**

## **PENDAHULUAN**

Visi Kota Cerdas/*Smart City*, adalah perkotaan masa depan, yang dikembangkan agar memiliki lingkungan yang aman, terjamin, hijau serta efisien. Semua sistem dan strukturnya – baik sumberdaya listrik dan gas, air, transportasi dan sebagainya dirancang, dibangun, dan dikelola dengan memanfaatkan kemajuan di bidang materi terintegrasi, sensor, elektronik, dan jejaring yang dihubungkan dengan sistem komputer untuk database, pelacakan, dan algoritma untuk pengambilan keputusan (Calvillo, Sanchez-Mirallas, & Viilar, 2016). Untuk mewujudkan hal ini diperlukan penelitian dan teknologi dari berbagai bidang seperti Fisika, Kimia, Biologi, Matematika, Ilmu Komputer, serta Teknik-teknik Sistem, Mekanika, Elektronika dan Sipil (Woinaroschy, 2016).

Konsep kota cerdas diperkenalkan untuk mengusahakan tersedianya kehidupan perkotaan yang baik bagi penduduknya melalui

pengelolaan optimal berbagai sumberdaya yang diperlukan. Konsep kota cerdas merupakan proses kegiatan yang dilakukan untuk membuat perkotaan menjadi nyaman untuk kehidupan penduduknya dan siap menghadapi berbagai tantangan yang mungkin muncul. Tahun 2008 para walikota di Eropa telah menyepakati kebijakan-kebijakan pembangunan kota berkelanjutan, yaitu mencapai tujuan 20-20-20 (20% reduksi gas buang/emisi, 20% energi terbarukan, dan 20% peningkatan efisiensi energi) pada tahun 2020 (Woinasroschy, 2016).

Kota cerdas digambarkan dengan atribut kecerdasan dalam hal bangunan, infrastruktur, teknologi, energi, mobilitas, penduduk, administrasi, dan pendidikan (Albino, Berardi, & Dangelico, 2015). Atribut-atribut itu secara terintegrasi diterapkan dalam mengelola sumberdaya, mengendalikan tingkat polusi, dan mengalokasikan energi. Sebagai penggiat pengembangan ekonomi terutama pada industri moderen seperti elektronik, teknologi informasi, bio dan nanoteknologi, yang memainkan peran penting pada struktur dan pengelolaan kota cerdas, industri kimia yang menerapkan prinsip Kimia Hijau dapat memainkan peranan penting pada evolusi berkelanjutan kota cerdas.

Untuk Indonesia, standar kota cerdas sedang dikembangkan, yang didasarkan pada standar internasional (Prihadi, 2016). *Smart City* atau kota cerdas memiliki 6 (enam) indikator yaitu *smart governance*, pemerintahan transparan, informatif, dan responsif; *smart economy*, menumbuhkan produktivitas dengan kewirausahaan dan semangat inovasi; *smart people*, peningkatan kualitas sumber daya manusia dan fasilitas hidup layak; *smart mobility*, penyediaan sistem transportasi dan infrastruktur; *smart environment*, manajemen sumber daya alam yang ramah lingkungan; dan *smart living*, mewujudkan kota sehat dan layak huni. Menurut Guru Besar Sekolah Teknik Elektro dan Informatika (STEI) ITB, Suhono Harso Supangkat, yang juga adalah inisiator kota cerdas di Indonesia, kota-kota besar di Indonesia sedang berusaha mencapai standar kota cerdas, yang saat ini baru tercapai pada level 60 (Prihadi, 2016). Belum sempurnanya kota cerdas di Indonesia, menurut beliau, karena belum adanya sumber daya manusia yang mencukupi yang menguasai berbagai teknologi

pengelolaan kota cerdas dan belum adanya satu kesatuan soal standar nasional pengelolaan kota cerdas (Prihadi, 2016).

Dari total 514 kabupaten atau kota di Indonesia, ada 50 yang ditargetkan oleh Dewan Teknologi Informasi dan Komunikasi Nasional (Wantiknas) dapat memenuhi kriteria kota cerdas (Windhi, 2016). Pemerintah juga menunjuk lima universitas untuk membuat kriteria nasional dan melakukan sosialisasi mengenai kota cerdas ini.

Enam kriteria yang telah didefinisikan sebelumnya juga menjadi pertimbangan tim Wantiknas ini. Indonesia telah mencanangkan kriteria kota cerdas dengan menerbitkan Perpres Nomor 96 tahun 2014, yang mermuat Rencana Pita Lebar Indonesia atau RPI, yang diharapkan dapat bermanfaat, terjangkau, dan memberdayakan warga kota (Windhi, 2016). Indonesia telah merencanakan tercapainya prinsip kota cerdas yang layak huni, aman dan nyaman pada 2025, tercapainya kota hijau dan ketahanan terhadap perubahan iklim dan kejadian bencana pada 2035, dan terciptanya kota cerdas yang berdaya saing dan berbasis teknologi pada 2045 (Barus, 2017).

Peranan Ilmu dan Teknologi Kimia dalam pembentukan kota cerdas, antara lain, dengan diperkenalkannya konsep Kimia Hijau/*Green Chemistry* untuk pengelolaan pembangunan berkelanjutan. Kimia Hijau/*Green Chemistry*, yang berfokus pada produksi dan teknologi penerapan Ilmu Kimia yang ramah lingkungan, diperkenalkan pada awal 1990-an (Anastas & Warner, 1998). Kimia hijau ini merupakan pendekatan untuk mengatasi masalah lingkungan baik dari segi bahan kimia yang dihasilkan, proses, ataupun tahapan reaksi yang digunakan. Konsep ini menegaskan tentang suatu metode yang didasarkan pada pengurangan penggunaan dan pembuatan bahan kimia berbahaya baik itu dari segi perancangan maupun proses. Bahaya bahan kimia yang dimaksudkan dalam konsep Kimia Hijau ini meliputi berbagai ancaman terhadap kesehatan manusia dan lingkungan, termasuk toksisitas, bahaya fisik, perubahan iklim global, dan penipisan sumber daya alam.

