

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Semen

2.1.1. Definisi Semen

Semen adalah perekat hidrolik yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terdiri dari bahan utama silikat-silikat kalsium dan bahan tambahan batu gypsum diaman senyawa-senyawa tersebut dapat bereaksi dengan air dengan membentuk zat baru bersifat perekat pada bebatuan. Semen dalam pengertian umum adalah bahan yang mempunyai sifat adhesive dan cohesive, digunakan sebagai bahan pengikat (*bonding material*), yang dipakai bersama-sama dengan batu kerikil dan pasir (Riski & Farlin: 2019). Penggunaannya antara lain adalah untuk pembuatan beton, adukan untuk beton dan barang-barang lain.

Fungsi semen secara umum adalah untuk merekatkan butiran-butiran agregat agar terjadi suatu massa yang padat. Kandungan silikat dan aluminat pada semen merupakan unsur utama pembentuk semen yang mana apabila bereaksi dengan air akan menjadi media perekat. Media perekat ini kemudian akan memadat dan membentuk massa yang keras. Berikut tabel susunan unsur semen biasa (Tjokrodinuljo, 1996).

Tabel 2.1. Susunan Unsur Semen Biasa

Oksida	Persentase (%)
Kapur, CaO	60 – 65
Silika, SiO ₂	17 – 25
Alumina, Al ₂ O ₃	3 – 8
Besi, Fe ₂ O ₃	0,5 – 6
Magnesia, MgO	0,5 – 4
Sulfur, SO ₃	1 – 2
Soda/ Potash, Na ₂ O + K ₂	0,5 – 1

Semen adalah *hydraulic binder* (perekat hidrolis), yang berarti bahwa senyawa yang terkandung di dalamnya dapat bereaksi dengan air dan membentuk zat baru yang bersifat perekat terhadap bebatuan. Penyusun semen terdiri dari persenyawaan antara kalsium oksida dengan silika, alumina, dan besi oksida. Sifat dan spesifikasi semen dapat dijelaskan disini dengan acuan pada komposisi kimia, fase mineral, dan sifat kimianya (Banerjee: 1980).

Menurut (Akbar: 2013), Semen hidrolis adalah mineral yang menetap dan mengeras setelah dikombinasikan dengan air. Penguatan dan pengerasan semen hidrolis disebabkan adanya pembentukan air yang mengandung senyawa-senyawa, pembentukan sebagai hasil reaksi antara komponen semen dengan air.

Binder adalah mineral yang mempunyai sifat-sifat *adhesive* dan *cohesive* (*cementitious*). Ada dua macam binder, yaitu:

1. *In Organic (Mineral) Binder*

Contoh: *Lime*: CaCO_3 dan *Gypsum*: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

2. *Organic Binder*

Mengeras dengan penguapan pelarut (*solvent*) air atau dengan polimerisasi dan kondensasi. Contoh: Natural resin dan protein syntetic resin (*plastic*).

Batu kapur/gamping adalah bahan alam yang mengandung senyawa kalsium oksida (CaO), sedangkan lempung/ tanah liat adalah bahan alam yang mengandung senyawa: silika oksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3) dan magnesium oksida (MgO).

2.1.2. Sifat Kimia-Fisika Semen

Pembahasan sifat kimia semen disini meliputi pembahasan komposisi zat yang ada di dalam semen, reaksi-reaksi yang terjadi dan perubahan yang terjadi saat penambahan air pada semen. Hal ini perlu

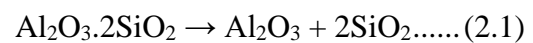
dilakukan karena komposisi dan sifat komponen tersebut sangat mempengaruhi semen secara keseluruhan (Irawan: 2017).

1. Reaksi kimia dan perubahan yang terjadi setiap kenaikan temperatur

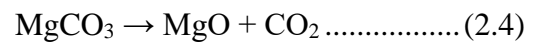
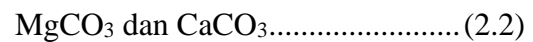
Pada suhu 100°C : terjadi penguapan air bebas

Pada suhu 100-500°C : terjadi pelepasan Kristal (*blinderwater*)

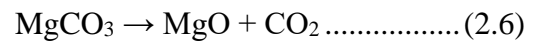
Pada 500°C : terjadi perubahan struktur mineral silica.



