

PENERAPAN TEKNOLOGI TINGGI UNTUK PENGELOLAAN LIMBAH PADAT DI SINGAPURA

Sri Wahyono

Peneliti di Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta

Abstract

The application of high technology (hitech) for solid waste management and treatment in Singapore is one of examples of solving the municipal solid waste problem. Singapore with more than 4 million inhabitants produced 7676 ton wastes per day in 2001. Now, all the combustible solid wastes goes to the incinerator plant that can convert the heat into electricity. The ash from incinerator and the incombustible solid wastes are transported via waste harbour in Tuas to the Semakau off shore landfill. Also, before incinerating in the plant, the activities of collecting and transporting of municipal solid wastes are supported by such kind of new technologies for example pneumatic refuse transport system. The typical of the high technology is need high cost for building, operating and maintaining and should be operated by high skill staff. Singapore has all the need and also has a strong political will in combating the solid waste problems. So that, Singapore is one of the cleanest metropolitan cities in the world.

Kata Kunci : limbah padat, incinerator, pelabuhan sampah, TPA Semakau

1. PENDAHULUAN

Di abad ke-20 ini, teknologi telah merambah ke segenap sisi kehidupan manusia, termasuk di dalamnya teknologi untuk menangani permasalahan limbah padat. Teknologi yang digunakan untuk mengolah limbah padat perkotaan atau sampah -- mulai dari sitem pengumpulan, pengangkutan, pengolahan dan pembuangannya -- jenisnya bermacam-macam. Jenis-jenis teknologi tersebut biasanya spesifik tergantung dari jenis limbah yang diolahnya, seperti misalnya teknologi untuk menangani limbah padat organik berbeda dengan teknologi untuk menangani limbah plastik, limbah kertas, kaca, dsb. Dari setiap jenis teknologi juga berbeda-beda tingkatannya, ada yang berupa teknologi sederhana (*low tech*) sampai teknologi yang rumit dan modern, yakni teknologi tinggi (*high tech*).

Pemilihan jenis teknologi pengolahan limbah padat di suatu negara biasanya dipengaruhi oleh kemampuan finansial, sumber daya manusia (SDM), dan kondisi lingkungan setempat. Seperti yang akan diketengahkan dalam tulisan ini, Singapura sebagai negeri pulau, dengan kemampuan ekonomi dan SDM yang baik, memilih serangkaian jenis teknologi pengolahan sampah yang modern mulai dari teknologi

pengumpulan, pengangkutan, pengolahan dan pembuangan limbah padatnya.

Dalam tulisan ini dikupas berbagai jenis teknologi tinggi yang diterapkan oleh pemerintah Singapura untuk mengelola limbah padatnya.

2. SISTEM PENGOLAHAN LIMBAHPADAT SINGAPURA

Singapura adalah negara industri dengan wilayah seluas DKI Jakarta atau sekitar 650 km². Sebagai sebuah negeri yang memiliki luas sangat terbatas dengan jumlah penduduk lebih dari 4,6 juta jiwa⁽⁸⁾, Singapura sangat berhati-hati dalam merencanakan tata ruangnya agar penggunaan lahan bisa optimal seperti untuk tujuan perumahan, industri, komersial, rekreasi dan tempat pengolahan limbah padatnya.

Kelangkaan lahan dilihat dari kerangka tata ruang di Singapura merupakan faktor pembatas yang sangat penting, karena lahan yang diperlukan untuk tempat pembuangan akhir (TPA) sampah sangat luas sesuai dengan besarnya limbah yang diproduksi. Produksi limbah padat kota Singapura cukup besar yaitu sekitar 7600 ton perhari (pada tahun 2001), seribu ton lebih tinggi dari produksi sampah Jakarta. Jumlah tersebut adalah setara dengan gunung pasir seluas lapangan bola dengan tinggi sekitar 4 meter.

Dengan kemampuan finansial yang memadai, Singapura memutuskan untuk menggunakan incinerator dalam mengolah limbah padatnya karena incinerator dinilai sebagai metode yang sangat efektif dalam mereduksi volume limbah padat. Kemampuannya dalam mereduksi volume limbah padat dapat mencapai 90 persen. Dengan reduksi volume yang besar tersebut, umur TPA menjadi lebih panjang sampai 5 kali lipat dari umur sebenarnya⁽¹²⁾.