Anastas dan Warner (1998) menguraikan tentang konsep Kimia Hijau sebagai gabungan dari 12 prinsip. Prinsip pertama menggambarkan ide dasar dari Kimia Hijau, yaitu pencegahan. Prinsip pertama ini menegaskan bahwa pencegahan limbah lebih diutamakan

daripada perlakuan terhadap limbah. Selanjutnya prinsip pertama ini diikuti oleh prinsip-prinsip berikutnya yang memandu pelaksanaan prinsip pertama. Prinsip-prinsip Kimia Hijau yang dapat diterapkan untuk pembentukan dan pengelolaan kota cerdas, adalah *atom economy*, penghindaran toksisitas, pemanfaatan solven dan media lainnya dengan konsumsi energi seminimal mungkin, pemanfaatan bahan mentah dari sumber terbarukan, serta penguraian produk kimia menjadi zat-zat nontoksik sederhana yang ramah lingkungan (Dhage, 2013).

Definisi aspek pengelolaan kota cerdas adalah terdiri dari sistem pengelolaan air, infrastruktur, transportasi, energi, pengelolaan limbah, dan konsumsi bahan mentah (Albino, Berardi, & Dangelico, 2015). Dengan demikian Ilmu dan teknologi Kimia, melalui pendekatan kimia hijau dapat membuat aspek-aspek ini dikembangkan dan dikelola dengan lebih berkelanjutan, yaitu dengan menerapkan efisiensi energi dan anggaran yang lebih efektif dan pemanfaatan materi yang ramah lingkungan. Selanjutnya uraian dalam artikel ini akan membahas peranan Ilmu dan Teknologi Kimia Hijau pada-pada masing-masing aspek yang membangun kota cerdas.

## **PEMBAHASAN**

### **1. Sistem Pengelolaan Air**

Di sebagian kota-kota besar di Indonesia, pengelolaan air bersih, badan air, serta air limbah masih belum sempurna. Banyak penduduk kota yang tidak punya akses kepada air bersih dan sistem sanitasi standar yang sehat. Sebenarnya Indonesia berkelimpahan air, namun sayangnya pengelolaan air masih belum sistematis. Indonesia, bersama lima negara lain, yaitu Brazil, Cina, Kanada, Kolombia, dan Rusia, menguasai 50% cadangan air tawar dunia (Andang, 2011). Namun demikian, data Bank Dunia menunjukkan, 1 dari 2 orang Indonesia tidak mendapatkan akses air bersih dan 50 ribu anak Indonesia meninggal karena kurangnya air bersih. Terbatasnya akses kepada air bersih karena tidak sistematisnya tata kelola daerah aliran sungai/DAS dan pencemaran badan air oleh kegiatan pertambangan, antara lain emas, yang menimbulkan pencemaran

logam berat merkuri, dan oleh kegiatan industri yang membuang air limbah ke badan air tanpa menghilangkan zat polutan yang terkandung dalam air limbah berbagai industri itu. Masyarakat yang bermukim di pinggiran sungai juga membuang limbah rumah tangga mereka ke badan air (sungai atau air tanah).

Masalah air makin diperumit karena adanya masalah privatisasi air yang dilakukan oleh perusahaan-perusahaan air minum dalam kemasan (AMDK) yang menguasai mata air sebagai sumber air perusahaan (Andang, 2011). Air yang mengalir di sungai-sungai di perkotaan sudah sangat tercemar dengan berbagai limbah sehingga airnya berwarna kehitaman. Penyedotan air tanah oleh penduduk dan oleh industri sertagedung-gedung juga menyebabkan menurunnya ketersediaan dan kualitas air tanah, terutama kota yang dekat dengan laut.

Pemerintah Indonesia sudah mengusahakan perbaikan akses terhadap air bersih dan sanitasi (*International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank*, 2015). Sejak 2011 sekitar 55% penduduk Indonesia memiliki akses kepada perbaikan pelayanan penyediaan air bersih dan 56% penduduk pada perbaikan pelayanan sanitasi. Ini merupakan peningkatan sebanyak 17% untuk ketersediaan air bersih dan 31% untuk ketersediaan sanitasi yang memadai sejak tahun 1993. Pemerintah terus berusaha untuk mencapai tujuan penyediaan air bersih dan sanitasi yang memadai bagi seluruh penduduk Indonesia pada tahun 2019.

Selanjutnya ada hubungan yang erat antara pengelolaan air dan kebutuhan energi, yaitu air diperlukan untuk menghasilkan energi seperti pada pembangkit listrik tenaga air, dan air memerlukan jumlah energi yang besar untuk sistem penyediaan dan distribusinya. Masalah diperberat dengan masih dimanfaatkannya sistem perlakuan terhadap air limbah yang tidak ramah lingkungan. Lebih jauh lagi, dengan berkembangnya Konsep Ekonomi Hijau, menyebabkan makin meningkatnya kebutuhan akan air untuk menghidupi hijauan. Konsep ekonomi hijau muncul karena kepedulian untuk mengurangi ketergantungan pada *fossil-based economy*, untuk energi, transportasi, produksi materi dan berbagai zat kimia (Eickhout, 2012).

Sehubungan dengan pemanfaatan air, kota-kota di Eropa mulai mengurangi konsumsi air pribadi, meningkatkan efisiensi air pada proses irigasi, mengurangi keperluan akan air pada berbagai proses pada semua industri, mengurangi air yang hilang saat pendistribusiannya, dan mengurangi energi yang digunakan pada sektor perairan. Inovasi-inovasi juga dikembangkan untuk mendaur ulang air yang telah dimanfaatkan (*grey water*), mengenalkan proses-proses yang menerapkan pengurangan konsumsi air di dunia industri dan teknik-teknik baru seperti penyaringan dengan sistem nanofiltrasi (Woinaroschy, 2016). Keahlian di bidang industri kimia akan bermanfaat mendapatkan solusi-solusi pengolahan dan daur ulang air buangan dan pemenuhan konsumsi air 24 jam/hari dan 7 hari/minggu yang berkelanjutan yang merupakan solusi yang layak secara ekonomi. Untuk mendapatkan air bersih untuk skala perkotaan, peranan teknologi membran penyaring air, yang digabungkan dengan dengan teknologi nanofiltrasi (NF) dan reverse osmosis (RO) menjadi sangat penting. Teknologi pembuatan membran tentu menerapkan prinsip-prinsip kimia hijau, seperti pencegahan terhadap polusi lingkungan oleh hasil buangan pembuatan membran tersebut.

