

## **BAB II** **TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1. Laboratorium Lingkungan**

Jumlah penduduk yang terus bertambah menuntut adanya berbagai macam usaha dan kegiatan untuk memperbaiki kualitas hidup manusia yang berdampak pada penurunan kualitas lingkungan, sehingga diperlukan pengelolaan terhadap lingkungan yang arif dan bijaksana demi keberlangsungan makhluk hidup. Dalam perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup seperti yang terdapat dalam Undang-Undang Negara Republik Indonesia nomor 32 Tahun 2009, salah satu tugas dan wewenang Pemerintah Daerah adalah mengembangkan sarana dan standar laboratorium lingkungan hidup.

Unsur penting yang dapat mempengaruhi efektif dan efisien tidaknya pengelolaan lingkungan hidup di suatu negara atau daerah adalah dengan tersedia tidaknya laboratorium uji kualitas lingkungan yang mampu menghasilkan data secara kuantitatif maupun kualitatif yang valid dan *reliable*, tidak terbantahkan, serta dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah maupun secara hukum yang digunakan sebagai data monitoring kualitas lingkungan hidup.

Beberapa pengertian laboratorium diketahui yaitu laboratorium menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia berarti sebuah tempat atau kamar dan sebagainya (tertentu) yang dilengkapi dengan perlengkapan untuk mengadakan percobaan (penyelidikan dan sebagainya), sedangkan *Occupation Safety and Health Administration (OSHA)* pada tahun 1990 mendefinisikan laboratorium merupakan sebuah fasilitas dimana terjadi penggunaan sejumlah bahan kimia berbahaya dengan kuantitas yang relatif sedikit dan bertujuan bukan untuk produksi (OSHA, 2011). Laboratorium pengujian adalah laboratorium yang melaksanakan pengujian, yakni suatu kegiatan teknis yang terdiri atas penetapan, penentuan satu atau lebih sifat atau karakteristik suatu produk, bahan, peralatan, organisme, fenomena fisik, proses atau jasa, sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan (Hadi, 2007). Istilah Laboratorium Lingkungan mengacu pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor 6 Tahun 2009 tentang Laboratorium Lingkungan yaitu laboratorium yang mempunyai sertifikat akreditasi laboratorium

pengujian parameter kualitas lingkungan dan mempunyai identitas registasi pada Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Pengujian parameter kualitas lingkungan merupakan suatu kegiatan teknis yang terdiri atas penetapan dan penentuan satu sifat atau lebih parameter kualitas lingkungan sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan.

Laboratorium lingkungan mempunyai peran penting dalam menilai status lingkungan dalam mendukung tugas-tugas pemerintah terutama yang berwenang dalam pengelolaan dan perlindungan lingkungan hidup seperti Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan baik di pusat maupun daerah. Data kualitas lingkungan yang dihasilkan dapat dipergunakan sebagai dasar perencanaan, evaluasi, maupun pengawasan yang sangat berguna bagi para pengambil keputusan, perencana, penyusun program, dan sebagainya. Meningkatnya kasus-kasus pencemaran lingkungan dewasa ini dan sering kandasnya kasus-kasus lingkungan melalui proses pengadilan di Indonesia seperti pencemaran sungai atau kebakaran hutan dan lahan seringkali disebabkan oleh kurangnya data-data dan informasi serta tidak validnya data yang dikumpulkan dari lapangan maupun yang dihasilkan dari analisis laboratorium, sehingga data sebagai alat bukti pencemaran sangat lemah, dakwaan maupun pembuktian sangat lemah, dimana selanjutnya sangat mempengaruhi dalam penegakan hukum lingkungan. Kelemahan ini seringkali dimanfaatkan oleh pihak-pihak tertentu yang tidak bertanggungjawab untuk tidak melakukan pengelolaan lingkungan dengan baik.

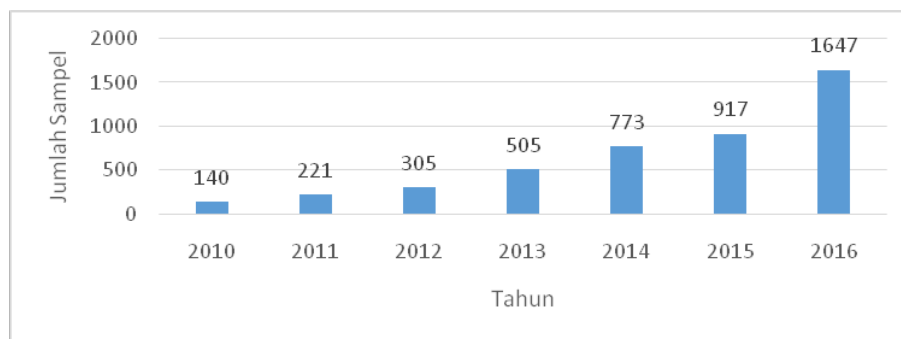
Sebagai sebuah laboratorium lingkungan, Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Kepulauan Bangka Belitung memiliki visi menjadi sebuah laboratorium yang handal, profesional dan bermutu serta berdaya saing global. Misi yang diemban adalah mewujudkan pelayanan uji laboratorium yang akurat dan terpercaya, meningkatkan kompetensi dan profesionalisme SDM laboratorium, terpenuhinya sarana penunjang pelayanan dan peralatan analisis laboratorium yang memenuhi standar dan berkualitas, meningkatkan kepercayaan masyarakat dan pelanggan terhadap pelayanan serta terciptanya koordinasi dan kemitraan dengan sektor terkait, swasta dan masyarakat (Lab. DLH, 2017).

Jasa pelayanan yang tersedia di Laboratorium BLHD Provinsi Kepulauan Bangka Belitung yaitu pengambilan contoh uji parameter air, air limbah dan udara, pengujian parameter kualitas lingkungan di laboratorium serta kerja sama dalam bentuk magang atau praktikum kimia. Sebagai penunjang kegiatan pengujian, peralatan yang dimiliki yaitu spektrofotometer uv-vis, *Atomic Absorption Spectrofotometer (AAS)*, *water purifier*, *COD reactor*, *autoclave*, *fume hood*, *laminar air flow*, *incubator*, *water bath*, *oven*, pemanas listrik, *magnetic stirrer* dan lain-lain. Sedangkan jasa analisis pengujian parameter kualitas lingkungan yang dapat dilakukan oleh laboratorium ini disajikan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Ruang lingkup analisis pengujian parameter kualitas lingkungan

Kualitas lingkungan	Parameter
Air/air limbah	DO, DHL, kekeruhan, warna, salinitas, suhu, pH, bau, rasa, Ammonia, Klorida, T. Nitrogen, Nitrit, T. Posphat, Sulfat, Kesadahan Total, Kesadahan Kalsium, Kesadahan Magnesium, TSS, TDS, TS, BOD, COD, Logam Pb, Mn, Cu, Fe, Zn, Cd, Minyak dan lemak, T. Coli, F. Coli
Udara ambien	TSP, HC, Pb, CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , Partikulat
Emisi sumber tidak bergerak	CO, TVOC, SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , HF, H <sub>2</sub> S, Opasitas, Cl <sub>2</sub> , Logam Pb, Sn, Hg, As, Sb, Cd, Zn, NH <sub>3</sub> , HCl, Partikulat
Lain-lain	analisis kebisingan, suhu dan kelembaban, arah dan kecepatan angin