Dengan demikian sistem pengelolaan sampah di Singapura tidak sekedar kumpul, angkut dan buang seperti yang banyak dipraktekkan di kota-kota besar di Indonesia, tetapi sistemnya adalah kumpul, padatkan, angkut, bakar dan buang. Limbah padat dari berbagai sumber dikumpulkan, kemudian dipadatkan dan diangkut ke incinerator untuk dibakar. Sedangkan abu dari incinerator diangkut dan dibuang di TPA yang khusus dibangun di tengah laut.

Untuk efisiensi, panas yang dihasilkan dari pembakaran sampah tidak dibiarkan terbuang percuma, tetapi digunakan untuk pembangkit listrik. Sehingga dalam hal ini sampah diubah menjadi energi (*waste to energy*).

Untuk melaksanakan pengelolaan limbah padat dengan strategi tersebut tentu saja Singapura mengeluarkan biaya yang sangat besar, baik itu untuk kontruksi, operasi maupun pemeliharaan berbagai fasilitas penanganan limbah padatnya. Model pengelolaan sampah di Singapura tersebut mirip dengan sistem yang diterapkan di kota-kota besar Jepang.

3 PRODUKSI DAN KLASIFIKASIN LIMBAH PADAT

Selama tiga dekade terakhir, dimulai dari tahun 70-an, produksi limbah padat Singapura meningkat dua kali lipat setiap dekadanya. Pada tahun 1972 jumlah produksi limbah padat Singapura sekitar 1600 ton/hari, kemudian pada tahun 1982 dan 1992 meningkat menjadi sekitar 3200 ton/hari dan 6200 ton/hari secara berturut-turut⁽⁹⁾.

Peningkatan jumlah produksi limbah padat tersebut sejalan dengan meningkatnya industrialisasi, arus urbanisasi, pertumbuhan populasi dan standar hidup. Bahkan pada tahun 2001 produksi limbah padat Singapura mencapai 7676 ton/hari. Dari jumlah total sebesar itu, hanya sekitar 44,4% berupa limbah organik, sedangkan sisanya adalah limbah padat kertas (28,3%), plastik (11,8%),

Gelas (4,1%), Logam (4,8%) dan lain-lain (6,6%)⁽⁷⁾.

Dengan tingkat hidup yang lebih tinggi, kandungan limbah padat organik tersebut relatif lebih rendah dibandingkan dengan limbah padat organik di kota-kota besar di Indonesia yang berkisar 70%. Dengan rendahnya kandungan limbah organik, nilai kalor limbah juga meningkat sehingga cocok untuk dengan sistem pembakaran di incinerator.

Di Singapura, limbah padat diklasifikasikan dalam dua kelompok besar yaitu, limbah padat umum (*general waste*) dan limbah padat bukan umum (*non-general waste*). Limbah padat umum merupakan limbah yang tidak beracun dan tidak berbahaya yang terdiri atas limbah organik, anorganik, lumpur dan limbah padat hasil olahan. Sebaliknya, limbah padat bukan umum merupakan limbah yang beracun dan berbahaya.

Sesuai dengan sistem incinerator, selanjutnya untuk limbah padat umum dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu limbah yang dapat dibakar di incinerator (*incinerable waste*) dan limbah yang tidak dapat atau tidak boleh dibakar (*non-incinerable waste*)^(3, 10).

Limbah padat yang dapat di-incineratorkan adalah limbah yang dapat dibakar tanpa mencemari lingkungan dan tidak menyebabkan kerusakan fasilitas incinerator. Sebaliknya, yang dimaksud dengan limbah yang tidak dapat atau tidak boleh dibakar adalah limbah yang menimbulkan polusi dan kerusakan incinerator saat di bakar seperti PVC, bongkaran bangunan, limbah kimia, dsb.