Secara komersial membran yang tersedia adalah berbasis pada poliamida aromatik yang dibentuk menjadi *Thin Film Composite* (TFC). Namun demikian membran yang berasal dari senyawa ini memiliki kekurangan antara lain daya tahan rendah terhadap pembusukan, stabilitas rendah terhadap pengaruh zat kimia dan panas, dan toleransi rendah terhadap klorin. Untuk mengatasi hal ini Chaoyi (2010) mengembangkan membran untuk RO dan NF. Membran pertama memiliki karakteristik tahan terhadap solven (zat pelarut) dan bermuatan positif. Daya tahan terhadap solven ini dikembangkan dengan melakukan *cross-linking* terhadap membran poliimida menggunakan polietilenimina, sehingga menghasilkan membran yang tahan terhadap hampir semua pelarut organik. Membran ini juga bermuatan positif karena adanya gugus amina yang tersisa di permukaannya, yang berdampak kemampuannya untuk menghilangkan secara selektif logam berat multivalensi dengan efisiensi tinggi (95%).

Membran untuk RO dan NF diharapkan memiliki karakter anti pembusukan, karena pembusukan pada permukaan membran akan berdampak pada kebutuhan energi yang lebih tinggi, waktu untuk membersihkan sehingga membran jadi tidak berfungsi sementara, dan menurunkan umur produktif membran. Untuk pencegahan terhadap pembusukan maka Chaoyi (2010) juga mengembangkan sistem membran baru dengan menggunakan teknik pelapisan untuk memodifikasi sifat-sifat permukaan membran untuk menghindari adsorpsi zat-zat pembusuk seperti *humic acid*. Satu lapisan dari polimer yang larut dalam air seperti polivinil alcohol (PVA), poliakrilic acid (PAA), polivinil sulfat (PVS) atau sulfonated poli (eter-eter-ke-ton) diadsorbsikan ke permukaan membran yang bermuatan positif. Membran yang dihasilkan memiliki permukaan yang halus dan bermuatan hampir netral dan menunjukkan daya tahan terhadap pembusukan yang lebih baik daripada membran NF yang bermuatan positif dan membran yang tersedia secara komersial yang bermuatan negatif, NTR-7450. Lebih jauh lagi membran yang dimodifikasi ini memiliki efisiensi tinggi untuk menghilangkan ion-ion multivalensi (95% untuk kation maupun anion). Dengan demikian pelapisan anti pembusukan ini sangat baik digunakan untuk penurunan kesadahan air, untuk desalinasi air, dan perlakuan terhadap air limbah pada proses *membran bioreactor* (MBR).

Selanjutnya ada teknologi pengembangan membran RO yang tahan panas. Membran RO yang tersedia secara komersial tidak dapat digunakan pada temperatur lebih tinggi dari 45<sup>o</sup> C karena menggunakan senyawa polisulfonat yang sering membatasi pemanfaatan membran tersebut untuk industri. Untuk mengatasi hal ini Chaoyi (2010) berhasil pula mengembangkan poliimida sebagai substrat membran untuk RO yang stabil pada lingkungan panas karena daya tahan terhadap panas tinggi. Membran yang merupakan komposit poliamida berbasis poliimida menunjukkan kinerja desalinasi yang sebanding dengan membran TFC yang tersedia secara komersial, dengan kelebihan utama kestabilan pada lingkungan panas tinggi. Saat diujicoba dengan menaikkan temperatur dari 250<sup>o</sup> C sampai dengan 950<sup>o</sup> C, *water flux* meningkat 5 – 6 kali, dan penghilangan garam berhasil dipertahankan konstan. Membran ini dapat menjadi solusi

unik bagi desalinasi air panas dan layak untuk digunakan meningkatkan produktivitas air dengan meningkatkan temperature operasional tanpa mengurangi kemampuan penyaringan garam.

Selain mengatasi perolehan air bersih dengan menerapkan teknologi membran untuk NF dan RO, sebaiknya diusahakan untuk penerapan 4 Rs untuk mengembangkan sistem pengurangan pemakaian air (*reduce*), penggunaan kembali air untuk berbagai keperluan sekaligus (*reuse*), mendaur ulang buangan air bersih (*recycle*), dan pengisian kembali air tanah (*recharge*) (Joga, 2008). Sistem pengolahan air dalam rumah tangga ini mengolah air limbah bersih dengan cara mendaur ulang air buangan sehari-hari yang berasal dari air cuci tangan, peralatan makan dan minum, kendaraan, dan bersuci diri, maupun air limbah yaitu air buangan dari kamar mandi, sehingga dapat digunakan kembali yang dapat untuk mencuci kendaraan, membilas kloset, dan menyirami taman. Sistem pengolahan air ini termasuk juga membuat sumur resapan air (1 x 1 x 2 meter) dan lubang biopori (10 sentimeter x 1 meter) sesuai kebutuhan untuk menangkap air hujan

Selain menerapkan biopori untuk menangkap air hujan, juga ada teknologi penjernihan air sederhana. Untuk menjernihkan air sehingga tidak ada partikel halus dalam air, dapat dilakukan penyaringan dengan melewati air itu pada sistem penyaringan yang berisi karbon aktif dari arang, ijuk, pasir dan kerikil. Arang dapat menyerap bakteri sehingga dapat sebagai sanitasi. Jika air sangat keruh dapat ditambah kaporit dalam dosis kecil. Bahan-bahan penjernih air itu harus secara berkala dibersihkan.

