

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

A. Industri Kemasan Kosmetik

Pada sektor-sektor strategis, industri kemasan plastik mempunyai peran yang sangat penting seperti pada industri elektronik, farmasi, makanan, dan kosmetik. Plastik merupakan polimer rantai karbon yang mengikat hidrogen dan atau tanpa oksigen, nitrogen, klorin, belerang dengan rantai panjang atom yang saling mengikat satu sama lain membentuk beberapa unit molekul berulang dari monomer yang sama maupun dari monomer yang berbeda.

Pengolahan plastik menggunakan beberapa metode meliputi *injection molding*, *blow molding*, *thermoforming*, pencetakan transfer, injeksi cetakan reaksi, cetakan kompresi, dan ekstrusi. Pada industri kemasan kosmetik kecantikan menggunakan metode *injection molding* yaitu teknik manufaktur yang digunakan untuk membuat bagian-bagian produk berbahan dasar plastik. Proses pembuatannya yaitu biji plastik dipanaskan dan disuntikan ke dalam cetakan yang telah didesain dengan tekanan tinggi. Bahan yang digunakan untuk cetakan biasanya terbuat dari alumunium atau baja. Jenis-jenis plastik yang ada dipasaran dan sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari adalah *PE (Poly Ethylene)*, *PP (Poly Propylene)*, *PS (Poly Styrene)*, *PET (Poly Ethylene Therephtalate)*, *PVC (Poly Vinyl Chloride)*. Sejak tahun 1950 jumlah polimer sintetik yang diproduksi telah meningkat secara eksponensial dan lebih cepat daripada pertumbuhan ekonomi global, yang menimbulkan masalah serius bagi satwa liar dan lapisan tanah dimasa depan (Gross, 2017).

Tahap-tahap produksi dalam industri plastik yaitu pelunakan dengan teknik pemanasan, pembentukan dengan tekanan pada cetakan yang telah dialirkan biji plastik, dan pemadatan pada akhir produk. Konsumsi plastik di masyarakat makin meningkat melebihi konsumsi besi dan baja dalam kehidupan sehari-hari, alasannya adalah plastik lebih ringan dan tahan korosi, harga lebih ekonomis, penggunaan energi pada proses produksi lebih rendah, dan dipergunakan sebagai bahan habis pakai atau pengemas makanan dan barang. Pada industri plastik kemasan kecantikan yang digunakan adalah jenis polimer komersial seperti polietilen, polipropilen, dan polistiren. Keunggulan dari plastik jenis ini adalah mampu bersaing dengan logam, keramik dan gelas, umur pemakaian panjang dan tahan lama, serta unggul sifat mekaniknya, tetapi jenis plastik ini secara ekonomi sangat mahal. Teknik produksi industri kemasan plastik kecantikan meliputi teknik injeksi, *decorating (coating/ printing/ stamping)*, perakitan, dan pengemasan. Pada saat proses injeksi ditambahkan zat aditif seperti zat pewarna sesuai dengan desain warna yang dibutuhkan, sedangkan untuk identitas dan pelabelan dilakukan dekorasi dengan teknik *printing stamping* dan *coating* menggunakan cat dan pelarut minyak atau air. Limbah yang dihasilkan dari proses pembuatan kemasan ini termasuk ke dalam kategori limbah berbahaya dan beracun (B3) dan sebagian berupa limbah non B3. Limbah padat berupa kemasan produk yang gagal, sisa bahan baku dan bahan penunjang yang telah terkontaminasi cat serta pigmen untuk pewarnaan produk. Oli bekas, *thiner* dan pembersih produk merupakan limbah berbahaya dan beracun berbentuk cair, sedangkan limbah B3 berbentuk gas berasal dari uap material resin yang meleleh, uap *thiner* dan cat pada proses dekorasi (*UV coating dan printing stamping*). Selama fase injeksi bahan plastik dituangkan ke dalam mesin pemanas injeksi masuk ke

dalam silinder didorong oleh *screw* dan diteruskan kedalam cetakan untuk ditekan (*pressing*) dibentuk sesuai pola yang diinginkan. Pada saat itulah timbul uap yang mengandung limbah B3 yang terlepas ke udara (Ocel *et al.*, 2017).

Del Borghi *et al.* (2018) menyatakan bahwa sistem botol kemasan kaca yang digunakan kembali menjadi sistem yang paling ramah lingkungan dibandingkan dengan botol kaca sekali pakai, kaleng aluminium, dan kaleng baja. Dengan ketatnya peraturan di bidang lingkungan, beberapa industri kemasan beralih dari kemasan kaca ke bahan kemasan *biodegradable* yang ekonomis dan layak pakai. Biopolimer seperti seperti kitosan, gelatin telah muncul sebagai bahan baku alternatif yang efektif untuk bahan kemasan plastik.

Siracusa *et al.* (2018) menerangkan bahwa pemakaian plastik terbanyak pada industri kemasan makanan dengan volume mendekati 50% dari pemakaian kemasan secara keseluruhan. Pemakaian plastik pada industri makanan didasarkan karena sifatnya yang ringan, fleksibilitas tinggi, kekuatan bahan, transparan, kedap air, dan kemudahan sterilisasi. Konsumsi besar-besaran plastik pada berbagai industri dan kemasan ini mengakibatkan timbulan limbah yang terus menerus dengan meninggalkan jejak lingkungan yang cukup berarti.

B. Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)

Limbah adalah segala sesuatu yang disingkirkan, dibuang, diabaikan dan tidak diinginkan atau materi yang tidak terpakai. Materi tersebut tidak untuk dijual, didaur ulang, diproses ulang, diperbaiki, atau dimurnikan oleh kegiatan terpisah yang memproduksi materi tersebut. Limbah berbahaya adalah limbah yang memiliki potensi

bahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Limbah berbahaya dapat berupa cairan, zat padat, atau gas dan merupakan hasil sampingan dari proses manufaktur, pembuangan barang bekas, atau pembuangan produk komersial yang tidak terpakai, seperti cairan pembersih (pelarut) atau pestisida (EPA, 2009).

Menurut Peraturan Pemerintah (PP) No 101 Tahun 2014, limbah B3 adalah sisa dari suatu kegiatan usaha yang mengandung B3, sedangkan B3 adalah energi zat atau komponen lainnya karena sifat dan konsentrasinya dapat merusak, mencemari dan membahayakan lingkungan hidup. Limbah B3 tidak dapat dibuang ke lingkungan seperti sampah biasa pada tempat pembuangan sampah, sebaliknya harus melewati pengelolaan limbah B3 terlebih dahulu. Sebelum dilakukan pengelolaan wajib diketahui karakteristik dari limbah B3 yang akan dikelola. Karakteristik limbah B3 meliputi:

1. Mudah meledak (*Explosive*)
2. Mudah terbakar (*Ignitability*)
3. Korosif (*Corrosivity*)
4. Reaktifitas (*Reactivity*)
5. Infeksius (*Infectious*)
6. Beracun (*Toxicity*).

Limbah industri yang dibuang ke lingkungan tanpa pengelolaan mencemari air, tanah, dan udara, dan juga mengakibatkan risiko kesehatan bagi manusia dan lingkungan (Purwanto, 2013). Limbah yang berasal dari kawasan pabrik, manufaktur, industri kecil, industri perumahan berupa limbah padat dan cair serta gas disebut dengan limbah industri.

Menurut Nurhayati (2013) limbah industri dibagi menjadi:

1. Limbah cair

Berasal dari buangan padat, bahan buangan organik dan anorganik yang mencemari air

2. Limbah padat

Hasil buangan industri berbentuk padatan, lumpur dan bubur. Salah satunya hasil buangan dari industri gula, kertas, ikan dan daging.

3. Limbah gas dan partikel

Karbon monoksida (CO), Nitrogen (NO_x), Hidrocarbon (HC) dan Sulfur Oksida (SO_x) merupakan pencemar primer yang memberikan sumbangan pencemar udara global sebesar 90%, sedangkan CO₂, kabut asap, hujan asam, metana dan CFC merupakan pencemar sekunder. Pencemar sekunder adalah berubahnya pencemar primer menjadi bentuk pencemar yang lain.