Tidak seperti limbah umum, limbah bukan umum ditangani secara khusus sebelum dibuang karena beracun dan berbahaya. Penanganan khusus dilakukan mulai dari pengumpulan, pengangkutan dan pembuangannya. Pengelolaan limbah padat bukan umum dilakukan secara hati-hati demi keselamatan masyarakat dan lingkungan.

4. PENGUMPULAN DAN PENGANGKUTAN LIMBAH PADAT

Aktivitas awal dalam pengelolaan limbah padat adalah pengumpulan limbah dari sumbernya misalnya lokasi permukiman, pasar, daerah komersial, perkantoran, jalan, dan taman kota. Pengumpulan dan pengangkutan limbah padat di Singapura dilakukan setiap hari untuk menjamin kebersihan dan sanitasi kota. Pengumpulan limbah dilakukan dengan metoda

pengumpulan langsung (*direct collection*), pengumpulan tak langsung (*indirect collection*) dan sistem pneumatik (*pneumatic refuse transport systems*)^(9,10).

Metoda langsung diterapkan dalam pengumpulan limbah perumahan atau pertokoan yang berdiri di atas tanah pribadi. Truk angkut limbah mengangkut limbah dari rumah ke rumah (*door to door*). Wadah limbah biasanya ditempatkan di halaman rumah atau halaman toko pada tempat yang mudah dijangkau oleh pengangkut limbah.

Truk pengangkut limbah biasanya berupa truk kompaktor, yaitu truk yang dilengkapi dengan sistem *handling* yang dapat secara otomatis menumpahkan sampah dari wadahnya ke dalam truk. Kemudian setelah masuk ke dalam bak truk, sampah langsung dipadatkan sehingga volumenya menjadi berkurang. Dengan berkurangnya volume maka kapasitas angkut truk menjadi meningkat⁽⁵⁾.

Truk kompaktor seperti ini di beberapa kota besar di Indonesia pernah dioperasikan, hanya saja karena pemeliharaannya yang tidak baik, truk-truk tersebut sistem kompaksinya menjadi tidak berfungsi dan terjadi kebocoran bak akibat karat sehingga air dari pengepresan sampah menjadi tercecer sepanjang jalan.

Metode tak langsung diterapkan untuk apartemen, pemukiman atau gedung bertingkat. Di Singapura, metode ini meliputi dua sistem yaitu *centralised collection point* (tempat pengumpulan limbah terpusat) dan *centralised refuse chute* (pengumpulan limbah sistem *chute* terpusat)⁽¹⁰⁾.

Pada sistem *centralised collection point*, limbah yang berasal apartemen atau kondominium bertingkat, termasuk pasar, restoran dan kompleks pertokoan dikumpulkan dan diangkut dengan truk tertutup ke tempat pengumpulan limbah padat terpusat atau disebut juga *transfer station*. Ditempat tersebut tersedia kontainer besar atau kompaktor. Dari tempat tersebut limbah kemudian diangkut ke fasilitas incinerator. Fasilitas seperti ini ada di Jakarta yaitu di *transfer station* Cakung-Cilincing. Cara seperti itu dapat mengefisienkan transportasi sampah ke *plant* pembakaran sampah.

Sementara itu, pengumpulan limbah sistem *chute* terpusat umumnya dilakukan di apartemen bertingkat yang relatif baru. Lubang pembuangan limbah sistem *chute* diletakkan di dekat *lift lobby* setiap lantai. Lorong *chute* berakhir di lantai dasar berupa bak penyimpanan. Setiap penghuni kamar

dapat membuang sampahnya melalui lubang *chute*, dan sampah akan meluncur melalui lorongnya, kemudian sampah akan tertampung di bak penyimpanan. Dengan demikian penghuni atau petugas apartemen tidak perlu naik turun *lift* untuk membuang sampahnya. Bak penyimpanan tersebut dapat bergerak secara otomatis untuk melayani setiap blok. Sistem ini mencegah *double handling* dan mencegah penyebaran bau⁽¹⁰⁾.

Sementara itu dalam sistem *pneumatic refuse transport systems* limbah diangkut melalui jaringan pipa bawah tanah dengan cara disedot dengan pompa vakum menuju pusat pengumpulan limbah (*transfer station*). Di tempat tersebut limbah disimpan dan dipadatkan sebelum dibuang. Sistem ini lebih produktif dan higienis karena tidak ada *handling manual* dan transfer limbah. Saat ini sistem tersebut dipasang di beberapa rumah sakit, industri makanan, kondominium.