Ide pemanfaatan membran dengan teknologi NF dan FO, penerapan 4 Rs, dan biopori dicoba disatukan dalam pendekatan kolaborasi antar keahlian, yaitu: Teknik Lingkungan, Teknik Industri, dan Biologi, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, dengan menawarkan konsep *Surabaya Underground Aqua Project* (Nurdin dkk, 2015). Inti gagasan ini adalah sebuah inovasi teknologi pengelolaan air berskala kota yang menggunakan prinsip *water recycle* untuk menciptakan keberlanjutan lingkungan sebagai salah satu prinsip pengelolaan air. Prinsip *water recycle* yaitu pengelolaan air di dalam kota dilakukan dengan mengolah kembali campuran air limbah



dan air hujan untuk kemudian menjadi air minum sehingga akan tercipta kondisi lingkungan yang berkelanjutan. Perencanaan *Surabaya Underground Aqua Project* membedakan antara perencanaan instalasi dan jaringan distribusinya. Bagian instalasi terbagi atas dua area, yaitu 1) area pengolahan air limbah dan air hujan dan 2) area pengolahan air baku untuk air minum. Sementara itu, untuk bagian jaringan terbagi atas dua jaringan perpipaan, yaitu 1) Sistem penyediaan air minum dan 2) Sistem penyaluran air limbah dan air hujan. Seluruh instalasi dan jaringannya berada di bawah tanah. Sistem ini nantinya menerapkan membran untuk mendapatkan air berstandar air minum (Nurdin dkk, 2015).

## 2. Infrastruktur

Setelah penerapan Kimia Hijau dalam sistem pengelolaan air, akan diuraikan mengenai penerapan pada perolehan materi untuk infrastruktur. Dalam pengembangan infrastruktur industri konstruksi dan pelapisan/pengecatan telah maju pesat beberapa tahun belakangan ini. Pemanfaatan energi dalam bangunan secara global menyumbang hampir 40% konsumsi energi dan memunculkan emisi karbon dioksida sebanyak 36% dari total emisi karbondioksida yang terkait dengan konsumsi energi menurut *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Woinaroschy, 2016). Di Uni Emirat Arab, energi dari pendingin ruang memunculkan 65-70% konsumsi listrik. Ada sejumlah solusi yang terkait dengan kimia, untuk membangun efisiensi energi pada bangunan guna mendukung konsep *smart cities*. Solusi itu, antara lain, dengan pemanfaatan (Bax, Cruxent, & Komornicki, 2013) adalah:

- a. cat pelapis interior yang mempunyai daya pantul tinggi (*High Reflectance Indoor Coatings*): memantulkan cahaya lebih baik dari cat normal dan memaksimalkan rasa ruang yang lebih luas dan cahaya yang lebih terang, sehingga mengurangi biaya pencahayaan buatan;
- b. cat pelapis eksterior yang memiliki daya pantul tinggi dan tahan terhadap cuaca (*High Reflectance and Durable Outdoor Coatings*), yang bila diterapkan pada atap dan dinding akan memantulkan radiasi sinar matahari sehingga mengurangi suhu atap dan

- dinding, yang selanjutnya menyebabkan penghematan energi yang signifikan untuk pendinginan ruang;
- c. busa pelapis untuk isolasi yang berkinerja tinggi dan panel isolasi vakum, untuk mengatasi cuaca dingin, yang bila diadopsi dapat mengurangi biaya energi pemanasan dari 30% sampai 80% saat musim dingin; dan
  - d. *phase change materials (PCM)*, yaitu materials yang memungkinkan dinding dan langit-langit bangunan menyerap dan menyimpan panas berlebih di siang hari dan membuangnya di malam hari, sehingga memoderasi suhu bangunan agar lebih menyenangkan dan nyaman sepanjang hari.

Saat ini sudah dipasarkan materi dari PCM yang mudah terurai di lingkungan dan bersumber dari bahan alami seperti minyak sawit, minyak inti sawit, minyak lobak, minyak kelapa, dan minyak kedelai (*PureTemp*). Bahan-bahan ini tidak beracun, tidak mudah terbakar dan bila dikemas dengan benar tidak akan teroksidasi dan menjadi tengik, dan akan stabil selama beberapa dekade. Bahan PCM yang berupa lemak dan minyak terhidrogenasi sepenuhnya dapat stabil selama beberapa dekade (*PureTemp*, 2017).

Seperti industri pembuatan PCM, banyak industri lain di bidang kimia juga telah mempromosikan berbagai usaha perbaikan untuk bahan-bahan bangunan dan telah memasarkannya. Dengan peran positif dari pemerintah pusat dan daerah maka adopsi dari bahan-bahan bangunan yang ramah lingkungan dan yang mendukung konsep hemat energi dapat digalakkan.

Industri kimia juga berhasil merekayasa bahan-bahan bangunan hasil olahan bahan alam dan bahan daur ulang yang lebih ringan dan ramah lingkungan daripada beton, antara lain:

- a. *timbercrete*, dibentuk dari pemadatan campuran bubuk gergaji dan semen, ringan sehingga proses transportasi lebih murah, dan mengurangi sampah bubuk gergaji;
- b. *ashcrete*, berasal dari abuterbang yang merupakan produk sampingan hasil pembakaran batubara;

- c. *ferrock*, merupakan hasil riset daur ulang barang-barang bekas seperti debu baja dari industri baja, yang mampu menyerap dan menahan gas CO<sub>2</sub>;
- d. *plastik daur ulang*, yaitu bahan bangunan yang di dalamnya mengandung plastik daur ulang dan sampah, yang berdampak pada berkurangnya emisi gas rumah kaca dan pengurangan sampah; dan
- e. *hempcrete*, yaitu beton yang terbuat dari serta tanaman hemp, yang mudah tumbuh cepat di alam, yang dicampur kapur dan semen untuk membentuk bahan mirip beton yang kuat namun ringan, sehingga mudah diangkut (Kosasih, 2016).

Untuk cat dan pelapis permukaan yang ramah lingkungan dan sehat umumnya ditandai dengan rendahnya kandungan *volatile organic compound* (zat organik yang mudah menguap), dan pasti tidak boleh mengandung timbal dan merkuri dan tidak mengeluarkan bau yang menusuk hidung (Kardha, 2009). Cat yang ramah dan sehat biasanya menggunakan pelarut air bukan petroleum.