C. Limbah Cat Industri Kemasan Kosmetik

Limbah cat yang berasal dari kegiatan industri dikategorikan sebagai limbah B3 di antaranya berupa lumpur cat (*paint waste/paint sludge*). Limbah cat pada industri kemasan plastik untuk kemasan kosmetik kecantikan berasal dari proses *UV coating*, yaitu proses pelapisan produk menggunakan cat yang telah diencerkan dengan pelarut. Produk disemprotkan dengan menggunakan *spray gun* didalam *spray booth*, produk dipasang pada *jig* di atas *conveyor* yang berjalan, dan selama proses pelapisan tidak semua cat menempel pada produk. Beberapa tercecer jatuh dalam bak penampungan/kanal UV, sebagian dilakukan proses penarikan keluar menuju ke cerobong yang

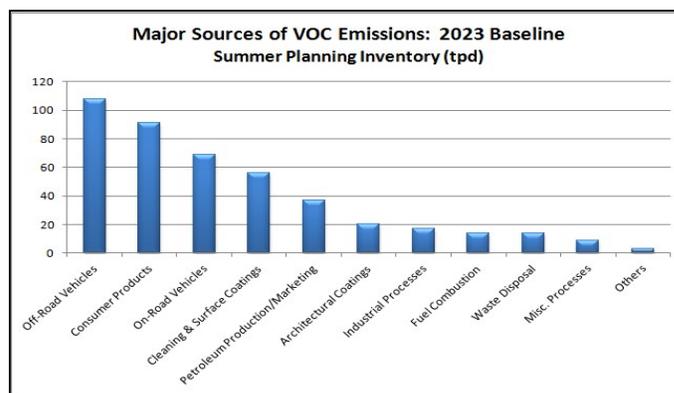
berpotensi untuk menimbulkan emisi udara. Cat yang jatuh di bak penampungan dan yang terperangkap pada filter karbon dinamakan limbah cat/ *paint sludge*. Produk yang jatuh dan terkontaminasi dengan limbah cat akan meningkatkan volume limbah. Aktivitas pembersihan dan perawatan mesin merupakan aktivitas yang memiliki risiko tinggi bagi pekerja, jika pekerja terpapar limbah cat tanpa alat pelindung diri yang memadai maka akan mengakibatkan kecelakaan kerja seperti iritasi pada kulit sampai dengan luka bakar.

Berdasarkan *material safety data sheet (MSDS)* dari Hanjin Chemical sebagai produsen cat pelapis, komposisi cat yang digunakan sebagai pelapis adalah *Photoinitiators, Modified Acrylic Oligomers, Acrylic Monomers, Toluene, Ethyl Acetate, Additives*, dan *Xylenes, Polyisocyanate, Acryl Urethane Resin, Methyl Ethyl Keton, UV Curing Resin, Propylene Glycol Methyl Ether, Propylene Glycol Methyl Ether Acetate, Methyl Isobutyl Keton, Ethyl Benzene, Methyl Penthanone. Acetic Acid Ethyl Ester*. Bahan-bahann tersebut sebagian merupakan bahan yang dikategorikan sebagai bahan berbahaya dan beracun (B3).

Limbah berupa lumpur dari cat yang mengandung pelarut organik bersumber dari proses pelapisan pada industri manufakturing dan bersifat korosif. Berdasarkan PP No.101 Tahun 2014, limbah cat termasuk kedalam kategori limbah B3 dengan kode A325-2. Limbah cat pada umumnya mengandung senyawa *principle organic hazardous constituents* (POHCs) antara lain tetrakloroetilena, toluena, dikloropropana, dan karbon tetraklorida, sehingga untuk dilakukan pengelolaan perlu diketahui bahan penghancur dan penghilangnya, karena pada saat ini hanya dilakukan pengelolaan secara termal yaitu pembakaran pada incinerator yang menghasilkan emisi udara. (PP No.101 Tahun 2014)

Limbah cat yang mengandung toluen dan benzen berpotensi mengakibatkan gangguan kesehatan manusia, juga mengganggu keseimbangan lingkungan. Toluene dan benzen sebagai senyawa organik yang mudah menguap, mudah terbakar dan bersifat toksik serta kronik.

Pada tahun 2023 EPA memprediksi di Amerika, keberadaan limbah cat dan berbagai jenis bahan lainnya yang sejenis menyumbang setidaknya 10 kali lebih besar dari sekarang. Pemakaian cat di Indonesia yang berbasis minyak dengan menggunakan pelarut yang merupakan sumber VOC jika terlepas ke lingkungan memiliki kadar yang tidak aman belum mendapatkan perhatian serius dari pemerintah dan pengawasannya pun tidak aman.



Gambar 2.1 Jenis-jenis sumber VOC

Keadaan darurat limbah cat yang terjadi pada industri dan memerlukan penanganan yang tepat agar tidak mengakibatkan risiko bagi kesehatan dan lingkungan dapat berupa:

1. Tumpahan

Tumpahan dapat mengakibatkan pelepasan cairan atau uap yang mudah terbakar dan menciptakan bahaya ledakan api atau gas, dan pelepasan cairan atau uap

beracun. Tumpahan dapat terserap di tempat dan berpotensi mencemari air tanah disebabkan kontaminasi akuifer. Tumpahan yang tergenang dapat mengkontaminasi tanah dan air permukaan.

2. Kebakaran

Api kebakaran cat dan limbah cat dapat menyebabkan pelepasan asap beracun. Api yang menyebar pada limbah yang lain di lokasi yang sama akan menyebabkan kebakaran lanjut dan peledakan akibat panas. Api dapat menyebar di luar lokasi kebakaran, sehingga perlu pemadaman dengan penggunaan air atau penstabil api jenis kimia yang juga dapat mengkontaminasi lingkungan.

3. Ledakan

Suatu ledakan cat dan limbah cat dapat terjadi dan menimbulkan bahaya karena terjadinya *flying fragments or shock waves* yang memicu ledakan lain dan pelepasan bahan beracun.

D. Kebijakan Pengelolaan Limbah B3

Pengelolaan lingkungan yang dilakukan dengan baik dapat mengurangi risiko pencemaran. Faktor penyebab terjadinya pencemaran lingkungan ini umumnya adalah kegiatan-kegiatan yang dilakukan oleh manusia. Pengurangan pencemaran lingkungan atau mencegah bertambah parahnya pencemaran lingkungan dapat dilakukan dengan pengelolaan limbah bagi pencemaran yang disebabkan aktivitas industri. Strategi pengelolaan limbah tersebut mempertimbangkan hirarki pengelolaan limbah, yang tercantum pada European Waste Directive dan terintegrasi pada filosofi Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) sebagaimana yang dinyatakan oleh Andrade *et*

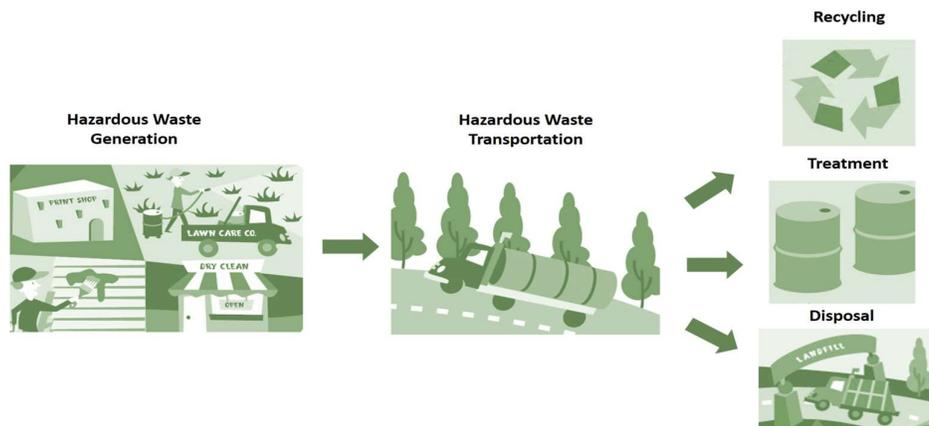
al., 2012. Strategi pengelolaan limbah sebagai bagian dari pengelolaan lingkungan mulai dari tahapan pencegahan, pengurangan, pakai-daur-ambil ulanga dan pengolahan dibahas secara sistematis oleh Purwanto (2009).

Kegiatan pengelolaan limbah B3 mencakup pengumpulan dari ruang produksi atau dari aktivitas produksi, penyimpanan dengan batas waktu maksimal 90 hari, pengangkutan, pemanfaatan untuk dimusnahkan, dijadikan produk atau dijadikan energi, pengolahan, dan penimbunan. Di Indonesia dan di negara-negara lainnya, penghasil limbah atau orang/ badan usaha yang menghasilkan limbah B3 wajib melakukan pengelolaan limbahnya, limbah dapat diserahkan oleh pihak ke-3, dikelola dengan cara dikurangi dari masing-masing unit produksi, substitusi bahan, dilakukan rekayasa produksi, dan teknologi bersih. Jika ada teknologi atau metode yang dapat dikembangkan diharapkan dapat dilakukan pemanfaatan limbah B3.

Pengembangan model sistem manajemen limbah selama beberapa dekade terakhir memiliki kelebihan dan kekurangan. Model yang terbaru adalah model yang berfokus pada pengelolaan limbah terpadu, dengan konsep pengelolaan limbah berkelanjutan dengan tiga kategori utama model yang diidentifikasi: model analisis biaya manfaat, model persediaan siklus hidup, dan model multi kriteria. Namun demikian masing-masing memiliki keterbatasan dan tidak mempertimbangkan siklus pengelolaan limbah yang lengkap, mulai dari pencegahan terbentuknya limbah sampai dengan pembuangan akhir. Sebagian besar hanya memperhatikan penyempurnaan teknik multikriteria aktual itu sendiri atau membandingkan aspek lingkungan dari pilihan pengelolaan limbah (daur ulang, insinerasi, dan pembuangan), sementara banyak pihak menyadari bahwa untuk

model pengelolaan limbah atau strategi agar berkelanjutan harus mempertimbangkan lingkungan, ekonomi, dan sosial (Morrissey *et al.*, 2004).