Tentu saja sistem *chute* dan *pneumatic* ini mahal dalam biaya instalasi, operasi, dan pemeliharaannya.

5 . INCINERATOR PEMBANGKIT LISTRIK

Limbah padat yang berasal dari sumbernya dan telah terkumpul di-*transfer station* diangkut ke *plant* incinerator atau pelabuhan sampah di Tuas. Saat ini Singapura memiliki empat incinerator berkapasitas besar dan modern. Incinerator pertama dioperasikan sejak tahun 1979 di Ulu Pandan dengan kapasitas 1.100 ton/hari, kedua di Tuas sejak tahun 1986 dengan kapasitas 1.700 ton/hari, ketiga di Senoko sejak tahun 1992 dengan kapasitas 2.400 ton/hari. Sedangkan incinerator yang paling akhir dioperasikan sejak tahun 2000 berada di Tuas Selatan. Incinerator tersebut merupakan incinerator yang paling lengkap dan modern dengan kapasitas paling besar di dunia yakni 3000 ton/hari^(9,11,13).

Pada tahun 2001, keempat incinerator tersebut telah berhasil membakar 2,55 juta ton sampah atau sekitar 91 % dari total sampah yang dihasilkan oleh Singapura. Dari sini sekitar 1.158 juta kWh listrik dihasilkan atau sekitar 2 sampai 3 % dari total listrik yang dihasilkan oleh Singapura. Sedangkan *scrap metal* (logam bekas) yang berhasil dikumpulkan sebanyak 24.000 ton^(1, 11, 13).

Dari hasil penjualan listrik, *scrap metal* dan *disposal fee* (tarif pembuangan limbah padat) dan sedikit subsidi pemerintah, beban biaya operasional dan pemeliharaan keempat incinerator tersebut dapat dipenuhi.

Biaya konstruksi, operasi dan pemeliharaan keempat incinerator tersebut tentu saja sangat mahal. Demikian pula dalam pengoperasian dan pemeliharanya memerlukan organisasi dan tenaga ahli yang profesional. Tanpa didukung oleh ketersediaan dana dan organisasi yang profesional dan punya komitmen yang tinggi, rasanya mustahil untuk mengaplikasikan teknologi tersebut secara berkesinambungan. Pembakaran sampah di sini tidak ubahnya merupakan sistem pembangkit listrik tenaga sampah dengan sistem kontrol yang rumit dan berteknologi tinggi⁽¹⁾.

Studi tentang penggunaan incinerator seperti itu pernah dilakukan juga di Jakarta pada tahun 1980-an oleh BPPT. Namun dari studi tersebut diketahui bahwa Jakarta belum siap untuk membangunnya, karena sistem pengumpulan dan pengangkutan sampahnya yang eksis saat itu belum dapat mendukung sistem incinerator. Sementara itu pembangunannya juga membutuhkan investasi yang besar yaitu sekitar Rp. 1,3 triliyun untuk pembangunan incinerator kapasitas 1000 ton perhari. Studi itu juga pernah dilakukan pada tahun 2002 oleh Mitsubishi. Namun karena kesulitan finansial, Pemprov DKI Jakarta belum dapat merealisasikan pembangunan incinerator besar.

Proses pembakaran limbah padat (incinerasi) secara garis besar sebagai berikut. Pertama-tama sampah dibawa ke *plant* incinerator dan ditampung di dalam bak penampung (*bunker*). Penampungan tersebut dimaksudkan untuk menjamin kontinuitas operasi incinerator. Sementara itu *bulky waste*, seperti cabang pohon dan furnitur bekas, dicacah menjadi serpihan kecil sebelum dicampur dengan sampah lainnya. Sampah yang telah bercampur di *bunker* kemudian dipindahkan ke bagian pembakaran (*furnace*) dengan ekskavator melalui corong masuk (*hopper*)⁽¹³⁾.