### 3. Transportasi

Pengembangan kota cerdas melibatkan peningkatan persentase penggunaan angkutan umum untuk tujuan efisiensi energi yang lebih besar, norma keselamatan yang lebih tinggi dan emisi gas buang yang lebih rendah, juga, sangat diharapkan untuk mengurangi berat kendaraan angkutan umum (Woinaroschy, 2016). Alat transport yang ramah lingkungan antara lain sepeda biasa dan sepeda listrik, mobil listrik, dan mobil hibrida. Saat ini, berbagai macam polimer komposit tersedia untuk bahan karoseri dan interior kendaraan umum yang lebih ringan. Teknik pembobotan ringan menggunakan busa kepadatan rendah yang tahan terhadap berbagai jenis cuaca, fluktuasi suhu, variasi tingkat kelembaban. Selanjutnya, dengan pemanfaatan materi elastomer secara khusus - getaran dapat dikurangi dan kita dapat mengaktifkan transportasi bebas kebisingan. Telah dikembangkan materi *fibre-reinforced plastic* (FRP) yang berpotensi untuk berkinerja baik melebihi baik baja maupun aluminium, meskipun saat ini para produser baja dan aluminium telah berhasil

memproduksi karoseri mobil yang jauh lebih ringan (Cefic, 2011). Materi-materi FRP belum dapat bersaing secara ekonomis dengan baja dan alumunium sebagai karoseri kendaraan. Masih banyak riset yang harus dilakukan untuk mencari komposit untuk eksterior kendaraan transportasi yang lebih ramah lingkungan (Woinaroschy, 2016).

Untuk interior kendaraan transportasi telah lama memanfaatkan komposit yang dinamakan elastomer yang berupa materi polimer plastik yang mudah dibentuk untuk insulasi pada kabel listrik dan pengeras suara dalam kendaraan. Zat ini tahan gores, tahan korosi akibat zat kimia, dan tahan terhadap air baik kelembaban atau saat terendam (Elastomer, 2015).

#### **4. Energi**

Ada beberapa cara yang didukung oleh Ilmu Kimia untuk mengurangi konsumsi energi di kota cerdas. Karena adanya advokasi untuk memanfaatkan bahan bangunan hemat energi maka pemanfaatan materi poliuretan sebagai insulasi yang sangat baik digunakan dalam produksi panel prefabrikasi untuk industri konstruksi, untuk dinding pendingin pada gudang atau box kendaraan pembawa materi yang harus beku/dingin, dan pembentuk kayu imitasi. Poliuretan juga menawarkan kekuatan struktural yang sangat baik, daya tahan dan adhesi sebagai bahan laminasi dan *liner*, yang merupakan elemen struktural yang melekat pada produk akhir. Materi ini dapat menahan panas atau dingin agar tidak masuk atau ke luar, juga membuat ruang jadi kedap suara (Sullivan, 2006).

Selanjutnya ada cara untuk penghematan energi yang dapat dilakukan, yaitu dengan menerapkan golongan materi yang berperan sebagai cairan pemindah panas menerapkan teknologi khusus untuk mencapai kombinasi optimal antara stabilitas, efisiensi dan ekonomi. Materi ini merupakan campuran beberapa materi, misalnya cairan Dowtherm G, yang dibuat oleh Dow Chemical Company, tersusun dari senyawa di dan tri aril, yang secara luas digunakan oleh pengusaha ritel penyimpanan dingin di seluruh dunia (Dow, 1997). Fluida ini menawarkan penggantian yang stabil dari gas pendingin sehingga menghindari polusi.

Dengan telah dikembangkannya materi untuk bahan bangunan yang dapat menunjang penghematan penggunaan energi, maka konsumsi energi alternatif menjadi pertimbangan saat membangun ruang rumah atau gedung dan ini merupakan langkah logis, dengan demikian digunakan panel surya untuk menghasilkan energi listrik alternatif. Panel surya secara tradisional menggunakan komponen etilen vinil asetat, yang harganya mahal, dan tidak mudah didapat (Woinaroschy, 2016). Hal ini menjadi penghalang bagi meluasnya penggunaan energi matahari sebagai alternatif sumber daya listrik. Namun, para ilmuwan telah mampu menciptakan alternatif yang efektif yang menawarkan kinerja superior, sekaligus meningkatkan efisiensi biaya secara signifikan (Bagher, *et al.*, 2015). Materi tersebut antara lain polysilicone dan monocrystalline silicone, atau versi yang lebih murah yaitu amorphous Silicon, yaitu silikon yang tidak berbentuk kristal, jenis yang paling banyak digunakan sebagai materi untuk panel surya untuk rumah dan gedung. Ada teknologi panel surya yang disebut sebagai *buried contact solar cell* yang merupakan logam berlapis yang dipendam dalam alur pembentuk laser. Efisiensi dari panel surya ini adalah 25% lebih tinggi daripada panel surya yang berbentuk lempengan dengan lapisan tipis zat pembentuk listrik. Adapula panel surya yang dibuat dari kombinasi bahan organik dan anorganik yang dinamakan *biohybrid solar cell* yang masih dalam taraf penelitian

## 5. Pengelolaan Limbah

Industri kimia dapat menawarkan solusi yang kredibel untuk masalah pengolahan limbah pada kota cerdas. Pabrik pengolahan limbah dapat dibangun, yaitu yang dapat menggunakan perlakuan tersier lanjutan melalui teknologi ultrafiltrasi dan reverse osmosis, dapat beroperasi sepanjang waktu untuk menggunakan kembali air limbah dan menghemat sejumlah besar air setiap hari (Woinaroschy, 2016). Air hasil perlakuan kemudian dapat dimanfaatkan untuk kegiatan lain seperti pendinginan AC, penyiraman toilet, hortikultura, konstruksi, dan lain-lain. Salah satu cara pengolahan air limbah sudah diuraikan pada bagian sistem pengelolaan air (Nurdin dkk, 2015)