Sumber : Lab DLH, 2017



Gambar 2.1. Data kenaikan jumlah sampel per tahun, sumber : Lab DLH, 2017

Sejak beroperasi pada tahun 2008, kegiatan pengujian di Laboratorium DLH Provinsi Kepulauan Bangka Belitung terus meningkat setiap tahunnya ditandai dengan naiknya sampel yang masuk seiring kemajuan pembangunan di wilayah Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Kenaikan jumlah sampel yang datang selain

berdampak positif bagi Pendapatan Asli Daerah Provinsi Kepulauan Bangka Belitung juga berdampak negatif bagi lingkungan karena meningkatnya aktivitas laboratorium dalam rangka pengujian terhadap sampel yang masuk akan berbanding lurus dengan jumlah limbah yang dihasilkan.

Walaupun telah memiliki unit IPAL sejak tahun 2015, namun hingga saat ini belum dapat dioperasikan karena belum mendapat izin pengelolaan lingkungan yang berkaitan dengan pengolahan limbah cair. Pengelolaan limbah cair yang sudah dilakukan oleh laboratorium ini baru pada tahap pengumpulan dan penyimpanan. Data limbah cair terkumpul sampai dengan tahun 2016 sebanyak 327 wadah berupa jeriken ukuran 20 liter dari berbagai jenis parameter yang telah dianalisis.

## **2.2. ISO/IEC 17025 dan *Good Laboratory Practice***

ISO/IEC 17025 adalah standar internasional untuk sistem kualitas dalam pengujian dan kalibrasi laboratorium yang digunakan sebagai dasar untuk akreditasi laboratorium (Huber, 2009). Dengan akreditasi ISO/IEC 17025, laboratorium mampu memperagakan kemampuannya dalam hal penerapan sistem manajemen mutu, secara teknis kompeten dan mampu menyajikan hasil yang absah secara teknis (Hadi, 2007).

Menerapkan ISO/IEC 17025 sebagai bagian dari insiatif mutu laboratorium memberikan manfaat bisnis antara lain, memiliki akses ke kontrak/kerjasama lebih luas untuk pengujian karena banyak organisasi publik dan swasta hanya memberikan kontrak kepada laboratorium yang telah terakreditasi, peningkatan reputasi secara nasional dan global akan citra laboratorium, meningkatkan kualitas data dan efektifitas laboratorium secara terus-menerus serta memiliki dasar untuk banyak sistem mutu lainnya yang berkaitan dengan laboratorium seperti *Good Manufacturing Practice* dan *Good Laboratory Practice*.

Penerapan ISO/IEC 17025 pada sebuah laboratorium memiliki arti yang lebih luas dalam hal dokumentasi, selain menghilangkan keraguan pada penerapan *Good Laboratory Practice (GLP)* dengan menggunakan analisa yang berkualitas, memeriksa kinerja peralatan yang digunakan untuk pengujian dan memvalidasi

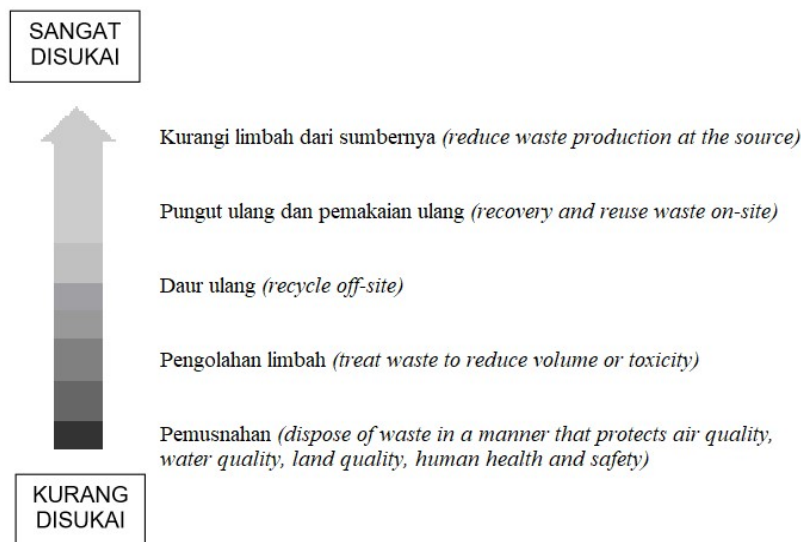
metode analisis, juga memerlukan dokumentasi resmi untuk hampir segala kegiatannya (Huber, 2009). OECD (*Organization for Economic Co-operation and Development*) pada tahun 1981 telah menetapkan bahwa terhadap data yang dihasilkan dari pengujian kimia harus diterima antar negara anggota OECD jika pengujian tersebut telah sesuai dengan pedoman dan pengujian serta prinsip GLP untuk menghindari duplikasi pengujian, sehingga hemat dari segi biaya dan waktu, mengurangi limbah laboratorium serta meningkatkan perlindungan terhadap manusia dan lingkungan (Hadi, 2007).

### **2.3. Manajemen Limbah Laboratorium**

Dalam *Prudent Practice Laboratory* (National Research Council, 2011) laboratorium lingkungan menghasilkan limbah berbahaya dan mengandung berbagai kombinasi bahan kimia. Pengelolaan limbah dengan penuh kehati-hatian diperlukan untuk melindungi kesehatan dan keselamatan semua pekerja laboratorium yang menangani, memproses, menyimpan serta membuang limbah untuk meminimalkan potensi bahaya terhadap manusia dan lingkungan. Adanya potensi berbagai dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan, membuat laboratorium mempunyai tanggung jawab untuk mengurangi konsekuensi lingkungan dari aktivitasnya (Lopez dan Badrick, 2012) sehingga jelas bahwa setiap laboratorium harus mengembangkan program pengelolaan limbah yang komprehensif untuk memastikan penanganan dan pembuangan limbah yang aman. Dalam hal ini, laboratorium harus mengikuti serangkaian praktik minimisasi limbah yang berlaku umum agar kepatuhan lebih mudah untuk dicapai, mengurangi biaya yang berhubungan dengan limbah, dan meminimalkan dampak lingkungan dengan memperhatikan kualitas dan ketelitian dari sistem pengelolaan limbah, prinsip *good housekeeping* dan penggunaan material yang efisien (Stricoff dan Walters, 1995). Menurut *American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation* pada tahun 1999, minimisasi limbah atau pencegahan polusi merupakan pendekatan yang lebih disukai dalam pengelolaan limbah laboratorium, dilihat dari segi ekonomi menguntungkan sebab mengurangi biaya dan kewajiban yang

terkait dengan pembuangan limbah sekaligus untuk memenuhi persyaratan peraturan. Sebelumnya pada tahun 1990 terbit *Pollution Prevention Act (PPA)* yang ditandatangani oleh Presiden George Bush dan dikenal sebagai hirarki pengelolaan limbah (US EPA, 1995) dengan pencantuman unsur hirarki sesuai urutan prioritas (*National Research Council, 2011*) sebagai berikut :

- a. *Source reduction*, pencemaran harus dicegah atau dikurangi dari sumbernya jika memungkinkan.
- b. *Recycling*, pencemaran yang tidak dapat dicegah harus didaur ulang dengan cara yang ramah lingkungan bila memungkinkan.
- c. *Treatment*, pencemaran yang tidak dapat dicegah atau didaur ulang harus ditangani dengan cara yang ramah lingkungan bila memungkinkan.
- d. *Disposal*, pembuangan atau pelepasan ke lingkungan digunakan hanya sebagai upaya terakhir dan harus dilakukan dengan cara yang aman.