Pada awal proses incinerasi, bahan bakar minyak digunakan untuk memulai pembakaran sampah melalui alat pemicu api (*burner*). Sekali sampah dibakar dan temperatur *furnace* mulai stabil, proses pembakaran akan bekerja dengan sendirinya, dan pemberian bahan bakar minyak dapat dihentikan⁽¹³⁾.

Furnace incinerator dan pendidih air (*boiler*) di bangun secara terintegrasi. Sampah yang dibakar dicampur, diaduk dan dipindahkan oleh penggerak *grate* sistem

stoker. Temperatur normal di *furnace* sekitar 1000 °C⁽¹³⁾.

Udara pembakaran primer diambil dari *bunker* dan di pra-panaskan dengan sistem *air heat-exchanger* sehingga temperaturnya naik menjadi 200 °C, sebelum diintroduksi melalui bagian bawah permukaan *grate furnace*. Gas buang (*flue gas*) dengan temperatur tinggi dari proses pembakaran mengalir melalui ruang dimana tabung-tabung *boiler* menyerap panas sehingga dihasilkan uap super panas. *Flue gas* didinginkan sampai di bawah 600 °C sebelum masuk peralatan ketiga dimana tabung-tabung *superheater* ditempatkan⁽¹³⁾.

Setelah melalui *economizer tube-bundles*, *flue gas* didinginkan sampai dibawah 280 °C. *Flue gas* kemudian melewati *heat exchanger* yang lain menuju temperatur 180 °C. Kemudian *flue gas* masuk ke reaktor *dry lime* diikuti oleh *electrostatic presipitator* dan sistem *filter bag*. Filter bag didesain untuk menghilangkan 85% HCl dan 99.5% kandungan debu *flue gas*. *Flue gas* yang telah tersaring tersebut akhirnya dibuang ke atmosfer melalui cerobong asap setinggi 150 meter⁽¹³⁾.

Residu abu dari *furnace* di transportasi ke penampung abu oleh konveyor getar (*vibrating conveyor*). *Ferous metal* dipisahkan dengan magnet (*elektro magnetic separator*) dan dijual sebagai *scrap*. Sisa abu dikirim ke pelabuhan sampah di Tuas (*Tuas Marine Transfer Station, TMTS*)⁽¹³⁾.

Uap yang dihasilkan *boiler* dialirkan ke turbin, yang bersatu dengan generator untuk memproduksi listrik. Uap air di turbin diembunkan dengan *air-cooled condenser*. Generator disesuaikan dengan level listrik pembangkit listrik nasional. Setelah dipakai sendiri untuk *plant*, sekitar 75% listrik yang dihasilkan dijual melalui *grid via stop-up transformer*⁽¹³⁾.

6. TUAS MARINE TRANSFER STATION

Abu yang berasal dari incinerator dan limbah padat lainnya pada akhirnya dibuang ke TPA Semakau. Oleh karena TPA tersebut berada di lepas pantai maka material tersebut dibawa ke pelabuhan lebih dahulu.

Tuas Marine Transfer Station (TMTS) merupakan pelabuhan transit sampah Singapura. Seperti layaknya sebuah pelabuhan, di TMTS terdapat tempat untuk menambatkan kapal tongkang (*barge*) sampah dan fasilitas bongkar-muat. TMTS

terletak di pantai Tuas Selatan, sebelah baratdaya Singapura, sebuah daratan yang diurug dengan pasir dari Kepulauan Riau. TMTS terletak bersebelahan dengan Incinerator Tuas Selatan (TSIP).

TMTS memiliki area seluas 7 hektar, di dalamnya terdapat *hall* tertutup tempat menambatkan *barge*. Dua *barge* dengan kapasitas 3500 m³ dapat ditambatkan dalam waktu yang bersamaan. Salah satu sisi tempat penambatan *barge* dibuat lebih tinggi dari permukaan *barge* dan menjorok ke tengah sehingga sampah yang dibongkar dari *dump truck* dapat langsung jatuh ke bagian tengah *barge*. *Hall* tempat pembongkaran sampah dapat memuat 20 truk secara berjejer sekaligus. Sedangkan di sisi lainnya terdapat ekskavator yang digunakan untuk meratakan muatan *barge*⁽⁹⁾.