Selain pengelolaan limbah cair, konsep ramah lingkungan dewasa ini juga telah merambah ke dunia sanitasi, yang termasuk pada pengelolaan limbah pada rumah tangga (Maharani, 2015). Ilmu dan teknologi Kimia berhasil menciptakan bahan *fiberglass* untuk septik tank dan penyaring biologis, serta cairan desinfektan yang ramah lingkungan. Kesemuanya ini diterapkan pada septik tank dengan penyaring biologis (*biological filter septic tank*), yang dirancang dengan teknologi khusus untuk tidak mencemari lingkungan, memiliki sistem penguraian secara bertahap, dilengkapi dengan sistem desinfektan, hemat lahan, antibocor atau tidak rembes, tahan korosi, pemasangan mudah dan cepat, serta tidak membutuhkan perawatan khusus. Kotoran diproses untuk penguraian secara biologis dan filterisasi secara bertahap melalui tiga kompartemen (*Septic tank Biotech*). Media kontak yang dirancang khusus dan sistem desinfektan sarana pencuci hama yang digunakan sesuai kebutuhan membuat buangan limbah kotoran tidak menyebabkan pencemaran pada air tanah dan lingkungan. Kelebihan septik tank jenis ini dibandingkan dengan septic tank konvensional: hasil buangan sesuai standar BPLHD dan digunakan lagi sebagai air bersih level 3, pemasangan praktis dan mudah, tidak membutuhkan perawatan khusus, menggunakan *biological ball* dan *bio filter*, tidak mudah penuh, hemat lahan galian, tidak mencemari sumber air tanah dan dapat di tanam berdekatan dengan sumur.

Selanjutnya Prasetyono (2017), menjelaskan ide pengelolaan limbah, yaitu penggabungan “dua” teknologi untuk pengelolaan limbah sampah bagi kota besar Indonesia. Teknologi itu adalah, pertama disebut sebagai teknologi reaktor “fermentasi kontinyu” untuk sampah organik karena lebih ramah lingkungan (*green*), *zero waste*, sebab tidak ada proses pembakaran secara langsung. Gas metana yang dihasilkan dapat langsung digunakan sebagai bahan bakar “*methane engine*” untuk menghasilkan listrik atau gas untuk memasak di dapur. Teknologi ini juga akan menghasilkan pupuk kompos berkualitas tinggi. Teknologi yang kedua adalah teknologi gasifikasi yang mampu mengolah jenis sampah anorganik, seperti teknologi pirolisis. Jadi pasangan teknologi fermentasi kontinyu dan teknologi pirolisis adalah “pasangan” teknologi yang sangat tepat

untuk diterapkan di kota besar/modern karena sifatnya yang saling mengisi, sehingga keduanya akan dapat memenuhi harapan sebagai teknologi “*Green and Zero Waste*”.

Untuk pengelolaan limbah padat juga dapat diterapkan pemisahan limbah (*waste segregation*), yaitu dengan penyediaan empat kantong pembuangan sampah untuk jenis limbah organik, kaca atau keramik, kertas dan plastik yang akan mempermudah pengumpul limbah untuk mentransfer sampah ke tempat daur ulang. Ada pula ide membuat lokasi pembuangan sampah menjadi pembangkit energi listrik dan gas dengan system *hybrid* yang mengintegrasikan beberapa pembangkit seperti turbin angin, sel surya dan energi yang berasal dari gas metana yang dihasilkan dari sampah. Tempat pembuangan sampah ini dapat dijadikan lokasi wisata energi untuk pembelajaran generasi muda dan anak-anak.

## **6. Konsumsi Bahan Mentah**

Kota pintar adalah konsumen besar dari banyak bahan baku. Masyarakat modern bergantung pada berbagai bahan baku, termasuk hasil industri mineral dan logam yang digunakan dalam aplikasi teknologi tinggi yang mendukung gaya hidup dan infrastruktur. Tapi banyak dari bahan baku ini tidak mudah didapat atau harus melalui proses yang rumit, membutuhkan banyak energi dan kadang-kadang menghasilkan limbah yang berbahaya saat proses produksi atau proses eliminasinya. Bumi ini adalah sumber daya yang pada dasarnya terbatas: kita hanya memiliki satu planet untuk hidup (Royal Society of Chemistry, 2009; Woinaroschy, 2016).

Dengan meningkatnya populasi dunia yang diikuti oleh pertumbuhan urbanisasi dan industrialisasi di negara berkembang, maka ketersediaan beberapa bahan baku menjadi sangat penting. Hal ini dapat membawa dampak ekonomi dan sosial pada masyarakat kita karena pasokan bahan baku kemungkinan dapat berkurang dan teknologi tertentu tidak lagi layak karena tidak ramah lingkungan atau tidak hemat energi. Selain itu ekstraksi dan pengolahan beberapa bahan baku memiliki dampak lingkungan yang signifikan.

Empat strategi solusi berkelanjutan dapat berkontribusi untuk meningkatkan keamanan pasokan untuk bahan baku inidi masa

depan. Kegiatan ini secara kolektif dikenal sebagai '4Rs' yaitu: *reduce*/kurangi – kurangi penggunaan bahan untuk menghasilkan efek produk yang sama; *reuse*/gunakan kembali – memulihkan material untuk menghasilkan efek yang sama berulang kali, *recycle*/daur ulang untuk memulihkan material untuk diproses kembali tanpa kehilangan nilainya, *replace*/ganti-ganti dengan material, proses, teknologi atau model bisnis yang memberikan efek yang sama atau lebih baik (Woinaroschy, 2016).

Setiap solusi baru juga harus mengurangi dampak lingkungan secara keseluruhan dan aman bagi pengguna dan konsumen. Semua solusi ini memerlukan kimia yang berkelanjutan untuk mencapainya dan akan berkontribusi pada kepastian pasokan bahan baku pada jangka menengah hingga jangka panjang. Solusi ini juga akan meningkatkan efisiensi sumber daya dan mengembangkan area bisnis baru misalnya proses daur ulang yang canggih. Industri kimia sedang mengembangkan teknologi baru untuk ekstraksi bahan baku yang lebih efisien dan sehingga dicapai penggunaan dan daur ulang bahan yang paling efisien. Solusi itu juga berbentuk pengembangan bahan pengganti dan teknologi alternatif untuk sektor industri dan sektor lain. Kota cerdas harus, secara bersamaan dan drastis, memperbaiki sumber daya dan meningkatkan efisiensi energi, serta sekaligus secara drastis mengurangi dampak lingkungan dari berbagai kegiatan pengelolaan kota. Kita semua perlu "berbuat lebih banyak - dan lebih baik - dengan sumber daya yang lebih sedikit" dan kimia akan menjadi alat utama untuk ini (Royal Society of Chemistry, 2009).