Di setiap negara memiliki kebijakan dalam pengelolaan limbah yang berbeda-beda disesuaikan dengan situasi dan kondisi pada masing-masing negara bersangkutan. Di negara berkembang kebijakan pengelolaan limbahnya tidak dapat mengacu pada pengelolaan limbah di negara maju mengingat perbedaan geografi, ekonomi, sosial, dan budaya. Menurut EPA (*Environmental Protection Agency*) sistem manajemen limbah berbahaya melindungi lahan suatu negara dan rakyatnya agar aman. Meningkatnya jumlah limbah yang dihasilkan menjadi tantangan bagi pemerintah untuk mengembangkan strategi pengelolaan limbah dengan aman dan biaya yang efisien.



Gambar 2.2 EPA's cradle-to-grave hazardous waste

Beberapa pengelolaan limbah B3 yang telah dilakukan di berbagai negara:

1. Pengelolaan limbah cat di Selandia baru

Limbah cat digunakan sebagai campuran polimer dalam beton karena memiliki kesamaan komposisi kimia limbah cat dengan campuran polimer

menghasilkan *blockfill* yang mampu mempertahankan atau memperbaiki sifat material yang mengeras sekaligus meningkatkan efisiensi proses konstruksi. Takaran optimum untuk mencapai kekuatan dan kemampuan kerja yang dibutuhkan ditemukan sekitar 12% penggantian campuran dengan limbah cat, sedangkan *Modulus Elastisitas* ditemukan sebagai fungsi kekuatan tekan. Limbah cat merupakan pengganti yang sesuai untuk campuran konvensional pada batu beton (*paving block*) yang menghasilkan kekuatan yang dipertahankan dan peningkatan kemampuan kerja (Almesfer *et al.*, 2012).

2. Pengelolaan limbah cat di Inggris

Setiap industri di Inggris memastikan limbah berbahaya dari sisa produksi ditangani dan tidak menyebabkan kerusakan lingkungan. Prosedur penanganan limbah berbahaya yaitu: klasifikasi limbah yang dihasilkan untuk memeriksa apakah berbahaya, pemisahan dan penyimpanan limbah B3, penggunaan industri pengolah limbah yang memiliki ijin untuk mengumpulkan, mendaur ulang atau membuang limbah berbahaya dan periksa apakah pembawa limbah terdaftar memiliki ijin lingkungan, daftar limbah diisi rangkap dua dan salinannya diberikan kepada pembawa dan pengumpul limbah, catatan limbah yang dihasilkan disimpan selama 3 tahun dan teregistrasi. Negara Inggris mempunyai pengalaman yang baik dalam manajemen limbah dan memberantas pembuangan limbah secara ilegal. Pada tahun 2012 sebanyak 1.279 tempat pembuangan limbah ilegal ditutup, dikarenakan ditemukan limbah berbahaya yang tercampur di dalamnya. Limbah B3 harus dikirim untuk dikelola ke tempat pembuangan akhir yang dirancang dan telah mendapatkan izin mengolah limbah B3 (Yiu Liu *et al.*, 2017).

3. Pengelolaan limbah di Italia

Wilayah Campania terutama di Napoli menjadi tempat pembuangan limbah beracun dan radioaktif ilegal sejak tahun 1980. Pembuangan limbah beracun atau disebut *The highly toxic wastes (HTW)* terjadi di sepanjang pantai dan pedalaman. Hal ini menjadi perhatian karena memiliki dampak yang sangat buruk bagi kesehatan, mata pencaharian, dan keberlanjutan masa depan penduduk lokal. Tingkat kematian akibat kanker yang tinggi dan kematian bayi atau aborsi spontan terjadi pada penduduk yang tinggal di sekitar area pembuangan limbah B3 ilegal. Keadaan itu mendorong pemerintah Italia melakukan identifikasi, isolasi, dan reklamasi tempat-tempat yang terkena polusi dan melakukan penilaian lingkungan (Merfe and Stefano, 2016).

4. Pengelolaan limbah di Turki

Peraturan Negara Turki Pengendalian limbah B3 berkiblat *pada European Council Directive on Hazardous Waste*. Penimbal limbah berbahaya di Turki diminta untuk menyatakan jumlah limbah berbahaya bersama dengan NACE (Statistik Klasifikasi Kegiatan Ekonomi untuk Masyarakat Eropa) kode menurut RCHW di Turki. Setiap kegiatan atau usaha memasukan data jenis dan karakteristik limbah yang dihasilkan kedalam kode NACEnya, hal ini untuk mengendalikan kuantitas limbah dan memudahkan sistem kontrol bagi perusahaan penghasil limbah B3 (Oncel *et al.*, 2017).

5. Pengelolaan limbah di Malaysia

Kota-kota Malaysia telah mengalami pertumbuhan pesat selama empat dekade terakhir. Kota-kota seperti Kuala Lumpur terus berkembang dan populasinya telah mencapai 1,67 juta jiwa pada tahun 2015. Meningkatnya laju pertumbuhan penghasil

limbah telah menjadi isu penting bagi kota-kota di Malaysia, ditunjukkan data pada tahun 2001 menghasilkan 16.200 ton sampah per hari, dan pada tahun 2012 meningkat 33.000 ton per hari. Oleh karena itu pemerintah Malaysia menerapkan program pengelolaan limbah berkelanjutan, dengan mengoptimalkan sumber daya teknologi, keuangan, dan sumber daya manusia yang lebih signifikan (Mohamed *et al.*, 2017).

Perkembangan teknologi membuat tempat penyimpanan limbah B3 menjadi simpel dan bentuknya lebih bervariasi dapat berupa bak kontainer, tangki, drum bekas yang tidak bocor, dan bangunan permanen. Semua tempat penyimpanan tersebut wajib dilengkapi dengan fasilitas pengendalian pencemaran lingkungan, khususnya jika terletak dekat badan air.

Setiap orang atau badan usaha penghasil limbah jika memiliki ijin dari bupati setempat dan sudah diumumkan melalui media cetak atau media elektronik dapat melakukan pengelolaan limbahnya selama 5 tahun, dengan syarat yang harus dipenuhi antara lain identitas pemegang ijin jelas, akta pendirian sebuah badan usaha, nama dan jenis limbah yang dihasilkan dan disimpan, memiliki desain dan kapasitas fasilitas penyimpanan, dan lokasi penyimpanan dilengkapi dengan sarana pengendalian pencemaran. (PP No.101 Tahun 2014)

Residu cat yang tercecer jika tidak ditangani dengan baik akan mencemari lingkungan merusak ekosistem. Di dalam industri limbah B3 tidak boleh tercampur dengan sampah umum sehingga harus diberi label limbah B3 dan simbol yang menunjukkan karakteristik limbah tersebut, pemilahan sampah penting dilakukan khususnya pada area produksi karena apabila tercampur dapat membahayakan

keselamatan dan kesehatan karyawan serta pencemaran terhadap lingkungan. Limbah B3 yang dikumpulkan disimpan ke dalam tempat penyimpanan dan dikemas sesuai dengan karakteristik masing-masing limbah B3.

Proses pengangkutan limbah disesuaikan dengan kategori limbah B3 dapat menggunakan alat angkut tertutup maupun terbuka, pengangkutan limbah disertai dengan bukti penyerahan limbah dari penghasil limbah ke pengepul yang berisi kode manifes nama dan karakteristik limbah, dan di dalam dokumen tersebut terdapat juga masa berlaku rekomendasi yang diberikan oleh Menteri Lingkungan Hidup.

Kegiatan pemanfaatan limbah antara lain adalah penggunaan kembali (*reuse*) dengan fungsi yang sama ataupun berbeda, daur ulang (*recycle*) limbah menjadi lebih bermanfaat, dan perolehan kembali (*recovery*) komponen limbah yang mempunyai nilai bermanfaat. Ketiga kegiatan tersebut merupakan mata rantai yang sangat penting dalam kegiatan pengelolaan lingkungan yang membedakan dari ketiga kegiatan tersebut adalah proses pengolahannya apakah secara kimia, biologi, ataupun secara fisika/termal.

Pemanfaatan limbah B3 menjadi produk '*Waste to product*' dilakukan dengan tujuan substitusi bahan baku dan energi dilengkapi dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan nomor registrasi dari Menteri atau Kepala lembaga pemerintahan non kementerian yang membidangkan kegiatan atau usaha tersebut. (PP No.101 Tahun 2014)

Pengolahan limbah dapat dilakukan oleh penghasil limbah, jika tidak mampu maka pengolahan limbah dapat diserahkan ke pihak ke-3 yang memiliki ijin pengolahan dari Kementerian. Tujuan dari pengolahan limbah adalah menghilangkan sifat bahaya atau racun dari limbah B3 sebelum dibuang ke lingkungan. Langkah awal yang dilakukan sebelum melakukan pengelolaan limbah B3 adalah mengetahui sifat dan karakteristik

limbah tersebut dari *Material safety data sheet* bahan baku yang digunakan atau dari pengujian pada limbah B3 tersebut. Limbah yang sudah diolah dengan teknologi yang tepat dan olahan tersebut memenuhi standar lingkungan hidup atau baku mutu lingkungan hidup diperbolehkan untuk dibuang ke lingkungan.