TMTS dibuat tertutup untuk menghindari angin yang dapat menerbangkan sampah selama aktifitas pengisian *barge*. TMTS juga dilengkapi dengan fasilitas jembatan timbang yang digunakan untuk memantau jumlah sampah yang dibuang ke *barge*. Fasilitas jembatan timbang tersebut juga digunakan bersama-sama untuk memantau jumlah sampah yang masuk ke TSIP.

Kontrak pembangunan TMTS dilaksanakan bersama-sama dengan pembangunan *Landfill* Semakau dengan total biaya pembuatan Sing\$ 610.000.000. Biaya konstruksi TMTS sendiri sebesar Sing\$ 80.950.000, sedangkan untuk pembelian *barge* dan *tug* memakan dana sebanyak Sing\$ 37.093.000⁽⁹⁾.

Barge yang telah penuh dengan muatan limbah padat kemudian ditarik dengan *tugboat* menuju TPA Semakau yang berjarak sekitar 25 km dari TMTS. Pelayaran dilakukan pada malam hari untuk menghindari lalu lintas kapal yang padat⁽⁹⁾.

7. TPA SEMAKAU

Dengan demikian seluruh limbah padat Singapura yang tidak termanfaatkan kembali dan abu dari incinerator pada akhirnya dibuang di TPA. Sebelum bulan April 1999, pembuangan limbah padat Singapura dilakukan di TPA Lorong Halus yang terletak di kawasan pantai berawa bagian timur laut Singapura. Namun setelah TPA tersebut ditutup, pembuangan limbah padat dilakukan di TPA Semakau.

TPA Semakau adalah termasuk TPA yang tidak lazim, karena lokasi pembangunannya berada di tengah laut. TPA lepas pantai tersebut dibangun karena kelangkaan lahan di daratan Singapura,

dengan menggabungkan dua pulau kecil yang terletak di sebelah selatan Singapura. Dua pulau yang digabungkan tersebut bernama Pulau Semakau dan Pulau Sekang. Sesuai dengan nama pulau tersebut, TPA itu kemudian dinamakan TPA Semakau.

TPA Semakau luas totalnya sekitar 350 ha (tiga kali lebih luas dari TPA Bantargebang) dengan kapasitas tampung sampah sebesar 63 juta m³. Dengan kapasitas tersebut, TPA Semakau diperkirakan dapat menampung sampah Singapura sampai 30 atau 40 tahun mendatang⁽¹²⁾.

Untuk menciptakan ruang TPA, sebuah lingkaran tanggul sepanjang 7 km terbuat dari batu dan pasir dibangun untuk menutup bagian timur Pulau Semakau dan Pulau Sakeng. Untuk membangun tanggul sepanjang itu dibutuhkan jutaan meter kubik batuan dan pasir. Material tersebut tentu saja berasal dari kepulauan Riau, seperti untuk TMTS⁽¹²⁾.

Tanggul tersebut dilapisi dengan lapisan membran *impermeable* dan lapisan lempung untuk mencegah keluarnya lindi ke perairan sekitarnya, sehingga pencemaran lingkungan dapat dicegah. Lindi yang berasal dari TPA tersebut ditampung dan diolah di unit pengolahan limbah cair yang terletak di dalam area TPA itu sendiri⁽¹²⁾.

Di TPA Semakau juga terdapat pelabuhan sampah seperti TMTS yang berfungsi sebagai tempat pembongkaran sampah dari kapal. Limbah padat dari kapal tongkang dibongkar dengan ekskavator dan dimasukkan ke dalam truk berkapasitas 35 ton untuk dibawa ke area landfill. Di area tersebut limbah padat dibongkar, kemudian diratakan dan dipadatkan dengan buldozer.

TPA Semakau mulai resmi digunakan pada 1 April 1999 untuk menampung seluruh sampah Singapura yaitu sampah *non-incinerable* dan abu dari empat incinerator yang beroperasi di Singapura.

Untuk membangun TPA Semakau dan fasilitas pendukungnya termasuk *Tuas Marine Transfer Station* Pemerintah Singapura menghabiskan biaya yang sangat besar yaitu sekitar Sing\$ 610.000.000⁽¹²⁾.