Cara Ilmu dan Teknologi Kimia mencapai pengembangan kota cerdas adalah dengan menemukan konsep dan bahan baru yang harus dikembangkan untuk energi (sumber, penyimpanan, dan efisiensi) dalam pembangunan berkelanjutan dan mobilitas perkotaan. Bahan baru yang diperlukan untuk kehidupan cerdas harus memiliki memiliki sifat baru untuk dimanfaatkan pada teknologi lingkungan seperti sistem pemanas dan pendingin dengan efisiensi tinggi, transportasi perkotaan, dan pengelolaan air. Lebih khusus lagi diperlukan teknologi yang dengan mudah dan efektif memperbaiki efisiensi energi dari sistem pada perumahan atau gedung yang sudah ada.



Pada sistem perumahan atau gedung yang sudah ada, maka sektor konstruksi dan transportasi merupakan sektor penting dalam mencapai kota cerdas. Sistem yang digerakkan oleh proses kimia berperan aktif untuk meningkatkan keberlanjutan pada bidang konstruksi dan transportasi. Bahan yang dibuat oleh industri kimia yang inovatif seperti insulasi, perekat dan *sealants* berperan penting dalam proses konstruksi (Bax, *et al.*, 2013). Kimia adalah kunci bagi sistem energi baru dan produksimaterial baru yang ringan yang dapat mengubah mobilitas perkotaan dan teknologi sekitar yang dapat memerangi polusi.

## **PENUTUP**

Artikel ini meninjau cara mencapai kota cerdas dari sisi Ilmu dan Teknologi Kimia, dengan memperhatikan sistem pengelolaan air yang menerapkan teknologi membran untuk nanofiltrasi dan reverse osmosis untuk segi kimia dan penerapan biopori untuk segi fisika. Selanjutnya dibahas mengenai pembuatan dan pemanfaatan materi untuk infrastruktur seperti cat interior dan exterior yang memiliki daya pantul tinggi dan rendah kandungan *volatile organic compound*, busa dan *phase change material* pelapis dinding sehingga dapat menghemat energi untuk pendinginan atau pemanasan ruang. Untuk bahan bangunan ramah lingkungan juga diusulkan bahan dari alam seperti timbercrete dan hempcrete, disamping bahan daur ulang seperti ashcrete, ferrock, dan plastik daur ulang.

Kemudian dibahas mengenai peranan Ilmu Kimia dalam pengembangan interior dan eksterior alat transportasi yang ramah lingkungan, antara lain mengurangi bobot kendaraan dengan mengurangi penggunaan baja dan menggantikannya dengan *fibre-reinforced plastic*, serta pemanfaatan elastomer untuk pelapis interior kendaraan yang dapat berindak sebagai insulasiterhadap kebisingan dan cuaca.

Setelah itu dibahas cara mengurangi konsumsi energi untuk ruang dengan memanfaatkan insulasi dari poliuretan, cairan pemindah panas yang menggantikan gas pendingin yang berbahaya bagi lingkungan seperti freon, serta materi untuk membuat solar sel untuk

sumber listrik alternatif. Untuk pengelolaan limbah diusulkan untuk melakukan kombinasi antara teknologi reaktor fermentasi kontinyu untuk sampah organik yang dapat menghasilkan gas metana yang dapat digunakan untuk pembakaran sampah pada teknologi gasifikasi atau pirolisis, sehingga kombinasi teknologi ini sejauh mungkin mencapai *green and zero waste*.

Strategi konsumsi bahan mentah yang dianjurkan agar tidak ada sampah yang mengotori lingkungan dan menjamin keberlangsungan pasokan materi bahan baku adalah 4Rs, *reduce, reuse, recycle, dan replace*. Prinsip Kimia Hijau juga diterapkan pada pembuatan dan pengolahan bahan mentah berdasarkan prinsip kimia hijau yang berkelanjutan.

Agar ramah lingkungan, kompetitif secara ekonomi dan tetap menarik untuk ditinggali, kota cerdas perlu mengurangi total konsumsi energi, meningkatkan penggunaan energi terbarukan, menyesuaikan infrastruktur fisik dan komunikasi, menemukan solusi untuk masalah mobilitas dalam kota - khususnya mobilitas pribadi - dan memperbaiki kondisi pendidikan dan kerja.

## DAFTAR PUSTAKA

- Albino, V., Berardi, U., and Dangelico, R. M. (2015). Smart cities: definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of Urban Technology*, 22 (1), 3–21.
- Anastas, P. T., and Warner, J. C. (1998) *Green chemistry: theory and practice* Eds. Oxford University Press: Oxford, UK.
- Andang, I. S. (2011). Tantangan pengelolaan air di kota (Dimuat di majalah *Warta Konsumen*). Diunduh dari <http://ylki.or.id/2011/09/tantangan-pengelolaan-air-di-kota/> pada 6 September 2017
- Anonimous (2017). Elastomer. Diunduh dari <http://www.wisegeek.com/what-are-elastomers.htm> pada 20 Juni 2017
- Bagher, A. M., Vahid, M., Mahmoud, A., Mohsen, M. (2015). Types of solar cells and application. *American Journal of Optics and Photonics*. 3 (5), 94-113.
- Barus, H. (2017). Pemerintah dorong penerapan konsep smart city. Diunduh dari <http://www.industry.co.id/read/8809/pemerintah-dorong-penerapan-konsep-smart-city> pada 6 September 2017
- Bax, L., Cruxent, J., Komornicki, J. (2013). Innovative chemistry for energy efficiency of building in smart cities. Brussel-Belgia: SusChem - European Technology Platform for Sustainable Chemistry. Diunduh dari [www.suschem.org/files/library/Publications/CEEBCS.pdf](http://www.suschem.org/files/library/Publications/CEEBCS.pdf) pada 20 Juni 2017
- Calvillo, C.F., Sanchez-Miralles, A., and Villar, J. (2016). Energy management and planning in smart cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 273-287

Chaoyi, B. (2010). *Design of advanced reverse osmosis and nanofiltration membranes for water purification* – A Dissertation (Submitted for the degree of Doctor of Philosophy in Materials Science and Engineering in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois).