Apabila limbah B3 tidak dapat dimanfaatkan dan diolah maka jalan terakhir adalah ditimbun. Tujuan dari penimbunan adalah mengisolasi limbah B3 agar tidak membahayakan kesehatan dan lingkungan dalam waktu jangka panjang. Hal yang perlu diperhatikan dalam kegiatan penimbunan adalah letak geografis lokasi penimbunan yaitu tidak rawan bencana seperti bencana banjir dan gempa artinya aman dan stabil, dan hal terpenting adalah tidak termasuk dalam kawasan resapan air yang digunakan untuk konsumsi air minum masyarakat sekitar/ jauh dari pemukiman penduduk. (PP No.101 Tahun 2014)

Hau dan Sculli (1991) mengkaji cara dan biaya membuang limbah lumpur dan padatan dan hal-hal terkait lainnya, dimulai dari perencanaan secara keseluruhan untuk meminimalkan biaya diiringi dengan meminimalkan risiko yang dapat diterima bagi kesehatan manusia, sumber daya alam, dan mesin peralatan, dengan metode yang digunakan dengan mempertimbangkan faktor-faktor internal dan faktor eksternal yaitu lingkungan.

Pembuangan limbah berupa lumpur ke perairan secara operasional sangatlah murah dilihat dari sudut pandang ekonomi, dalam jangka pendek menjadi paling murah di antara beberapa pilihan yang dapat dipertimbangkan. Dumping di perairan internasional merupakan pilihan berikutnya akan tetapi dengan biaya transportasi lebih tinggi.

Pengolahan limbah B3 berupa lumpur dengan insinerasi dikelola oleh pihak ke-3 menjadi pilihan saat ini mempertimbangkan biaya, kerusakan lingkungan, dan kesehatan manusia.

Mikroba sebagai remediasi air tercemar dari kegiatan industri telah berkembang sebagai teknologi yang menjanjikan karena dapat diterima masyarakat dan keterjangkauan biaya. Hayat *et al.* (2017) mengulas secara komprehensif peran remediasi mikroba dari arsenik dalam air limbah industri yang berbeda dengan fitoremediasi. Tujuan penggunaan mikroba adalah bahwa spesies arsen terlarut dikonversi secara mikroba menjadi gas arsine yang dilepaskan ke atmosfer pada tingkat tidak beracun (efek pengenceran), sedangkan pada fitoremediasi di mana arsenik terakumulasi dalam bahan tanaman.

Pengolahan limbah B3 secara biologi dapat dilakukan dengan bioremediasi, menurut Gritter *et al.* (1991) dilihat dari sudut biaya lebih murah dan dipandang dari kelestarian lingkungan lebih berwawasan lingkungan dibandingkan dengan metode pemulihan lingkungan secara fisik dan kimia. Kegiatan bioremediasi dilakukan dengan biodegradasi yaitu dengan cara memotong rantai hidrokarbon menjadi lebih pendek dengan bantuan jenis bakteri tertentu menggunakan enzimnya yang dikode oleh kromosom atau plasmid dari bakteri tersebut.

E. Teknologi Pengolahan Limbah Cat

Dalam penanganan limbah industri di suatu perusahaan melibatkan seluruh manajemen industri dengan memberdayakan fungsi *engineering*, produksi, *Production Planning and Inventory Control (PPIC)*, *maintenance*, lingkungan, dan departemen terkait, sehingga pengolahannya dapat dilakukan secara komprehensif dimulai dari

komitmen perusahaan. Pengolahan limbah B3 berupa lumpur cat dari sisa proses produksi *coating* atau pelapisan pada permukaan plastik dilakukan untuk mengurangi sifat korosif, iritasi, dan sifat bahaya lainnya. Untuk mengurangi limbah B3 dapat dimulai dari penggunaan bahan baku yang menjadi sumber limbah B3 melalui rekayasa produksi.

Pada industri kemasan kosmetik penggunaan bahan kimia sebagai bahan campuran atau pelapis plastik dibutuhkan untuk menambah nilai estetika pada produk dan memenuhi permintaan pasar, sehingga digunakanlah cat dan pelarut yang bisa menghasilkan lapisan warna yang lebih menarik. Penggunaan cat dan pelarut menimbulkan masalah dikarenakan beberapa industri kemasan plastik kecantikan tidak dapat mengolah limbah B3 nya seperti limbah cat berupa *paint sludge*, sistem pengolahan diserahkan oleh pihak ke-3. Limbah B3 yang dihasilkan dapat dikumpulkan di TPS (Tempat Penampungan Sementara) maksimal 90 hari, limbah tersebut harus sudah diangkut dan dikirim ke pihak ke-3 untuk diolah. Biaya pengolahan limbah cat oleh pihak ke-3 sangat tinggi salah satunya karena persyaratan moda transportasi yang harus dipenuhi sebagai alat transportasi pengangkut limbah B3. Tempat penampungan sementara menimbulkan permasalahan lingkungan karena cairan lindi dan ceceran tumpahan limbah B3 yang masuk ke dalam pori-pori tanah akan membuat konsentrasi total padatan terlarut menjadi tinggi dan kekerasan tanah meningkat, sehingga menimbulkan konduktivitas elektrik pada tanah yang mengandung klorida, COD, nitrat dan sulfat dan logam berat. Kadar tersebut akan meningkat pada kondisi musim penghujan dan akan mengalami kecenderungan penurunan pada saat musim panas (Vasanthi *et al.*, 2008).

Pengolahan limbah dengan cara pengurangan sumber limbah B3 dilakukan oleh industri kemasan kecantikan dengan cara rekayasa proses dimulai dari substitusi bahan baku cat dan pelarutnya, modifikasi peralatan industri, dan penggunaan teknologi ramah lingkungan. Penanganan limbah cat *solvent-based* lebih sulit dibandingkan dengan penanganan limbah cat *water-based*, dikarenakan untuk mengolah dan mengencerkan limbah tersebut membutuhkan senyawa lain yang tepat. Penelitian yang dilakukan Hernadewita (2007) mengolah limbah cat menggunakan penambahan kapur, poliflok, dan garam besi dalam tangki flokulasi pada bak ekualisasi yang sudah diatur debit, dan pH nya, untuk menurunkan kadar logam berat dengan menggunakan media pasir pada tangki klorinasi dan karbon filter pada tangki penyimpanan akhir.

Pengujian dan analisis parameter atau kandungan fisik, kimia, dan biologi perlu dilakukan guna menetapkan prosedur dan teknologi pengolahan yang tepat guna, agar hasilnya memenuhi kualitas dan baku mutu pembuangan limbah B3 ke lingkungan. Pengolahan limbah B3 dengan cara elektrolisis, reduksi-oksidasi, pengendapan, penukaran ion, pirolisa, dan netralisasi adalah pengolahan limbah B3 secara kimia, sedangkan pembersihan gas, pemisahan cariran dari padatan, dan penyisihan komponen-komponen spesifik termasuk dalam pengolahan limbah B3 secara fisika.

E.1. Pengolahan Limbah B3 Secara Termal

Pengolahan secara termal dilakukan dengan prinsip penghancuran melalui pemanasan. Penentuan tingkat efisiensi penghancuran diukur dari perhitungan dari konsentrasi awal saat limbah dimasukkan dan setelah dilakukannya pengolahan limbah secara termal. Hasil dari pembakaran atau residu dari pengolahan secara termal dilakukan

penyimpanan dan pengangkutan sesuai dengan PP No. 101 tahun 2014. Standar pengolahan secara termal harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

- a. Memenuhi standar emisi udara.
- b. Efisiensi pembakaran 99,9 %, tidak berlaku pada pengolahan limbah B3 pada industri semen menggunakan kiln.
- c. Penghilangan senyawa POHs dan efisiensi penghancuran minimal 99,9% tidak berlaku pada pengolahan limbah B3 berkarakteristik infeksius.

E.2. Stabilisasi dan Solidifikasi Limbah B3

Solidifikasi merupakan proses pencampuran limbah, sisa buangan bahan berbahaya dan beracun atau bahan lainnya pada limbah B3 dengan menambahkan zat cairan atau zat lainnya dengan media lingkungan, untuk menurunkan konsentrasi racun dan tingkat bahaya yang terkandung dari limbah tersebut. Pada prinsipnya pengolahan secara stabilisasi atau solidifikasi adalah mengubah sifat kimia dan fisika limbah B3 agar pergerakan senyawa B3 terbatas ataupun terikat dengan struktur masa monolit yang kuat dan kokoh.

Limbah B3 dilakukan stabilisasi/ solidifikasi tujuannya adalah mengurangi sifat bahaya dan racun pada limbah tersebut melalui upaya mengurangi daya larut, dan persebaran sebelum dibuang pada pembuangan akhir. Pengolahan solidifikasi atau stabilisasi yang umum dilakukan adalah dengan penambahan atau pencampuran zat aditif pada limbah B3 guna menurunkan laju perpindahan bahan pencemar dari limbah dan mengurangi toksisitasnya.

Limbah berbahaya dan beracun dapat dikurangi jumlahnya dengan menggunakan teknologi solidifikasi menjadi material yang dapat dimanfaatkan penggunaannya. Hal yang

perlu dipertimbangkan adalah formula solidifikasi yang tepat dari limbah berbahaya menjadi produk solidifikasi yang netral dilakukan pemeriksaan eksperimen. Produk solidifikasi disesuaikan dengan persyaratan lingkungan, sifat fisik, dan mekanik yang timbul dari penggunaannya, biasanya digunakan dalam industri bangunan dan pemuliharaan.