TPA Semakau pada dasarnya merupakan duplikasi dari TPA lepas pantai yang berada di Tokyo, Jepang. Kota Tokyo memiliki TPA lepas pantai bernama Outer Central Breakwater dan kemudian disebelahnya dibangun lagi TPA New Sea Surfce yang berkapasitas 120 juta meter kubik.

Bila penuh nanti, TMTS merupakan pulau baru yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai

keperluan. TMTS tidak seperti TPA-TPA yang lain yaitu tidak menimbulkan gas yang berbau dan relatif stabil karena *input* limbah yang masuk berupa material *inert* seperti abu dan bongkaran bangunan.

8. Penutup

Dari uraian di atas terlihat dengan jelas bahwa jenis-jenis teknologi tinggi yang digunakan dalam pengelolaan sampah Singapura antara lain berupa *transfer station*, sistem *pneumatic-chute*, incinerator pembangkit listrik, Pelabuhan Sampah Tuas, TPA Semakau, dan peralatan-peralatan pendukungnya. Untuk pengadaan peralatan-peralatan seperti itu mulai dari pembangunan, pengoperasian dan pemeliharannya dibutuhkan sumberdaya yang mendukungnya.

Berbekal kemampuan finansial, SDM, dan *political will*⁽⁴⁾ yang kuat saat ini Singapura dapat secara tuntas menangani permasalahan limbah padatnya sehingga jadilah Singapura sebagai salah satu kota metropolitan yang paling bersih (*clean*) di dunia.

Bersamaan dengan itu masyarakat Singapura juga giat dalam melakukan gerakan penghijauan dengan penanaman dan perawatan tanaman di setiap penjuru kota. Konservasi terhadap hutan kota juga dilaksanakan secara disiplin sehingga tercipta suasana kota yang sejuk dan hijau (*green*)^(4, 6).

Dengan pengelolaan limbah padat dan penghijauan kota yang terencana dan profesional, tak pelak lagi, saat ini kawasan perkotaan di Singapura merupakan salah satu kawasan yang bersih dan hijau, cocok dengan semboyan: "*Singapore, Clean and Green!*"

DAFTAR PUSTAKA

1. *Tuas South Incineration Plant Republic of Singapore*. Mitsubishi Heavy Industries Ltd.
2. *Semakau Landfill and Tuas Marine Transfer Station*. National Environment Agency Singapore.
3. *Code of Practice for Licensed General Waste Collectors*. Ministry of the Environment Singapore.
4. Cheong, A. *Environmental Education Programmes on Solid Waste Management in Singapore*. Workshop on Solid Waste Management. Singapura, 15 – 26 Juli 2002
5. Chiang, A.C. *Licensing and Control of Waste Collectors and Corporatisation of Solid Waste Collection*. Workshop on Solid Waste Management. Singapura, 15 – 26 Juli 2002
6. Goh, S. *Legislation on Solid Waste Management*. Workshop on Solid Waste Management. Singapura, 15 – 26 Juli 2002
7. Pak, Y.S. *Waste Minimisation and Recycling Programmes in Singapore*. Workshop on Solid Waste Management. Singapura, 15 – 26 Juli 2002
8. Republika, Kamis 8 Januari 2004
9. Seng, T.K. *Solid Waste Disposal in Singapore*. Workshop on Solid Waste Management. Singapura, 15 – 26 Juli 2002
10. Simon, J.J. *Solid Waste Collection in Singapore*. Workshop on Solid Waste Management. Singapura, 15 – 26 Juli 2002
11. Theo, V. *Briefing on Planning and Development of Tuas South Incineration Plant*. Workshop on Solid Waste Management. Singapura, 15 – 26 Juli 2002
12. Theo, V. *Discussion on the Design and Implementation of the Pulau Semakau Offshore Landfill Project*. Workshop on Solid Waste Management. Singapura, 15 – 26 Juli 2002
13. Yap, I. *Briefing on the operation and maintenance of the Incineration Plant*. Workshop on Solid Waste Management. Singapura, 15 – 26 Juli 2002