Gambar 2.2. Tingkatan pengelolaan limbah, sumber : Turang, 2006 adaptasi UIUC Chemical Waste Management Guide.

Hirarki manajemen limbah digambarkan (gambar 2.2) oleh Turang (2006) dengan mengutip *UIUC Chemical Waste Management Guide*, menunjukkan metode yang dapat ditempuh serta sesuai dengan pengelolaan limbah bahan kimia berbahaya di laboratorium. Tingkatan paling atas merupakan pilihan yang sering dipakai manajemen laboratorium yaitu dengan cara mengurangi jumlah bahan

kimia yang berpotensi menjadi limbah sejak dari proses perencanaan pembelian dan pengadaan bahan tersebut untuk mengurangi polusi akibat limbah bahan kimia. Namun tidak semua jenis bahan kimia dapat dikurangi jumlahnya pada proses di laboratorium, sehingga tingkatan yang berada dibawahnya diharapkan dapat menjadi solusi bagi pengelola, demikian seterusnya sampai pada suatu kondisi dimana bahan kimia tersebut harus dibuang sebagai limbah melalui saluran pembuangan, *landfill*, insenerator atau ke udara atmosfer. Tingkatan terbawah ini kurang disukai bagi pengelola laboratorium yang ingin tetap memelihara lingkungan.

Wisconsin-Madison University Safety Department (2002) menerbitkan *Pollution Prevention and Waste Minimization* yang mengemukakan konsep *green laboratory* yang didesain untuk mengurangi polusi yang ditimbulkan oleh laboratorium dan merupakan desain pengembangan dan penerapan pada proses dan produk kimia yang bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan penggunaan dan generasi zat berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan untuk meminimalkan dampak lingkungan dari operasional sebuah laboratorium. Pencegahan pencemaran dengan mengurangi polusi dari sumbernya dapat dilakukan dengan (1) modifikasi proses, (2) perbaikan operasional, (3) substitusi bahan, (4) modifikasi produk. Selain itu dalam *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA* (1999) mengatakan bahwa perbaikan prosedur, dokumentasi yang baik serta pelatihan laboratorium dapat meningkatkan kesadaran minimisasi limbah dan praktik pembuangan yang tepat.

*American Chemical Society (ACS)* (2002) dalam *Less is Better* menguraikan konsep minimisasi limbah yang dapat diadopsi oleh laboratorium yaitu

- a. *buy less* : hanya membeli bahan kimia dan jumlah yang dibutuhkan dalam kurun waktu tertentu, menurut APHA (1999) mengacu pada Ashbrook dan Reinhardt (1985) pembelian dalam jumlah besar terlihat lebih ekonomis, namun pembuangan materi di masa yang akan datang serta kemungkinan kedaluwarsa juga harus dipertimbangkan,
- b. *store less* : menyimpan bahan kimia berlebihan dapat meningkatkan risiko kebakaran, tumpahan dan kebocoran, bahkan beberapa bahan kimia dapat

menjadi reaktif dan meledak karena usia. Menurut APHA (1999) merujuk pada Pine (1984) pengalihan bahan kimia yang tidak digunakan lagi ke tempat lain dimana bahan kimia tersebut dapat dimanfaatkan atau ke institusi lain merupakan cara untuk meminimalkan limbah,

- c. *use less* : menggunakan volume atau jumlah yang lebih kecil dapat memelihara keamanan bagi manusia dan lingkungan di laboratorium. Mengurangi skala proses laboratorium menurut Wisconsin-Madison University Safety Department (2002) bermanfaat tidak hanya mengurangi serta mencegah polusi namun juga (1) mengurangi biaya karena menggunakan jumlah bahan kimia yang lebih sedikit, mengurangi jumlah tempat penyimpanan serta akan mengurangi limbah kimia, (2) percobaan dengan skala kecil biasanya lebih cepat, (3) pemanasan atau pendingin tentunya lebih mudah dengan volume yang lebih kecil, (4) mengurangi paparan bahan kimia, (5) mengurangi tingkat risiko dan tingkat keparahan akibat kecelakaan, kebakaran atau ledakan, serta (6) kehilangan akibat penguapan dapat diminimasi. Implementasi yang mudah dilakukan selain meminimisasi jumlah bahan kimia yang digunakan adalah rapi dan cermat dalam bekerja dengan bahan kimia untuk meminimalkan tumpahan serta menjaga bahan kimia yang mudah menguap dengan menutup atau menyegel wadahnya untuk mencegah kebocoran dan penguapan ke lingkungan.

Implementasi praktik manajemen limbah di laboratorium dalam Stricoff dan Walters (1995) yaitu :

- a. Pemisahan limbah, salah satu tindakan *good housekeeping* untuk meminimisasi volume limbah dan biaya pembuangan yaitu tidak mencampur limbah tak berbahaya dengan limbah berbahaya karena campuran harus diperlakukan sebagai bahan berbahaya yang akan meningkatkan biaya dan tanggungjawab terhadap limbah tersebut. Pemisahan limbah berbahaya juga dilakukan sesuai jenis dan macamnya untuk menjaga sifat limbah, membuat daur ulang dan pengolahan lebih mudah dan murah. Melalui perawatan dan inspeksi berkala, laboratorium dapat menghindari terjadinya tumpahan dan kebocoran sebagai upaya pencegahan dan mengurangi generasi limbah.