Pengolahan limbah B3 dengan teknik stabilisasi/solidifikasi (bahan aditif) menggunakan bahan-bahan berupa:

- Bahan pencampur seperti gypsum, pasir, tanah liat/lempung, dan *'fly ash'*
- Bahan perekat atau bahan pengikat yaitu semen, kapur, tanah liat.

Metode kerja solidifikasi yaitu :

- Karakteristik limbah B3 dianalisis guna menentukan resep stabilisasi/solidifikasi yang diperlukan terhadap limbah B3
- Pengujian uji TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*) untuk mengukur kadar/konsentrasi parameter dalam lindi (*extract/eluate*) pada hasil olahan sebagaimana yang tercantum dalam tabel uji TCLP dan hasil pengujian tidak boleh melebihi nilai ambang batas.
- Produk hasil pengolahan dilakukan pengujian kuat tekan (*Compressive Strength*) dan soil penetrometer test dengan nilai tekan minimum sebesar 10 ton/m² dan lolos pada uji "*Paint filter test*".
- Produk hasil olahan memenuhi kadar persyaratan TCLP, nilai uji kuat tekan dan lolos tes paint filter test, yang selanjutnya harus ditimbun di tempat penimbunan (*landfill*) sesuai dengan area yang dipersyaratkan.

Penelitian yang dilakukan oleh Mohamed *et al.* (2017) dengan menggunakan limbah cair yang dihasilkan dari industri cat dalam pembuatan batu bata semen dan genteng, dapat memperbaiki beberapa sifat mekanik dari batu bata dan genteng semen. Kebutuhan air dalam jumlah yang banyak maka penelitian ini fokus pada penggunaan air limbah daripada memasok air bersih dalam memproduksi batu bata dan ubin. Pengujian pada sampel yaitu penyerapan air, *ignitability*, toksisitas, dan korosivitas. Konsentrasi sulfida dan sianida dalam semua sampel ditentukan dan dibandingkan dengan nilai ambang batas yang ditentukan oleh EPA. Sampel batu bata juga diuji untuk kekuatan tekan, sedangkan sampel ubin diuji untuk kekuatan lentur dan ketahanan abrasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tidak ada efek negatif dari penggunaan air limbah yang dihasilkan dari industri cat dalam pembuatan batu bata semen dan ubin. Akan tetapi malah sebaliknya memperbaiki sifat mekanik bata dan ubin.

Produk hasil olahan solidifikasi sebelum digunakan harus memenuhi persyaratan SNI dan masuk ke dalam kategori produk ramah lingkungan, menekankan pada efisiensi penggunaan bahan baku, air, dan energi.

Bahan bangunan yang termasuk dalam kategori ramah lingkungan yaitu:

- Bahan bangunan *regenerative* bahan bangunan yang dapat dibudidayakan atau dikembangkan lagi, seperti bambu, kayu, rotan, dan alang-alang.
- Bahan yang dapat didaur ulang (*recycling*), seperti bahan bangunan alam berupa tanah, pasir, kapur, batu, dan sejenisnya.
- Bahan bangunan dari limbah atau sampah industri yang dapat digunakan dengan fungsi yang berbeda.

- Bahan bangunan alam seperti batu bata, genteng tanah liat dan sejenisnya, yang mengalami perubahan atau transformasi secara sederhana.

Aldahdooh *et.al* (2018) meneliti pemanfaatan agregat limbah plastik sebagai pengganti agregat sebagian pada bahan pembuatan beton. Hasil optimal 30% dari bahan pembuatan beton berasal dari agregat limbah plastik. Pemanfaatan ini membantu melindungi lingkungan dengan meminimalkan volume pembuangan limbah.

Silva, Brito, dan Saikia (2018) membandingkan beton konvensional dan beton dengan campuran agregat limbah plastik dengan konsentrasi 7,5% dan 15%. Ketiga benda uji tersebut diberi perlakuan perendaman, penyerapan air dengan aksi kapilaritas, karbonasi dan penetrasi klorida. Hasil pengujian menunjukkan penurunan pada properti beton dengan campuran agregat limbah plastik dalam hal daya tahan dan mempunyai kualitas yang kurang baik, terutama jika diberi perlakuan pengeringan.

Penelitian yang dilakukan oleh Amran (2015) menggunakan serat plastik sebagai bahan tambahan pembuatan paving block menunjukkan mampu meningkatkan kuat tekan paving block. Paving block dibuat dengan perbandingan semen dan pasir adalah 1 : 6 dengan penambahan serat plastik kadar 0,2%, 0,4%, 0,6%, 0,8% dari volume dengan faktor air semen 0,50. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat plastik sebanyak (0,2-0,8)% pada adukan paving block dapat meningkatkan kuat tekan, dengan peningkatan kuat tekan maksimum pada penambahan serat plastik 0,4% yaitu sebesar 41,83% dari paving biasa.

Marwan *et al.* (2017) melakukan penelitian penggunaan limbah abu terbang (*fly ash*) sebagai bahan pengganti semen pada pembuatan paving block. Variasi penggantian semen sebanyak 2,5%, 5%, 7,5% dan 10%. Abu terbang tidak meniadakan semen, namun

mengurangi pemakaian semen dengan percobaan pada kadar tertinggi sebesar 10%. Kuat tekan paving block dengan penggunaan abu terbang dibandingkan dengan kuat tekan paving block normal (0%). Hasil pengujian kuat tekan umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari untuk setiap variasi penggunaan abu terbang meningkat sampai pada variasi 7,5% dan menurun pada variasi 10%. Variasi 10% juga dapat digunakan sebagai bahan pengganti dalam pembuatan paving block, dengan hasil uji kuat tekan tidak berbeda jauh dengan kuat tekan paving block tanpa abu terbang.

Apriani dan Rahardyan (2011) melakukan penelitian penggunaan katalis bekas (*spent catalyst*) sebagai bahan campuran pembuatan paving block dan batako. Proporsi limbah katalis bekas yang digunakan sebagai pengganti binder, yaitu sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, dan 0% sebagai perbandingan data. Proporsi limbah sebagai pengganti agregat halus dengan 3 variasi, yaitu 40%, 60%, dan 80%. Hasil uji kuat tekan menunjukkan paving block memenuhi mutu C dan D.

Persyaratan Mutu paving block berdasarkan SNI 03-0691-1996 yaitu tidak boleh retak dan cacat serta memiliki sudut yang sempurna, selain itu memiliki kuat tekan yang dipersyaratkan sebagai berikut:

1. Bata beton mutu A digunakan untuk jalan, kuat tekan minimum 35 MPa, rerata 40 MPa
2. Bata beton mutu B digunakan peralatan parkir, kuat tekan minimal 17 MPa, rerata 20 MPa
3. Bata beton mutu C digunakan untuk pejalan kaki, kuat tekan minimal 12,5 MPa, rerata 15 MPa
4. Bata beton mutu D digunakan untuk taman dan lainnya, kuat tekan minimal 8,5 MPa, rerata 10 MPa

Pemanfaatan limbah sebagai bahan campuran bata beton (batako) mempunyai dua tujuan dan fungsi yaitu sebagai pengganti sebagian semen sebagai binder seperti abu terbang (*fly ash*) dan fungsi sebagai agregat seperti katalis bekas serta bahan tambahan penguat seperti serat plastik.

Pola pemasangan disesuaikan dengan tujuan penggunaannya, yang sering digunakan adalah susun bata, anyaman tikar, dan tulang ikan. Pada perkerasan jalan yang sering digunakan adalah pola tulang ikan karena mempunyai kuncian yang baik.

Menurut *British Standard Institution*, *British Standard* adalah standar yang dibuat oleh *British Standards Institution* (BSI). *British Standard* biasanya digunakan di negara-negara persemakmuran Inggris. Pada awalnya *British Standard* dibuat untuk mengatur nomor dan tipe penampang baja. Seiring berjalannya waktu, *British Standard* berkembang dan mencakup banyak bidang teknik standar mutu yang harus di penuhi *paving block* adalah sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan nilai kuat tekan yang maksimal, ketebalan *paving block* bentuk persegi minimal 6 cm
2. *Paving block* menggunakan profil tali air dengan ketebalan 7 mm dari sisi dalam dan sisi luar *paving block*.
3. Pada standar ini penyimpangan *paving block* yang diijinkan adalah panjang dan lebar kurang lebih 2 mm dengan ketebalan kurang lebih 3 mm.

Material *paving block* yang digunakan dalam proses pembuatannya adalah semen portland (PC), pasir, air, dan endapan sampah sebagai substitusi dari pasir.

1. Semen portland (PC) untuk merekatkan partikel agregat yang terpisah menjadi satu kesatuan.

2. Agregat Halus (Pasir), kualitas pasir dipengaruhi oleh kimia pasir dan keadaan geologi.
3. Air digunakan untuk reaksi hidrasi
4. Minarex, minarex yaitu processing oil untuk industri karet dan tinta cetak industri dalam negeri yang membutuhkan bermacam-macam jenis minyak untuk pembuatan ban, dan industri barang jadi karet.