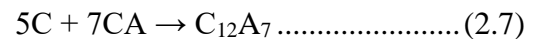
Pada 500-900°C : terjadi kalsinasi atau penguraian dari



Pada 800°C : terjadi reaksi kalsinasi



Pada 800-900°C : Awal pembentukan C_{12}A_7



Pada 1090-1200°C : C_3A terbentuk dan C_2S

pada keadaan maksimal

Pada 1200°C : Pembentukan fasa cair material

menjadi kental dan homogen

Pada 1200-1450°C : C_3S terbentuk dan C_2S berkurang



Pada >1450°C : Dekomposisi C_3S menjadi C_2S dan CaO

Kandungan C_3S , C_2S , C_3A , dan C_4AF dalam semen dapat diperkirakan lewat perhitungan rumus Bosque, yaitu:

$$\text{C}_3\text{S} = 4.071 \text{ CaO} - 7.6 \text{ SiO}_2 - 6.718 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 1.43 \text{ Fe}_2\text{O}_3$$

$$\text{C}_2\text{S} = 8.062 \text{ SiO}_2 + 5.068 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 1.078 \text{ Fe}_2\text{O}_3 - 3.071 \text{ CaO}$$

$$\text{C}_3\text{A} = 2.65 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 1.692 \text{ Fe}_2\text{O}_3$$

$$\text{C}_4\text{AF} = 3.043 \text{ Fe}_2\text{O}_3$$

2. Hidrasi Semen

Jika semen dicampur dengan air maka akan terjadi reaksi dengan komponen-komponen yang ada dalam semen dengan air yang reaksinya disebut reaksi hidrasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi reaksi hidrasi adalah kehalusan semen, jumlah air, temperatur dan komposisi kimia. Hasil dari reaksi-reaksi ini adalah senyawa hidrat.

Di dalam semen, *gypsum* berfungsi untuk memperlambat setting. *Gypsum* terutama bereaksi dengan C_3A membentuk *ettringite* yang akan melapisi C_3A dan menahan reaksi C_3A , lapisan ini akan pecah dan akan digantikan dengan lapisan yang baru sampai seluruh *gypsum* habis bereaksi. Bila kadar *gypsum* dalam semen terlalu tinggi maka jumlah lapisan yang melindungi C_3A akan semakin banyak dan waktu pengerasan semakin lama. Walau *gypsum* dapat memperlambat pengerasan semen namun kandungan *gypsum* dibatasi (berdasarkan jumlah SO_3), karena bila kelebihan SO_3 di dalam semen akan menyebabkan ekspansi sulfate yang menimbulkan keretakan pada beton. Kandungan maksimum SO_3 dalam semen 1.6 - 3%.

3. Durability

Durability adalah ketahanan semen terhadap senyawa-senyawa kimia, terutama terhadap senyawa sulfat. Senyawa sulfat biasanya terdapat di dalam air laut dan air tanah. Senyawa ini menyerang beton dan menyebabkan ekspansi volume dan keretakan pada beton. Mineral C_3A adalah komponen semen yang paling reaktif terhadap senyawa sulfat yang ada dalam air dan membentuk *High Calcium Sulfaluminate Hydrat* ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$). Oleh karena itu semen untuk pelabuhan harus mempunyai kadar C_3A yang rendah.

4. Kandungan Alkali Dalam Semen

Kandungan alkali (Na_2O dan K_2O) dalam semen cukup menguntungkan yaitu mengatur pelepasan alkali pada proses hidrasi dan dalam bentuk senyawa alkali sulfat dapat meningkatkan kekuatan awal semen (10% dalam waktu 28 hari) tetapi kandungan alkali dalam semen dibatasi $<0.6\%$ (dalam bentuk Na_2O) karena kandungan alkali yang besar dapat menimbulkan fenomena ekspansi alkali. Alkali bereaksi dengan agregat yang terdapat dalam campuran beton.

5. Panas Hidrasi

Panas hidrasi adalah panas yang ditimbulkan saat semen bereaksi dengan air. Besarnya panas hidrasi tergantung dari komposisi semen dan kehalusan dari semen serta temperatur proses. Alat pengujinya adalah *calorimeter*.