- b. Substitusi bahan berbahaya dengan bahan lain dengan toksisitas rendah. Hal ini bukan hanya mengurangi sejumlah limbah bahan berbahaya terbentuk namun juga mengurangi risiko kesehatan dan keselamatan serta dampak lingkungan yang berhubungan dengan bahan berbahaya.
- c. Manajemen inventarisasi bahan kimia perlu dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi bahan kimia atau bahan berbahaya yang kedaluwarsa, diluar spesifikasi maupun yang terdegradasi, serta melaksanakan kebijakan *first-in/first-out* yaitu menggunakan bahan yang lama terlebih dahulu sebelum menggunakan yang baru.
- d. *Recovery*. Laboratorium dapat memungut ulang pelarut atau memisahkan kontaminan melalui teknik *ion-exchange*, *ultrafiltration*, *reverse osmosis*, *centrifugation* atau distilasi untuk mengurangi biaya bahan baku dan pembuangan limbah. Walaupun pada laboratorium air dan air limbah prinsip daur ulang dan *recovery* memiliki potensi terbatas karena volume umumnya terlalu kecil serta persyaratan kemurnian yang tinggi, namun pelarut organik dapat di suling, dipulihkan sehingga dapat digunakan kembali (APHA, 1999).
- e. *On site treatment* yang merupakan pilihan terakhir pada hirarki manajemen limbah. Laboratorium melakukan pengolahan dengan memasukkan semua limbah pada aliran air limbah. Hal ini akan mereduksi volume limbah berbahaya yang terbentuk.

#### 2.4. *Green analytical chemistry*

Konsep *green laboratory* dikemukakan oleh Wisconsin-Madison University (2002) dengan mengurangi skala proses laboratorium untuk meminimisasi dan mencegah polusi serta menekan biaya karena menggunakan jumlah bahan kimia yang lebih sedikit dan pada akhirnya mereduksi timbulan limbah kimia. Sebelumnya konsep *green chemistry* dikemukakan oleh Anastas (1999) bahwa dalam penggunaan bahan kimia, teknik dan metode bertujuan untuk mengurangi bahkan menghilangkan penggunaan atau generasi bahan baku, produk, produk samping, pelarut dan pereaksi serta lain-lain yang berbahaya bagi manusia dan lingkungan. Hal ini secara singkat dapat diartikan sebagai sebuah pencegahan

pencemaran dalam penggunaan bahan kimia (Armenta, dkk, 2008) dan berakar pada pembangunan berkelanjutan (Galuszka, 2013). Menurut Purwanto (2013) *green chemistry*, *benign chemistry*, *clean chemistry* atau kimia ramah lingkungan juga diartikan dengan mendesain bahan kimia sintesis yang menggunakan bahan berbahaya sesedikit mungkin dan limbah yang ditimbulkan menjadi minimal, dan merupakan tingkatan dasar Produksi Bersih. Dua belas prinsip-prinsip *green chemistry* menjadi dasar panduan yang menyediakan kerangka kerja tindakan-tindakan untuk membuat produk dan proses kimia lebih ramah lingkungan serta dapat dikembangkan oleh para ahli kimia dengan bidang yang berbeda seperti sintesis organik, teknik kimia maupun kimia analitik (Tobiszewski, dkk, 2015).

Kegiatan kimia ramah lingkungan yang lebih spesifik dengan istilah *green analytical chemistry (GAC)*, *environmentally friendly analytical chemistry*, atau *clean analytical methods*, semuanya menggambarkan metode analisis yang menghilangkan atau mereduksi penggunaan pereaksi beracun dan menghasilkan lebih sedikit residu yang berdampak rendah (Melchert, dkk, 2012) dapat membuat praktik di laboratorium menjadi lebih ramah lingkungan dimana selain mengembangkan instrumentasi dan metodologi yang diperlukan untuk perbaikan kualitas analisis kimia, upaya juga dilakukan untuk mengurangi dampak negatif dari aktivitas analisis kimia terhadap lingkungan serta kemungkinan penerapan prinsip pembangunan berkelanjutan di sebuah laboratorium pengujian (Galuszka, 2013). Menurut Armenta, dkk (2008) latar belakang GAC bersumber dari situasi paradoks yang muncul pada tahun 1990-an dimana metode dikembangkan untuk menganalisis berbagai jenis sampel lingkungan menghasilkan sejumlah limbah kimia yang berdampak besar bagi manusia dan lingkungan, bahkan dalam beberapa keadaan bahan kimia yang digunakan dalam analisis lebih beracun daripada parameter yang diujikan. Keadaan seperti ini menyebabkan GAC dimulai sebagai pencarian praktik alternatif pengelolaan limbah dan sisa sebagai pengganti metode yang menimbulkan polusi dengan hal yang lebih bersih. Lebih lanjut Tobiszewski, dkk (2015) mengatakan proses analisis di laboratorium yang mengacu pada penentuan zat tertentu disatu sisi menimbulkan emisi dan polusi rendah namun terdispersi sehingga sulit untuk dikendalikan. Berbeda dengan

proses industri yang tentunya memiliki skala lebih besar, dengan tujuan utama untuk mendapatkan produk tertentu, bahan masuk menjadi input dalam proses dan yang tidak membentuk produk akhir dianggap sebagai limbah. Sedangkan proses analisis menghasilkan produk yang sangat spesifik, yaitu hasil analisis (*result of analysis*) sehingga semua masukan material termasuk energi untuk proses analisis berkontribusi terhadap pembangkitan limbah dan emisi.

Menurut de la Guardia (2010) GAC melibatkan kompromi etis antara lingkungan dan manusia sekaligus menciptakan banyak peluang secara ekonomi sehingga upaya untuk memajukan GAC ini telah meningkat dari tahun ke tahun, telah banyak alat yang diciptakan untuk menggantikan pereaksi yang bersifat racun maupun pelarut yang menimbulkan polusi untuk meminimalkan konsumsi energi dan bahan kimia untuk menghindari terbentuknya limbah. Sebagai sebuah pendekatan baru dalam kimia analisis menurut Namieśnik (2000) *green analytical chemistry* memiliki prioritas utama sebagai berikut,

1. Eliminasi (setidaknya pengurangan yang signifikan) konsumsi pereaksi dari prosedur analisis, terutama pelarut organik.
2. Pengurangan emisi uap dan gas, serta limbah cair dan padat yang dihasilkan oleh laboratorium analisis.
3. Eliminasi pereaksi yang mempunyai toksisitas tinggi pada prosedur analisis, contohnya mengganti benzene dengan pelarut lain.
4. Pengurangan laboran dan konsumsi energi pada prosedur analitis per satuan pengujian.

Tobiszewski, dkk (2015) dalam studinya juga mengatakan bahwa limbah proses analisis tidak dapat dihilangkan, namun volumenya dapat dikurangi dengan mengukur secara tepat dampak lingkungan dari metode atau prosedur analisis serta alternatif yang dapat dilakukan.

## **2.5. Bahan Kimia, Keselamatan dan Kesehatan Kerja**

Meskipun melibatkan penggunaan sejumlah bahan kimia yang mungkin berbahaya dalam aktivitasnya, laboratorium dianggap sebagai tempat kerja yang aman karena hanya mengkonsumsi sedikit bahan kimia (Abbas, dkk, 2016) namun

aktivitas laboratorium berkontribusi terhadap pembangkitan limbah secara kuantitas namun mengandung banyak jenis bahan kimia, banyak di antaranya beracun dan tidak diketahui komposisinya (Nascimento dan Filho, 2010).