Cefic - The European Chemical Industry Council. (2011). Tomorrow starts with chemistry: innovation for sustainable, smart, and inclusive Europe. Brussel: Belgia. Diunduh dari [www.suschem.org/files/.../Tomorrow-starts-with-Chemistry.pdf](http://www.suschem.org/files/.../Tomorrow-starts-with-Chemistry.pdf) pada 20 Agustus 2017

Dhage, S. D. (2013). Applications of green chemistry principles in every day life. *International Journal of Research in Pharmacy and Chemistry*. Retrieved from <http://www.ijrpc.com/files/01-346.pdf> 16/03/2016

Dow (1997). Dowtherm G heat transfer fluid (Product technical data). Diunduh dari [http://msdssearch.dow.com/Published Literature DOWCOM/dh\\_0032/0901b803800325da.pdf?filepath=/heattrans/pdfs/noreg/176-01353.pdf&fromPage=GetDoc](http://msdssearch.dow.com/Published Literature DOWCOM/dh_0032/0901b803800325da.pdf?filepath=/heattrans/pdfs/noreg/176-01353.pdf&fromPage=GetDoc) pada 20 Juni 2017

Eickhout, B. (2012). *A Strategy for a bio-based economy*, Based on A study by Jonna Gjaltema and Femke de Jong. This report was published for the Greens/EFA Group by The Green European Foundation – Brussels, Belgium. Diunduh dari [http://gef.eu/wp-content/uploads/2017/01/A\\_strategy\\_for\\_a\\_bio-based\\_economy.pdf](http://gef.eu/wp-content/uploads/2017/01/A_strategy_for_a_bio-based_economy.pdf) pada 20 Juni 2017

Innovation for a sustainable, smart and inclusive Europe. [www.suschem.org/files/.../Tomorrow-starts-with-Chemistry.pdf](http://www.suschem.org/files/.../Tomorrow-starts-with-Chemistry.pdf). Retrieved 8/5/2017

International Bank for Reconstruction and Development-The World Bank. (2015). *Water supply and sanitation in Indonesia turning finance into service for the future (Service Delivery Assessment)*.

Diunduh dari <https://www.wsp.org/sites/wsp.org/files/publications/WSP-Indonesia-WSS-Turning-Finance-into-Service-for-the-Future.pdf> pada 20 Juni 2017

Jenis septic tank yang sebaiknya anda pilih untuk rumah minimalis anda. Diunduh dari <http://www.diminimalis.com/jenis-septic-tank/> pada 20 Juni 2017

Joga, N. (2008). Bangunan hijau, hemat dan ramah lingkungan. Kompas.com - 29/05/2008, Diunduh dari <http://nasional.kompas.com/read/2008/05/29/14062635/bangunan.hijau.hemat.dan.ramah.lingkungan> pada 27 Juni 2017

Kardha, M. M. (2009). Ini lho, cara pilih cat yang aman. Diunduh dari Kompas.com - 07/09/2009 <http://properti.kompas.com/read/2009/09/07/08393813/ini.lho.cara.pilih.cat.yang.aman> pada 20 Agustus 2017.

Kosasih, D. (2016). Sebelas macam bahan bangunan yang lebih hijau dibanding beton. 22 Juli 2016, Diunduh dari <http://www.greeners.co/ide-inovasi11-macam-bahan-bangunan-lebih-hijau-dibanding-beton/11/> pada 5 Agustus 2017

Maharani, D. (2015). Menurunkan penyakit dengan limbah ramah lingkungan. <http://nationalgeographic.co.id/berita/2015/12/menurunkan-penyakit-dengan-limbah-ramah-lingkungan>. Diunduh pada 20 Agustus 2017

Nurdin, F. A., Mulia, G. J. T., Rosyidah, B., Ishar, M., & Munir, M. (2015). Surabaya underground aqua project - Konsep pengelolaan air minum, air limbah, dan air hujan perkotaan di bawah tanah sebagai solusi permasalahan air di kota besar. Diunduh dari <artikel.dikti.go.id/index.php/PKMGT/article/download/493/493> pada 6 September 2017

- Prasetyono, A. P. (2017). Mengolah sampah perkotaan. Diunduh dari <http://www.dikti.go.id/mengolah-sampah-perkotaan/> pada 20 Juni 2017,
- Prihadi, S. D. (2016). Mencari standar definisi smart city. Diunduh dari <https://www.cnnindonesia.com/teknologi/20161130134019-185-176347/mencari-standar-definisi-smart-city/> pada 6 September 2017
- PureTemp. (2017). *Entropy solutions, global authority on phase change material*. Diunduh dari <http://www.puretemp.com/stories/understanding-pcms>, pada 28 Juni 2017.
- Royal Society of Chemistry. (2009). *Chemistry for tomorrow's world: A road map for chemical sciences*. Diunduh dari <http://www.rsc.org/globalassets/04-campaigning-outreach/tackling-the-worlds-challenges/roadmap.pdf> pada 20 Juni 2017
- Septic Tank Biotech: Sanitasi ramah lingkungan untuk rumah anda. Diunduh dari <http://www.diminimalis.com/septic-tank-biotech/> pada 20 juni 2017
- Sullivan, Ed. (2006). Polyurethane wall insulation slashes energy costs and presents important structural possibilities. Diunduh dari [http://www.awci.org/cd/pdfs/0106\\_d.pdf](http://www.awci.org/cd/pdfs/0106_d.pdf)
- Windhi. (2016). Ini kriteria standar smart city Indonesia. Diunduh dari <http://www.centroone.com/News/Detail/2016/12/16/13645/ini-kriteria-standar-smart-city-indonesia-> pada 6 September 2017
- Woinaroschy, A. (2016). Smart cities will need chemistry. *Scientific Bulletin of the "Petru Maior". University of Tîrgu Mures*, 13 (XXX) (1), 2016.