E.3. Teknologi Bioremediasi

Pengolahan limbah B3 menggunakan teknologi dalam penerapannya dilakukan uji coba dan evaluasi menyangkut kinerja, keluwesan, kehandalan, keamanan, dan pengoperasiannya dengan pertimbangan lingkungan. Teknik bioremediasi dengan memanfaatkan bakteri indigenous merupakan cara yang paling efektif dan efisien dalam mengatasi permasalahan pencemaran lingkungan yang terjadi akhir-akhir ini.

Tata Cara dan Persyaratan Teknis dan Pengelolaan Limbah Secara Biologis (Bioremediasi) dilakukan dengan menggunakan *Mikroorganisme Indigenous* diatur dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup RI No. 128 Tahun 2003. sehingga perlu dilakukan eksplorasi terhadap bakteri yang indigenous yang memiliki kemampuan mendegradasi limbah cat. Peran utama dalam pengolahan secara biologis adalah bakteri pemecah yang dapat mendegradasi materi organik dengan bantuan mikroorganisme dengan memecah senyawa kimia yang terkandung dalam bahan pencemar menjadi lebih sederhana, hal ini dipandang sebagai pengolahan paling efektif dan efisien limbah B3. Bakteri yang digunakan adalah jenis bakteri *commercial seed* yaitu bakteri yang tumbuh secara alami pada suatu limbah. Jenis bakteri *commercial seed* yang tumbuh pada pengolah limbah B3 sangat bervariasi dan beragam, dapat dipelajari dengan teknik dan

metode isolasi menggunakan metode konvensional pewarnaan gram dengan serangkaian uji biokimia (Mayanti *et al.*,2010).

Penggunaan zat warna dalam industri tekstil dan lainnya mencemari sistem perairan yang resisten terhadap cahaya, air, dan agen pengoksidasi hal ini tentu akan sulit didegradasi secara alami oleh alam, dilakukanlah pengolahan limbah cair dengan menggunakan kultur bakteri dan jamur, hasilnya dalam proses degradasi warna performa jamur sangat terbatas akibat siklus pertumbuhan yang panjang dan kemampuan degradasinya yang sedang. Sebaliknya, performa bakteri lebih cepat akan tetapi membutuhkan lebih dari satu bakteri (Jiranuntipon *et al*, 2008).

Pengembangan dan penggunaan bakteri alternatif perlu dilakukan untuk teknik degradasi zat warna khususnya bioremediasi yang telah memiliki reputasi yang baik terhadap teknologi pengolahan limbah dan sudah dapat diterima. Penggunaan campuran kultur mikroba akan memberikan aktivitas metabolisme yang lebih efektif apabila dilakukan secara bersama-sama, sebaliknya aktivitas katabolik antara campuran mikroba yang saling melengkapi satu sama lain. Bakteri konsorsium ini lebih baik jika dibandingkan dengan penggunaan kultur murni. Suatu kultur bakteri dapat menyerang suatu molekul pada posisi yang berbeda atau dapat menggunakan produk dekomposisi yang dihasilkan dari kultur lain untuk proses dekomposisi lebih jauh (Jadhav *et al.*, 2008).

Sistem pengolahan limbahpembersihan, injeksi, dan bioremediasi merupakan pengolahan limbah yang sangat mudah dan murah. Bioremediasi berasal dari dua kata yaitu bio dan remediasi yang dapat diartikan sebagai proses dalam menyelesaikan berbagai masalah (Lasonearth, 2010).

Keuntungan yang diberikan jika menggunakan teknik bioremediasi dalam pengolahan limbah yaitu:

- Aman digunakan karena menggunakan mikroba yang tumbuh alami pada lingkungan.
- Tidak ada penambahan bahan kimia pada teknik bioremediasi
- Proses pengangkutan tidak terjadi.
- Biaya murah dan teknologi penerapannya mudah
- Waktu berbanding lurus dengan jenis senyawa kimia yang diolah, kedalaman area yang tercemar, jenis tanah, dan jenis senyawa kimia yang terkandung di dalamnya.

Salah satu komposisi cat adalah benzene yang merupakan salah satu polutan berbahaya yang dihasilkan dari industri cat, kimia, dan petrokimia yang memiliki dampak buruk pada kesehatan dan atmosfer. Berdasarkan penelitian Padhi dan Gokhale (2017) menjelaskan bahwa biodegradasi benzene oleh kultur mikroba dengan konsentrasi berkisar antara 25 sampai 600mg/l dan melibatkan energi kinetik, diperoleh data eksperimental tepat *inhibition and noninhibition models* untuk membedakan konstanta biokinetik, model haldane paling baik untuk memprediksi data eksperimental. Percobaan yang dilakukan oleh Singh dan Fulekar (2010) yaitu bioremediasi benzen menggunakan mikroflora kotoran sapi dalam bioreaktor, *Pseudomonas putida* MHF 7109 diisolasi dari mikroflora kotoran sapi sebagai potensi penghambat benzene dan kemampuannya untuk menurunkan benzene pada berbagai konsentrasi.

Tanah yang terkontaminasi adalah salah satu masalah lingkungan yang secara

historis diabaikan oleh manusia. Sejak tahun 1960 hubungannya dengan kesehatan dan keselamatan manusia, serta dampak ekologisnya, telah ditemukan. Pencemaran tanah dapat diatasi dengan menggunakan teknologi yang tepat, dengan mempertimbangkan proses transportasi, seperti adveksi, dispersi, dan adsorpsi untuk menilai efektivitasnya dalam mengendalikan migrasi polutan ke lingkungan sekitarnya sebagaimana dinyatakan oleh Rao *et al* (2017).

E.4. Rekayasa Teknik

Industri manufaktur atau perusahaan yang memproduksi barang memiliki 6 fungsi *engineering* yaitu *mechanical*, *electrical*, *instalation*, *utility*, *instrumentation*, dan *workshop*. Kemampuan mekanik meliputi perawatan dan perbaikan mesin pada siste mekanis, sistem hidrolik, sistem pnumatik dan sistem pengapian. Kemampuan elektrik diartikan kedalam pengertian elektrik arus kuat. Kemampuan instalasi meliputi instalasi dan set up mesin dan instalasi jalur perpipaan. Mesin-mesin sumber tenaga, dan mesin transfer energi terkait dengan *utility*. Fungsi instrumentasi lebih pada sistem arus lemah, tingkat logika dalam mengembangkan sampai dengan menganalisa permasalahan wajib dimiliki oleh personil karena sangat sistematis dan terstruktur. Sedangkan *workshop* atau bengkel tidak hanya terbatas pada suplai part secara internal perusahaan, area ini berkaitan langsung dengan *maintanance cost*, *supplier* mesin tidak hanya menjual mesin tapi kontinuitas order spare parts menjadi pemasukan yang lebih menguntungkan. Setiap perusahaan mempunyai strategi dan kebijakan yang berbeda dan berpengaruh pada struktur organisasi *engineering*-nya. Peran rekayasa *engineering* bertujuan untuk mengatasi permasalahan yang terjadi pada proses produksi dan membuat peralatan yang bertujuan untuk memudahkan pekerjaan, bagian produksi merupakan *customer*

engineering maka pencapaian target volum produksi, dan target quality produksi tergantung dari *support engineering*, sedangkan bagi perusahaan kontribusi engineering dilihat dari *maintanance cost* terhadap Harga Pokok Produksi (HPP).

Kegiatan perekayasaan pada mesin dan peralatan produksi dapat dilakukan untul mengurangi volume limbah B3 yang dihasilkan dari proses produksi, penghematan penggunaan bahan baku industri dengan menggunakan mesin-mesin produksi yang telah direkayasa dapat menurunkan volume limbah. Eco-design peralatan dan mesin merupakan salah satu metode efektif untuk mengurangi pencemaran lingkungan dari sumbernya (Zeng Dan *et al.*,2018), dilakukan pada mesin *gear hobbing* diduga mesin dan peralatannya sebagian besar setiap tahunnya meningkat diikuti dengan ancaman terhadap lingkungan akibat konsumsi energi.

O’Sullivan (1991) melakukan monitoring pada mesin percetakan koran untuk menghasilkan kertas koran berkualitas tinggi, untuk mempertahankan reputasi kebanggaan mereka maka kualitas dan kuantitas produksi harus tetap terjaga, mereka menggunakan konsep monitoring kondisi sistem mesin untuk memantau spektrum getaran pada 600 titik pengukuran pada mesin kertas dan pembangkit listrik mereka, sistem ini memiliki deteksi kesalahan dini, diagnosa kesalahan yang akurat, analisa perediksi pengerjaan dan kerusakan, dengan meminimalisasi kerusakan maka limbah dan pemakaian tinta dapat berkurang.