Adanya budaya baru keamanan dan keselamatan laboratorium (National Research Council, 2010) menekankan perencanaan eksperimental yang mencakup perhatian rutin terhadap penilaian risiko dan pertimbangan bahaya bagi pekerja dan orang lain. Setiap pekerja di laboratorium harus mengetahui potensi bahaya sekaligus harus mengurangi seminimal mungkin. Bahaya paparan bahan kimia beracun meliputi toksisitas akut, iritasi, zat korosif, alergen dan sensitizer, asfiksia, neurotoksin, toksin reproduksi, toksin perkembangan, zat beracun, dan karsinogen. Sebuah laboratorium mungkin saja dapat terkena berbagai risiko, baik dari dalam maupun dari luar. Beberapa risiko dapat mempengaruhi terutama laboratorium itu sendiri karena bahaya bahan kimia yang mudah terbakar, meledak, dan reaktif menimbulkan risiko besar bagi petugas laboratorium, yang jika tidak ditangani dengan benar akan berpengaruh pada lingkungan. Selain itu, hampir semua kegiatan laboratorium menghasilkan limbah, termasuk tumpahan bahan kimia. Limbah laboratorium meliputi wadah bahan kimia, media saring, larutan berair, dan bahan kimia berbahaya. Limbah ini berpotensi berbahaya jika memiliki satu atau lebih sifat berikut yaitu mudah terbakar, korosif, reaktif, atau beracun. Dalam hal ini pengetahuan dan informasi bahan kimia yang terkandung dalam Lembar Data Keselamatan (*Material Safety Data Sheets - MSDS*) sangat membantu untuk meminimalkan berbagai risiko yang dihadapi pekerja dan lingkungan sekitar laboratorium dan saat ini merupakan salah satu sumber informasi terbaik untuk mengevaluasi bahaya dan menilai risiko bahan kimia termasuk langkah-langkah keamanan yang dapat diikuti oleh pengguna. Informasi dimaksudkan untuk manajemen dan personil laboratorium terkait dengan bahaya bahan kimia ditangani, dan digunakan sebagai sumber pengelolaan bahan kimia. Personil laboratorium dapat mengevaluasi informasi dan menggunakannya untuk mengembangkan kebijakan prosedur keselamatan dan tanggap darurat, protokol, dan prosedur yang disesuaikan dengan tempat kerja atau laboratorium.

Menurut OSHA (2011) MSDS bahan kimia yang digunakan di laboratorium

harus terpelihara dan mudah di akses oleh pekerja laboratorium. Dengan adanya *Globally Harmonized System* yang diterbitkan oleh PBB pada tahun 2003 MSDS lebih singkat menjadi *Safety Data Sheet (SDS)*. GHS bertujuan agar SDS memiliki keseragaman internasional dalam semua bahasa, sehingga SDS diseluruh dunia dalam bahasa apapun memiliki 16 bagian utama yang sama (Willey, 2012) yaitu (1) identifikasi bahan, (2) identifikasi bahaya, (3) komposisi / informasi bahan, (4) tindakan pertolongan pertama, (5) tindakan pemadaman kebakaran, (6) tindakan pelepasan tidak disengaja, (7) penanganan dan penyimpanan, (8) pengendalian paparan/perlindungan pribadi, (9) sifat fisika dan kimia, (10) stabilitas dan reaktivitas, (11) informasi toksikologi, (12) informasi ekologis, (13) pertimbangan pembuangan, (14) informasi transportasi, (15) informasi peraturan, dan (16) informasi lainnya.

## **2.6. Emisi Karbondioksida**

Semua aktivitas manusia berdampak pada lingkungan, dimana kontribusi terhadap pemanasan global dan perubahan iklim dapat dihasilkan baik secara langsung maupun tidak langsung dilepaskan pada saat pembakaran bahan bakar fosil. Aktivitas dan operasional sebuah laboratorium melibatkan penggunaan sumber daya berupa bahan kimia, air dan energi, serta menghasilkan limbah dan emisi dari proses pengujian parameter kualitas lingkungan, sehingga menurut Lopez dan Badrick (2012) sebuah laboratorium seharusnya menyadari jejak karbon dari aktivitas yang dilakukannya serta segera mengambil langkah untuk pengurangan sebagai bagian dari tanggung jawab sosial.

Dalam Draft Petunjuk Teknis Perhitungan Emisi GRK pada Sektor Industri, Badan Pengkajian Kebijakan Iklim dan Mutu Industri Kementerian Perindustrian (2012), Gas Rumah Kaca merupakan gas yang berpengaruh baik secara langsung maupun tidak langsung terhadap efek rumah kaca yang menyebabkan perubahan iklim. Dalam konvensi PBB mengenai Perubahan Iklim ada enam jenis yang digolongkan sebagai GRK yaitu karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ), gas metan ( $\text{CH}_4$ ), dinitrogen oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ), sulfurheksafluorida ( $\text{SF}_6$ ), perfluorokarbon (PFCS) dan hidrofluorokarbon (HFCS). Selain itu ada beberapa gas yang juga termasuk dalam

GRK yaitu karbonmonoksida (CO), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), klorofluorokarbon (CFC), dan gas-gas organik *non metal volatile*. Ilmuwan menggunakan istilah GWP (*Global Warming Potential*) untuk membandingkan kekuatan pengaruh antara gas-gas rumah kaca tersebut terhadap pemanasan global (Team SOS, 2011). GWP didefinisikan sebagai ukuran pengaruh suatu gas rumah kaca dalam satuan berat terhadap pemanasan global. Ilmuwan juga membandingkan GWP antara gas-gas rumah kaca dengan CO<sub>2</sub> sehingga GWP CO<sub>2</sub> sama dengan 1.

Penyebab utama dari emisi GRK menurut UNEP dan UNFCCC (2002) adalah aktivitas manusia, dari pembakaran bahan bakar fosil, penebangan dan pembakaran hutan. Lebih lanjut Alikodra (2012) mengatakan bahwa pemanasan global terjadi karena penambahan konsentrasi GRK yang dihasilkan dari emisi sebagai hasil kegiatan manusia seperti limbah, perindustrian, deforestasi atau kegiatan pertanian. Sumber emisi GRK pada sektor industri berasal dari penggunaan energi khususnya energi fosil, proses produksi dan limbah (BPKIMI Kementerian Perindustrian RI, 2012). Emisi yang dihasilkan terutama emisi CO<sub>2</sub> pada industri dalam Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Tahun 2014 sebagian besar berasal dari penggunaan energi dan proses produksi.

Menurut Purwanto (2013) karbondioksida memang bukan merupakan pencemar karena tidak beracun, namun mempunyai kontribusi yang cukup berarti pada pemanasan global. Produksi bersih terintegrasi pada proses dan semua aktivitas produksi sebagai sebuah upaya pengelolaan lingkungan *preventive* dan menyeluruh dapat menghemat bahan baku dan energi, mengurangi dan menghilangkan penggunaan jumlah bahan berbahaya dan beracun, toksisitas emisi dan limbah pada sumbernya. Sehingga strategi produksi bersih ini dapat mengurangi jumlah emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari proses produksi melalui evaluasi input dan output lima entitas yaitu air, penggunaan bahan bakar dan listrik, limbah cair dan limbah padat (Raman dan Rahim, 2017).