F. Life Cycle Assessment (LCA)

F.1. Pengertian LCA

Life Cycle Assessment (LCA) atau sering juga di sebut *Life Cycle Analysis* adalah proses mengevaluasi dampak dari suatu produk terhadap lingkungan diseluruh priode

siklus hidupnya dengan tujuan meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya dan mengurangi dampak itu sendiri. LCA lebih dikenal dengan analisis *cradle to grave*. LCA dapat dipakai pada pengembangan keputusan keputusan strategis bisnis bagi produk, desain proses, perbaikan, dan juga untuk memberikan informasi sebuah produk yang dilihat dari aspek lingkungan. Penggunaan teknik LCA tidak menjamin bahwa seseorang dapat memilih opsi mana yang lebih unggul dari lingkungan, karena tidak dapat menilai dampak lingkungan dari sistem produk, keseluruhan atau sistem pelayanan yang sesungguhnya. Dampak lingkungan yang sebenarnya adalah dari emisi dan limbah yang bergantung pada kapan, dimana, bagaimana dilepaskan ke lingkungan (Morrissey *et al*, 2004). LCA adalah analisis yang digunakan untuk menilai dari produk dan proses (*cradle to grave*) atau dari produksi bahan baku sampai pembuangan akhir terhadap lingkungan. LCA dikembangkan dalam rangka untuk memperhitungkan masalah yang tidak dapat dipecahkan dengan alat manajemen lingkungan seperti analisis mengenai dampak lingkungan, sehingga terbukti bahwa teknik LCA sebagai teknik untuk membandingkan dua atau lebih pilihan alternatif berdasarkan aspek dampak lingkungan dan berkelanjutan ekologi (Purwanto 2009).

LCA dalam sistem industri merupakan masukan dan keluaran. Masukan dalam sistem adalah material yang diambil dari lingkungan dan keluarannya akan dibuang ke lingkungan kembali. *Input* dan *output* dari sistem industri tersebut akan memberikan dampak kepada lingkungan. Penggunaan material atau bahan baku dari lingkungan jika diambil secara berlebihan akan menyebabkan semakin berkurangnya persediaan material di alam, sedangkan hasil keluaran dari sistem industri yang berupa limbah (padat, cair, gas) memberikan dampak negatif terhadap lingkungan sebanding dengan penggunaan

material yang berlebih. Oleh sebab itu LCA melakukan evaluasi guna meminimalkan pengambilan material dari lingkungan dan meminimalkan limbah yang dihasilkan oleh industri (Curran, 1996).

F.2. Tujuan LCA

Metode LCA merupakan metode standar internasional yang dianggap sebagai salah satu alat manajemen yang paling efektif untuk mengidentifikasi dan menilai dampak lingkungan yang terkait dengan pemilihan pengolahan limbah, secara khusus perspektif LCA yang luas memungkinkan untuk mempertimbangkan manfaat lingkungan yang signifikan yang dapat diperoleh melalui berbagai proses pengolahan limbah, sebagai salah satu contoh insenerasi limbah menjadi energi mengurangi kebutuhan akan sumber energi lain. LCA pengolahan limbah memungkinkan analisis mengetahui bagaimana perubahan sistem mempengaruhi dampak lingkungan melalui analisis skenario (Cherubini, 2009). Tujuan dari LCA adalah menentukan dampak seminimal mungkin dengan membandingkan semua kemungkinan kerusakan lingkungan yang dapat diakibatkan dari suatu produk maupun proses, agar dapat dipilih produk maupun proses. Prosedur dari LCA merupakan bagian dari ISO 14000 (*Environmental management standart*) dan termuat dalam ISO 14040:2006. Elemen dari LCA antara lain:

- a. Mengkualifikasi dan mengidentifikasi semua bahan yang baku, energi yang dikonsumsi dan terlibat dalam proses produksi.
- b. Evaluasi dampak pada bahan-bahan yang berpotensi pada kerusakan lingkungan.
- c. Menurunkan dampak terhadap lingkungan dengan mengkaji beberapa strategi.

Sertifikasi *Cradle to Cradle* (C2C) sangat dikenal oleh perusahaan-perusahaan sebagai penanda produk yang dihasilkan ramah lingkungan. C2C sebagai penanda

bahwa sebuah perusahaan telah sukses melampaui skema eko-label, sertifikat C2C memberikan informasi yang sesungguhnya produk yang berwawasan lingkungan (Massana *et al*, 2015).

F.3. Langkah dasar dalam kerangka kerja LCA

Berdasarkan ISO 14040 (2006), EPA (2006), Cherubini et al (2009), Emmanuel (2010), langkah-langkah dasar dalam kerangka kerja LCA, yaitu :

a. Penentuan tujuan dan ruang lingkup

Menetapkan dan menentukan tujuan studi, unit fungsi, dan batasan sistem, dan beberapa pilihan pengolahan limbah yang dibandingkan. Batasan sistem yaitu menentukan input, unit proses dan output untuk dimasukkan kedalam sistem yang akan dimodelkan. Pada standard ISO 14044 didalam sebuah studi LCA terdapat 4 pilihan dalam menentukan batasan sistem, yaitu:

- Bahan dan rantai produksi energi semua proses dari ekstraksi bahan baku melalui tahap produksi, transportasi dan penggunaan hingga produk akhir dalam siklus hidupnya dikenal dengan istilah '*Cradle to grave*'
- Meliputi proses dari ekstraksi bahan baku melalui tahap produksi (proses dalam pabrik), digunakan untuk menentukan dampak lingkungan dari suatu produksi sebuah produk dikenal dengan istilah '*Cradle to gate*'
- Penentuan dampak lingkungan dari produk tersebut setelah meninggalkan pabrik dikenal dengan istilah '*Gate to grave*'
- Penentuan dampak lingkungan dievaluasi dari tahap produksi saja, dikenal dengan istilah '*Gate to gate*' (Gabi, 2011)

Tahap-tahap dalam LCA yaitu:

- b. *Life cycle inventory (LCI)*: aliran bahan, energi dan emisi yang dilepaskan ke lingkungan diidentifikasi dan dikuantifikasi.
- c. *Life cycle impact assesment (LCIA)*, penggabungan dan pengkategorian dampak dari pengklasifikasian data LCA guna memperoleh suatu indikator kategori dampak yang digunakan untuk mempresentasikan potensi lingkungan terhadap kategori dampak.
- d. *Interpretation*, Evaluasi dan interpretasi informasi dari LCI dan LCIA sesuai tujuan dan ruang lingkup yang telah ditetapkan dari awal.

F.4. Penilaian LCA dalam Pengolahan Limbah Cat

Ordouei dan Elkamel (2017) memperkenalkan metode *Composite Sustainability Index (CSI)* untuk merancang proses *Cradle-to-Cradle* di industri otomotif, dengan studi kasus pemulihan thinner sebagai pelarut kimia dari lumpur cat pada proses pencucian tangki penyimpanan cat, desain *Cradle-to-Cradle* berfokus pada pengurangan polutan dengan menggunakan menggunakan teknologi pengolahan secara kimia, dengan membandingkan proses pengecatan secara konvensional (standalone atau model dasar) dengan desain berkelanjutan (model hibrida) dampak penggunaan material dan energi terhadap lingkungan, penilaian risiko dan keuntungan yang diperoleh. Dalam LCA ada enam kategori dampak yang dapat kita nilai yaitu : Asidifikasi, penipisan ozon, oksidan fotokimia, penipisan antibiotik, pemanasan global, dan toksisitas terhadap manusia. Dalam *Life Cycle Assasment (LCA)* diasumsikan pemanasan global dan penipisan ozon berdampak global sedangkan asidifikasi dan eutrofikasi dampaknya bersekala lokal.

Di Belanda LCA menjadi alat penting dalam kebijakan pengelolaan limbah, hasil dari penelitian LCA memberikan masukan teknologi baru dalam pengelolaan limbah, seperti pengembangan metode teknik operasional menggunakan pirolisa/ gasifikasi yang masih terbilang langka di Eropa, dengan membandingkan teknik konvensional seperti teknik insenerasi. Metode LCA yang digunakan adalah menggunakan metode penilaian dampak berdasarkan pedoman *Centre of Environmental Science (CML) of Leiden University*, unit fungsinya adalah pemngolahan limbah B3 seberat 1 ton limbah bekas kemasan cat, intervensi yang dilakukan dimulai dari penggunaan lahan, emisi, sampai dengan limbah akhir), analisa data menggunakan LCA IVAM 4.0 berasal dari Swiss ETH96 disesuaikan dengan situasi dan kondisi di Belanda. Gasifikasi limbah berbahaya memiliki kinerja lingkunganyang lebih baik dibandingkan dengan pembakaran konvensional (insenerator) terutama karena efisiensi energi yang tinnggi, emisi yang dihasilkan menurun terutama merkuri (Saft, 2007).

G. Dampak Lingkungan Limbah Cat

G.1. Dampak Terhadap Global Warming (Emisi Gas Rumah Kaca)

Setiap tahun rata-rata pertumbuhan emisi gas rumah kaca di Indonesia mengalami pertumbuhan sebesar 2 %, pada tahun 2020 mencapai sekitar 2.8 milyar ton CO₂ ekuivalen dan pada tahun 2030 mencapai 3,60 miliar ton CO₂ ekuivalen. Sumber utama adalah alat transportasi, pembangkit listrik yang saat ini masih menggunakan energi fosil sebagai energi utama, dan lahan gambut yang terbakar akibat ulah manusia dan cuaca ekstrim. Pada tahun 2009, Pemerintah Indonesia menetapkan target penurunan emisi karbon sebesar 26% untuk tahun 2020 mendatang. Ada 6 jenis gas yang termasuk dalam gas rumah kaca yaitu karbon

dioksida (CO_2), metana (CH_3), Nitrogen Oksida (N_2O) dan gas-gas yang mengandung flour. Peringkat pertama penyumbang terbesar adalah karbon dioksida sebanyak 70%. Guna perbaikan lingkungan dan derajat kesehatan masyarakat meskipun sektor limbah bukan kontributor terbesar dalam peningkatan emisi gas rumah kaca akan tetapi pengurangan ini penting dilaksanakan dari tingkat kabupaten sampai dengan tingkat daerah sebagaimana telah diatur dalam Perpres No. 61 tahun 2011.

Zeng Dan *et al.*, (2018) menganalisa kegiatan industri manufaktur memainkan peran dominan yang bertanggung jawab untuk sekitar 35 % penggunaan listrik global, lebih dari 20% penyumbang gas CO_2 global, dan kedepannya penghancuran mesin dan peralatan industri membutuhkan sekitar 75% konsumsi energi. Gas rumah kaca pada dasarnya secara alami ada di lingkungan akan tetapi dapat timbul akibat aktivitas manusia. Meningkatnya gas rumah kaca menyebabkan penipisan ozon atau lubang ozon, setelah diemisikan senyawa-senyawa tersebut terbawa oleh angin menuju ke stratosfer melepaskan atom halogen melalui fotodisosiasi dengan proses katalisasi pemecahan ozon menjadi oksigen, jika diteliti peningkatan emisi hidrokarbon sebanding dengan penipisan ozon. Ozon adalah senyawa yang kurang stabil dibandingkan dengan oksigen, ozon merupakan bentuk alotrop dari oksigen. Pada tahun 1840 senyawa ini ditemukan oleh Christian Friedrich Schoenbein yang berasal dari Yunani, senyawa ini berasal dari kata 'Ozein' yang berarti bau, bau aneh ini ditimbulkan ketika terjadi badai halilintar. Ozon terdapat pada atmosfer pada lapisan stratosfer dan troposfer, konsentrasinya mencapai 0,00006% di atmosfer bumi.

Ozon pada lapisan troposfer sangat berbahaya bagi kesehatan manusia meskipun konsentrasinya hanya sebesar 8% dari total konsentrasi ozon yang ada di bumi, dianggap berbahaya karena sebagai polutan udara dan merupakan komponen utama terbentuknya kabut asap “*smog*” pada konsentrasi tinggi senyawa ini berbahaya pada kesehatan. Berbeda dengan ozon pada lapisan stratosfer, senyawa ini berguna untuk melindungi bumi dari pancaran radiasi sinar ultraviolet.

Senyawa *Volatil Organic Compounds (VOC)* merupakan salah satu prekursor terbentuknya ozon troposferik yang bereaksi dengan bantuan cahaya matahari, terbentuknya ozon melalui VOC sangat kompleks terjadi pada beberapa kilo meter dari sumber polusi, senyawa VOC terbang keatas tertiup oleh angin, Ozon troposferik bersifat reaktif dan berbahaya bagi kesehatan manusia dan tersebar pada ketinggian 10-18 km dari permukaan bumi. Ozon adalah oksidator kuat yang bias bereaksi dengan senyawa kimia lain membentuk oksidan yang beracun. (Dodo, et al., 2012). Menurut Datta et al (2014) mengelompokkan tiga industri sebagai penyumbang VOC terbesar adalah pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil (41%), industri kimia (22%), *coating* dan farmasi (18%).

Borghi *et al.* (2018) menjelaskan tahap penilaian dampak dengan memilih indikator untuk mengevaluasi hasil analisis *non-renewable energy demand (NRED)*, *global warming potential (GWP)*, *water scarcity index (WSI)*, *human toxicity (HTP)* and *fresh water aquatic eco-toxicity (FAETP)*. Analisa proses mendalam dilakukan dengan lalui pendekatan LCA untuk mengidentifikasi titik panas lingkungan di seluruh siklus kehidupan. Dalam sistem kemasan khususnya berbahan baku krom

berlapis timah menunjukkan dampak tertinggi pada semua kategori dampak diatas yang diteliti untuk semua produk.

G.2. Dampak Limbah Cat bagi Kesehatan

Dewasa ini iklim dunia telah mengalami perubahan. Salah satunya parameter yang mudah diukur adalah suhu udara, dalam hal ini telah terjadi peningkatan sebanyak 0,6 % (0,9 °F) dibandingkan satu abad sebelumnya. Peningkatan tersebut akan terus berlangsung dan diperkirakan akan mencapai 1.8 °C -7,1 °C (2,7 °F sampai 10.7 °F) pada seratus tahun berikutnya jika tidak ditangani secara serius. Peristiwa ini dikenal masyarakat dengan istilah *global warming*. Efek rumah kaca atau yang disebut dengan global warming adalah peningkatan suhu rata-rata secara global dikarenakan gas-gas rumah kaca yang bersumber dari aktivitas manusia. Limbah cat termasuk kedalam senyawa-senyawa organik yang mudah menguap disebut *Volatile Organic Compounds (VOC)*, senyawa ini bersifat toksik pada organisme termasuk manusia. Pekerja yang menghirup udara yang mengandung VOC secara tidak sadar akan teracuni organ tubuhnya karena bahan ini terkandung dalam komposisi cata atau bahan lainnya berfungsi sebagai pelarut, dengan teracuninya organisme dalam satu rantai makanan maka akan menyebabkan terganggunya rantai makanan tersebut. Toluene, acetone, methyl ethyl ketone, Benzena, toluena, etilbenzena, dan xilena merupakan gas berbahaya yang terdapat dalam pelarut cat yang pelarutnya minyak, bahan-bahan tersebut apabila terpapar oleh manusia dapat menimbulkan dampak negatif bagi manusia baik bersifat akut dan kronis, paparan bahan-bahan tersebut dalam jangka panjang dapat menyebabkan kanker dan efek jangka pendeknya adalah iritasi pada organ tubuh yang terpapar

langsung seperti mata, kulit, pernafasan, disertai dengan sakit kepala, mual, dan lemahnya penglihatan dan ingatan (Padhi, 2016).

Shu Z *et al* (2015) mengukur konsentrasi dan distribusi logam dalam limbah cat selama rehabilitasi jembatan di New York, timbal dan kromium bersama logam lain telah digunakan dalam lapisan cat untuk melindungi jembatan dari korosi, konsentrasi logam barium dan kromium tertinggi terdapat pada air larian. Hasil pengukuran dari 4500 jembatan rata-rata $168,090 \text{ mg kg}^{-1}$ for Pb, $49,367$ to $799,210 \text{ mg kg}^{-1}$ for Fe, and 27 to $425,510 \text{ mg kg}^{-1}$ for Zn, 8% dari sample konsentrasinya melebihi 5000 mg kg^{-1} .

H. Strategi Pengelolaan Limbah Industri

Model pengelolaan lingkungan suatu industri bergeser dari yang bersifat pasif yaitu pembiaran menuju pengelolaan yang proaktif setelah melalui tahapan pengelolaan reaktif. Pengelolaan proaktif ditekankan pada kegiatan pencegahan timbulnya limbah dari sumbernya yang berasal dari penyimpanan bahan baku, proses produksi dan penyimpanan produk. Berbagai model pengelolaan ini telah diterapkan pada industri seperti pendekatan pengelolaan melalui pencegahan pencemaran, minimisasi limbah, produksi bersih, produktivitas hijau dan keefisiensi. Keefisiensi menggabungkan aspek ekonomi dan lingkungan sehingga suatu kegiatan memberikan keuntungan bersamaan baik dari sisi ekonomi maupun lingkungan. Model yang dikembangkan oleh WBCSD (2006) menarik bagi industri terutama dikaitkan dengan adanya penghematan biaya produksi dan atau tambahan keuntungan. Hirarki pengelolaan limbah menurut Weston dan Stuckey (1994) yang telah dimodifikasi oleh Purwanto (2009) dimulai dari

pencegahan, reduksi, penggunaan ulang, ambil atau pungut ulang dan pengolahan limbah. Tingkatan terakhir berupa penimbunan, ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 2.1. Tingkatan Pengelolaan Limbah

Pencegahan (<i>Elimination</i>)
Pengurangan (<i>Reduction</i>)
Pakai Ulang (<i>Reuse</i>) Daur Ulang (<i>Recycle</i>) Ambil/Pungut Ulang (<i>Reclaim, Recovery</i>)
Pengolahan (<i>Treatment</i>)
Penimbunan (<i>Disposal</i>)

Pengolahan limbah pada umumnya ditujukan untuk mentaati peraturan perundangan berkaitan dengan pemenuhan baku mutu lingkungan, merupakan pendekatan reaktif yang memerlukan biaya tinggi.

Purwanto (2016) menjelaskan bahwa pengolahan limbah dapat ditujukan untuk memanfaatkan limbah sebagai bahan baku yang diolah menjadi produk bermanfaat dan mempunyai nilai ekonomi, dikenal sebagai pendekatan pengelolaan *waste to product*. Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan limbah cat dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran pada proses pembuatan *paving block* dan pembuatan batako, dan agregat lainnya. Kandungan kalor pada limbah cat memungkinkan untuk dijadikannya sebagai bahan bakar industri. Strategi pengelolaan limbah berdasarkan *waste to product* tersebut dilengkapi dengan analisis kelayakan lingkungan, ekonomi, dan kesehatan keselamatan kerja.