## **2.7. Konsep Produksi Bersih**

Produksi Bersih seperti yang diungkapkan oleh Van Berkel (2000) mulai dikenal dan dipraktikkan pada industri kimia sekitar tahun 1970 an dengan

perintis yang terkenal yaitu perusahaan 3M dengan program *Pollution Prevention Pays (3P)*. Konsep yang memadukan aspek ekonomi dan lingkungan ini berupa minimisasi limbah dan pencegahan pencemaran untuk menjawab permasalahan lingkungan yang semakin kompleks. Program 3P yang dijalankan pada proses dan produk memberi kesuksesan pada 3M dimana dalam jangka waktu 20 tahun dapat melakukan lebih dari 4000 proyek yang mencegah pencemaran lebih dari 1,2 *billion pound* pencemaran ke udara, tanah dan air serta menurunkan biaya produksi (Purwanto, 2013).

Produksi Bersih didefinisikan oleh UNEP pada tahun 1991 sebagai penerapan strategi pengelolaan lingkungan yang terus-menerus dan terpadu pada proses, produk dan jasa untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi risiko terhadap manusia dan lingkungan (Vieira dan Amaral, 2016). Istilah Produksi Bersih (*Cleaner Production*) sering digunakan bergantian dengan Pencegahan Pencemaran (*Pollution Prevention*), namun jika Produksi Bersih menekankan perubahan dalam berbagai unsur dalam pengelolaan lingkungan, Pencegahan Pencemaran digunakan untuk menggambarkan perbaikan lingkungan sebagai akibat dari perubahan teknologi. Selain itu istilah Pencegahan Pencemaran digunakan di Amerika Utara, sedangkan Produksi Bersih umum digunakan di Eropa, Asia dan Australia (Lopes Silva, dkk., 2013).

Lebih lanjut dalam Purwanto (2013) penerapan produksi bersih pada proses artinya meningkatkan efisiensi pemakaian bahan baku, energi, mencegah atau mengganti penggunaan bahan berbahaya dan beracun, mengurangi jumlah dan tingkat racun semua emisi dan limbah sebelum meninggalkan proses. Pada produk artinya mengurangi dampak lingkungan selama daur hidup produk, mulai dari penggunaan bahan baku sampai dengan pembuangan akhir setelah produk tersebut tidak bisa digunakan lagi. Sedangkan pada jasa atau *service* artinya memadukan pertimbangan lingkungan ke dalam perancangan dan layanan jasa.

Tujuan penerapan produksi bersih, Indrasti dan Fauzi (2009) adalah untuk meningkatkan produktivitas dengan memberikan tingkat efisiensi yang lebih baik pada penggunaan bahan mentah, energi dan air, mendorong performansi lingkungan yang lebih baik melalui pengurangan sumber pembangkit limbah dan

emisi serta mereduksi dampak produk terhadap lingkungan dari siklus hidup produk dengan rancangan ramah lingkungan namun efektif dari segi biaya.

## 2.8. Prinsip Produksi Bersih

Pola pendekatan dan prinsip produksi bersih dirumuskan oleh UNEP pada tahun 1999 sebagai hirarki 1E4R yaitu *Elimination, Reduce, Reuse, Recycle* dan *Recovery*, sedangkan Kementerian Lingkungan Hidup RI dalam Kebijakan Nasional Produksi Bersih pada tahun 2003 merumuskan prinsip produksi bersih dengan 5R yaitu *Rethink, Reduce, Reuse, Recycle, dan Recovery* (Purwanto, 2013) dengan penjelasan sebagai berikut :

- a. *Elimination* (pencegahan) adalah upaya mencegah timbulan limbah langsung dari sumbernya mulai dari bahan baku, proses produksi sampai produk.
- b. *Rethink* (berpikir ulang) adalah suatu konsep pemikiran yang harus dimiliki pada saat awal kegiatan akan beroperasi dengan implikasi (1) perubahan dalam pola produksi dan konsumsi berlaku baik pada proses maupun produk yang dihasilkan, sehingga harus memahami analisis daur hidup produk atau yang dikenal dengan *LCA-Life Cycle Analysis*, (2) upaya produksi bersih tidak akan dapat berhasil tanpa campur tangan semua pihak yaitu pemerintah, masyarakat dan kalangan usaha terutama pada perubahan dalam pola pikir, sikap dan tingkah laku.
- c. *Reduce* (pengurangan) adalah upaya menurunkan atau mengurangi limbah yang dihasilkan dari sumbernya.
- d. *Reuse* (pakai ulang atau penggunaan kembali) adalah upaya yang memungkinkan suatu limbah dapat digunakan kembali tanpa perlakuan fisika, kimia atau biologi.
- e. *Recycle* (daur ulang) adalah upaya mendaur ulang limbah untuk memanfaatkan limbah dengan memprosesnya kembali ke proses semula melalui perlakuan fisika, kimia dan biologi.
- f. *Recovery* atau *reclaim* (pungut ulang atau ambil alih) adalah upaya mengambil bahan-bahan yang masih mempunyai nilai ekonomi dari suatu



limbah, kemudian dikembalikan ke dalam proses produksi dengan atau tanpa perlakuan fisika, kimia dan biologi.

Terkait dengan permasalahan jika masih terdapat limbah terbentuk maka dapat dilakukan strategi berikut sebagai upaya terakhir yaitu :

- g. *Treatment* (pengolahan), dilaksanakan agar buangan memenuhi baku mutu lingkungan.
- h. *Disposal* (pembuangan), limbah yang termasuk dalam kategori berbahaya dan beracun perlu dilakukan penanganan khusus.

Pada hirarki prioritas manajemen limbah, yang menjadi prioritas utama adalah dengan mengurangi konsumsi bahan baku yang berpotensi menimbulkan limbah. Dengan adanya pengurangan volume dalam proses diharapkan dapat mengurangi pula jumlah limbah beracun yang dihasilkan, selanjutnya akan mengurangi biaya operasi, akan mengurangi kesulitan pengolahan limbah serta mengurangi kemungkinan timbulnya penyakit dan pengaruh buruk terhadap manusia dan lingkungan.

## 2.9. Tindakan Produksi Bersih

Secara umum tindakan produksi bersih menurut Purwanto (2013) dikelompokkan dalam :

1. *Good housekeeping*, dalam Indrasti dan Fauzi (2009) yaitu mencakup tindakan prosedural, administratif maupun institusional yang dapat digunakan untuk mengurangi terbentuknya limbah atau emisi. Konsep ini telah banyak digunakan agar dapat meningkatkan efisiensi dengan cara *good operating practice* yang mencakup :
  - a. Pengembangan program *cleaner production*,
  - b. Pengembangan sumber daya manusia
  - c. Tatacara penanganan dan investasi bahan,
  - d. Pencegahan kehilangan bahan/material,
  - e. Pemisahan limbah menurut jenisnya,
  - f. Tatacara perhitungan biaya,
  - g. Penjadwalan produksi.

Tata kelola yang baik merupakan serangkaian kegiatan yang dilakukan atas kemauan sendiri dalam memberdayakan sumber daya yang dimiliki untuk mengatur penggunaan bahan baku, air dan energi secara optimal dan bertujuan untuk meningkatkan produktivitas kerja dan upaya pencegahan pencemaran lingkungan (KLH, 2003). Manfaat *good housekeeping* sendiri berupa penghematan biaya, kinerja lingkungan hidup yang lebih baik dan penyempurnaan organisasional (GTZ-ProLH, 2007).

2. Perbaikan prosedur operasi, merupakan upaya untuk mengembangkan dan memodifikasi prosedur operasi standar maupun prosedur perawatan dengan langkah yang lebih praktis dan efisien.
3. Penggantian bahan baku dengan bahan yang kurang berbahaya dan kurang beracun, bahan yang lebih murni, bahan yang tidak mudah rusak dan bahan yang menimbulkan limbah namun dapat terurai secara alami di lingkungan.
4. Perbaikan proses dan teknologi seperti perubahan tata letak (*lay out*), otomatisasi, perbaikan kondisi operasi, perbaikan serta modifikasi peralatan.
5. Penggantian teknologi baru, untuk meningkatkan efisiensi pemakaian bahan dan energi serta menurunkan timbulan limbah.
6. Penyesuaian spesifikasi produk dengan merancang produk yang mempunyai dampak negatif lingkungan lebih rendah dengan menggunakan bahan yang kurang berbahaya dan menimbulkan sedikit limbah dan memperpanjang umur produk.

## **2.10. Penerapan Produksi Bersih**

Menurut Indrasti dan Fauzi (2009) penerapan produksi bersih meliputi pengelolaan seluruh aspek kegiatan perusahaan sebagai upaya untuk meningkatkan efisiensi produksi dan limbah yang dihasilkan. Karenanya menerapkan produksi bersih pada suatu industri memerlukan metodologi dan prosedur untuk mengaturnya, bahkan banyak organisasi yang mengeluarkan manual-manual produksi bersih dengan berbagai macam kelengkapan, namun pada dasarnya semua memiliki prinsip yang sama yaitu memusatkan pada proses produksi, identifikasi pemakaian sumber daya mengurangi bahan-bahan beracun

serta potensi munculnya limbah. Meski pada awalnya produksi bersih banyak diterapkan pada sektor industri dengan *eco-efficiency*, secara umum menurut Purwanto (2013) produksi bersih juga dapat diterapkan pada berbagai sektor baik sektor produksi, produk maupun jasa untuk mencapai keefisiensi dan sudah banyak diterapkan seperti pada pertanian dengan *eco-farm*, perhotelan : *eco-hotel*, rumah sakit : *eco-hospital* atau perkantoran : *eco-office*.

Praktek penerapan produksi bersih dapat dilakukan dari pengelolaan internal melalui *good housekeeping* sampai pada tahapan penggantian teknologi ramah lingkungan yang memerlukan investasi. Langkah penerapan diawali dengan komitmen dari pemilik ataupun *top management* untuk melakukan efisiensi. Kemudian diikuti dengan kajian dan penentuan peluang yang dapat diterapkan dan apabila berhasil selalu dicari peluang baru untuk dilakukan upaya perbaikan yang terus menerus. Langkah-langkah penerapan produksi bersih menurut Bishop (2000) yang dijelaskan dalam Purwanto (2013) :

a. Perencanaan dan organisasi

Langkah ini sangat menentukan dan memerlukan komitmen dari manajemen untuk melakukan penerapan produksi bersih. Komitmen, visi dan misi perusahaan untuk mengelola lingkungan dikomunikasikan kepada seluruh karyawan, sehingga karyawan dapat mengetahui, mendukung dan bekerjasama dengan manajemen untuk melakukan kegiatan yang dapat mengurangi potensi timbulnya limbah. Selain itu hal ini memerlukan perencanaan yang baik, pengetahuan tentang produksi bersih, *skill* pekerja dan adanya umpan balik serta perbaikan.

b. Kajian dan identifikasi peluang

Kajian peluang produksi bersih dapat dilaksanakan dengan melakukan kajian awal dan kajian rinci. Kajian awal yang menggunakan metode diagram alir proses, diagram alir kegiatan untuk memberikan informasi dasar terkait proses kegiatan, aliran bahan, energi, produk, layanan dan timbulan limbah yang diikuti dengan peninjauan lapangan mengikuti langkah pada diagram alir. Hal-hal yang diamati secara fisik tempat penyimpanan bahan baku, cara penanganan, penyediaan utilitas dan penyimpanan produk termasuk keadaan

rantai dan kebocoran. Dapat juga dilengkapi dengan daftar periksa tentang masalah-masalah yang ada pada gudang, proses, kerumahtanggaan, staf, limbah, pemasaran dan lingkungan secara umum. Hasilnya adalah analisis diagram, peninjauan lapangan dan daftar periksa sebagai bahan masukan untuk menentukan peluang produksi bersih dengan kesimpulan awal :

- Identifikasi timbulan limbah di setiap langkah proses.
- Prioritas pada limbah yang mempunyai nilai tinggi, bersifat racun atau bervolume besar.
- Pengembangan ide untuk mencegah atau mengurangi timbulan limbah, meningkatkan efisiensi dan produktivitas.
- Informasi mengenai peluang penerapan ditindaklanjuti dalam kajian rinci.

Kajian rinci digunakan untuk mengevaluasi kinerja lingkungan, efisiensi pemakaian bahan dan timbulan limbah. Untuk itu diperlukan data secara kuantitatif dan akurat sehingga dapat ditentukan peluang produksi bersih dengan tepat. Pada kajian ini juga diperlukan informasi mengenai perusahaan, informasi peraturan perundangan dan baku mutu lingkungan, neraca massa dan energi serta struktur biaya produksi dengan :

- Langkah 1, pengumpulan informasi umum organisasi meliputi jenis produk, kapasitas produksi, bahan baku, utilitas termasuk kebutuhan air dan energi, serta jumlah pekerja yang terlibat langsung dalam proses produksi.
- Langkah 2, neraca massa dan energi yang dihitung secara keseluruhan pada setiap langkah proses sehingga dapat diketahui efisiensi perusahaan dan inefisiensi serta timbulan limbah secara rinci pada setiap langkah proses. Dari perhitungan neraca massa diketahui efisiensi massa yang menjadi produk, massa yang hilang dan menjadi limbah. Dan dari perhitungan neraca energi dapat diketahui efisiensi konsumsi energi.
- Langkah 3, perhitungan biaya produksi dan limbah yang dikembangkan berdasarkan neraca massa dan energi serta informasi biaya. Dalam hal ini diperoleh biaya produksi per satuan berat atau volume produk, biaya bahan baku per satuan produk, biaya energi per satuan produk serta biaya limbah

per satuan produk. Biaya limbah tidak hanya biaya kehilangan tetapi juga ditambah biaya pengolahan dan biaya penimbunan. Berdasarkan perhitungan biaya tiap langkah proses dapat ditemukan pada langkah mana yang memberikan kontribusi biaya paling besar dan paling signifikan.

- Langkah 4, identifikasi penyebab timbulan limbah. Secara umum penyebab timbulan limbah adalah karena hal-hal seperti (1) kerusakan bahan pada saat penyimpanan, (2) bahan yang kedaluwarsa karena inventori berlebihan, (3) prosedur operasi yang tidak dilaksanakan, (3) pengendalian proses yang kurang baik, (4) kebocoran dan tumpahan bahan, (5) perawatan yang tidak dilakukan dengan baik, (6) peralatan yang rusak dan tidak sesuai.

- Langkah 5, penentuan peluang produksi bersih yang pada dasarnya adalah dengan mengidentifikasi penyebab timbulan limbah dan berbagai ide yang timbul untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Peluang produksi bersih dapat dilakukan secara sistematis sebagai berikut :

Langkah 1 : membuat daftar semua timbulan limbah, yang telah dilakukan pada langkah 4 sampai akar permasalahan.

Langkah 2 : penerapan produksi bersih, berpikir berdasarkan tingkatan pertama adalah pencegahan, pengurangan, pakai ulang, daur ulang, pungut ulang, pengolahan limbah dan penimbunan.

Langkah 3 : penentuan tindakan produksi bersih. Apa yang bisa dilakukan untuk perbaikan meliputi kerumahtanggaan yang baik, perbaikan prosedur kerja, penggantian bahan baku, perbaikan teknologi dan proses, penggantian teknologi dan penyesuaian spesifikasi produk.

c. Analisis kelayakan

Peluang yang diperoleh dilanjutkan dengan analisis kelayakan yang meliputi kelayakan lingkungan, teknis dan ekonomi. Kelayakan lingkungan untuk mengetahui apakah penerapan produksi bersih dapat mengurangi timbulnya limbah baik kuantitas maupun kualitas. Kelayakan teknis berhubungan dengan penerapan teknologi dalam proses produksi dan dikatakan layak jika teknologi baru dapat menaikkan kualitas produk, sedangkan kelayakan

ekonomi dilakukan untuk menghitung investasi, waktu pengembalian modal dan besarnya penghematan dari penerapan produksi bersih serta merupakan faktor penentu program produksi bersih. Menurut Indrasti dan Fauzi (2009) dalam membuat analisis kelayakan hal yang harus dipertimbangkan adalah (1) pertimbangan teknologi diantaranya ketersediaan teknologi yang dimiliki, keterbatasan fasilitas termasuk kesesuaian operasi yang ada, syarat untuk membuat suatu produk, keamanan operator dan pelatihan, potensi terhadap kesehatan dan dampak lingkungan, (2) pertimbangan ekonomi yaitu modal dan biaya operasi, serta *payback period*. Lebih lanjut dalam analisis kelayakan menurut Indrasti & Fauzi (2009), beberapa peluang penerapan produksi bersih dapat diberikan skor 1 sampai dengan 3 untuk masing-masing penilaian baik teknis, ekonomi dan lingkungan. Penilaian teknis meliputi teknologi dan biaya untuk pelaksanaan. Penilaian ekonomi dianalisis berdasarkan kemampuan alternatif penerapan produksi bersih dalam memberikan nilai tambah dan keuntungan. Sedangkan penilaian lingkungan dilihat dari dampak positif terhadap perbaikan lingkungan.

d. Implementasi

Langkah implementasi ini memerlukan penanggungjawab pelaksana dan sumber daya yang diperlukan dalam penerapan produksi bersih. Sumber daya meliputi dukungan biaya dan kesiapan pekerja untuk memahami bahwa produksi bersih merupakan bagian dari pekerjaan. Indikator kinerja, efisiensi, lingkungan, kesehatan dan keselamatan kerja digunakan untuk mengetahui sejauh mana keberhasilan implementasi produksi bersih.

e. Monitoring dan Evaluasi

Merupakan langkah melakukan tinjauan secara periodik terhadap pelaksanaan penerapan produksi bersih dan dibandingkan dengan sasaran yang akan dicapai. Evaluasi dilakukan dengan mengumpulkan data sebelum dan sesudah penerapan produksi bersih. Apabila tujuan yang diprogramkan tidak tercapai maka perlu dicari penyebab serta penyelesaiannya.

### 2.11. Kendala Penerapan Produksi Bersih

Vieira dan Amaral (2016) percaya bahwa hambatan yang dihadapi dalam produksi bersih melibatkan manusia dan bukan faktor teknis. Beberapa hambatan ini yaitu kurangnya komunikasi antara bagian yang bertanggung jawab atas proses produksi dan bagian pengelola limbah yang dihasilkan ditambah dengan faktor kepemimpinan, ketahanan terhadap perubahan, sistem *reward* yang tidak menguntungkan, kurangnya fleksibilitas dalam struktur organisasi dan kekhawatiran tentang kerahasiaan data (Lopes Silva, dkk., 2013). Dalam kasus usaha kecil, selain kurangnya biaya juga kurangnya sumber daya manusia yang terlatih dan dapat didedikasikan khusus untuk bidang isu lingkungan. Hal ini menimbulkan kesulitan untuk melakukan inventarisasi limbah dan emisi serta mengidentifikasi peluang untuk produksi bersih. Secara umum walaupun menguntungkan penerapan produksi bersih menghadapi beberapa kendala yaitu :

1. Kendala ekonomi, dimana kendala ini timbul apabila dirasa tidak mendapatkan keuntungan dalam penerapan produksi bersih ini. Karena sekecil apapun penerapan konsep produksi bersih, jika tidak memberikan keuntungan, akan sulit bagi manajemen untuk membuat keputusan tentang penerapan konsep produksi bersih. Kasusnya ketika ada tambahan biaya peralatan atau besarnya modal atau investasi dibandingkan kontrol pencemaran secara konvensional sekaligus penerapan produksi bersih.
2. Kendala teknologi, yaitu kurangnya sosialisasi atau penyebaran informasi tentang konsep produksi bersih, kemudian penerapan sistem baru memiliki kemungkinan tidak sesuai dengan yang diharapkan, bahkan berpotensi menyebabkan gangguan atau masalah baru. Selain itu kendala teknologi yang tidak memungkinkan adanya penambahan peralatan
3. Kendala sumber daya manusia, bisa terjadi karena kurangnya dukungan dari pihak manajemen puncak, keengganan untuk berubah baik secara individu maupun organisasi, lemahnya komunikasi internal tentang proses produksi yang baik, pelaksanaan manajemen organisasi perusahaan yang kurang fleksibel, birokrasi yang sulit terutama dalam pengumpulan data primer serta kurangnya dokumentasi dan penyebaran informasi (Indrasti dan Fauzi, 2009).