Tabel 2.2. Panas Hidrasi yang Dihasilkan

Komponen	Senyawa Hidrat yang Terbentuk	Panas Hidrasi (KJ/kg)
C_3S	C-C-H+CH	520
$\beta\text{-C}_2\text{S (+H)}$	C-C-H+CH	260
$\text{C}_3\text{A (+CH+H)}$	C_4AH_{19}	1160
$\text{C}_3\text{A (+H)}$	C_3AH_6	910
$\text{C}_3\text{A (+CSH}_2\text{+H)}$	$\text{C}_4\text{ASH}_{12}$	1140
$\text{C}_3\text{A (+CSH}_2\text{+H)}$	$\text{C}_6\text{AS}_3\text{H}_{32}$	1670
$\text{C}_3\text{AF (+CH+H)}$	$\text{C}_3(\text{A}_2\text{F})\text{H}_6$	420

Sumber: Lea's Chemistry of Cement and Concrete, edisi ke-4 Arnold (Sumber: Hewlett & Liska. 2019)

6. *Free lime* (kapur bebas)

Sifat kimia lain semen adalah kandungan *free lime* yang dimilikinya. *Free lime* adalah kapur (CaO) yang tidak bereaksi selama pembentukan terak. Kadar CaO di dalam semen dibatasi max 1%. Kadar *free lime* yang tinggi membuat beton memiliki kuat tekan yang rendah (akibat ekspansi kapur bebas) membentuk

gel yang akan mengembang (*swelling*) dalam keadaan basah sehingga dapat menimbulkan keretakan pada beton.

7. LOI (*Lost On Ignition*)

LOI adalah hilangnya beberapa mineral akibat pemijaran. Senyawa yang hilang akibat pemijaran adalah air dan CaO. Kristal-kristal tersebut mudah terurai mengalami perubahan bentuk untuk jangka waktu yang panjang, sehingga dapat menimbulkan kerusakan beton setelah beberapa tahun. Oleh karena itu, kadar LOI perlu diketahui agar penguraian mineral dalam jumlah yang besar dapat dicegah.

Adapun untuk sifat fisika semen merupakan salah satu hal penting yang perlu diperhatikan, karena sifat fisik sangat mempengaruhi kualitas dan kemampuan semen. Sifat-sifat fisik tersebut menurut (Irawan: 2017) antara lain:

1. Kehalusan

Kehalusan sangat berpengaruh terhadap kecepatan hidrasi semen, semakin tinggi kehalusan kecepatan hidrasi semen akan semakin meningkat. Efek kehalusan dapat dilihat setelah 7 hari setelah reaksi semen dengan air. Alat pengukur kehalusan adalah ayakan dan alat *blaine*.

2. Pengembangan volume

Sifat ini mengarah pada kemampuan pengerasan dan pengembangan volume semen setelah bereaksi dengan air. Kurangnya pengembangan volume semen disebabkan karena jumlah CaO bebas dan MgO yang terlalu tinggi. Alat pengembangan volume adalah *autoclave*.

3. Penyusutan (*Shrinkage*)

Penyusutan dibagi dalam tiga macam, yaitu: *hydration shrinkage*, *drying shrinkage* dan *carbonation shrinkage*. Penyebab keretakan yang terbesar pada beton adalah *drying shrinkage* yang disebabkan oleh penguapan air yang terkandung

dalam pasta semen selama berlangsungnya proses *setting* dan *hardening*. *Shrinkage* dipengaruhi oleh komposisi semen, jumlah air pencampur, *concentrate mix* dan *curing condition*.

4. Konsistensi

Konsistensi semen adalah kemampuan semen mengalir setelah bercampur dengan air. Alat pengujinya adalah *vicat*.

5. Pengikatan (*setting*) dan pengerasan (*hardening*)

Pengikatan adalah timbulnya gejala kekakuan pada semen. Semen yang bereaksi dengan air pada awalnya membentuk lapisan yang bersifat plastis dan lama-kelamaan akan membentuk Kristal. Waktu mulai terbentuknya Kristal atau timbulnya kekakuan pada semen disebut *initial set*. Setelah melalui tahap ini rongga yang ada di dalam semen terisi oleh senyawa-senyawa hidrat dan membentuk titik-titik kontak yang menghasilkan kekakuan. Proses ini berlangsung hingga semua rongga terisi Kristal dan akan semakin kaku akhirnya tercapai *final set*. Selanjutnya proses pengerasan secara tetap (*hardening*) mulai terjadi. Faktor-faktor yang mempengaruhi semen adalah temperatur, rasio semen dengan air, karakteristik semen, kandungan dan kereaktifan SO_3 , jumlah dan reaktifitas C_3S serta kehalusan semen. Waktu yang dibutuhkan untuk mengeras ditunjukkan melalui analisa *setting time*. Analisa *setting time* dapat menunjukkan normal atau tidaknya reaksi hidrasi semen. Alat pengujinya adalah *vicat* dan *gillmore*.

6. Densitas

Densitas semen tidak berpengaruh pada kualitas, tetapi sangat diperlukan dalam perhitungan.

7. *False set*

False set atau pengikatan semu adalah pengikatan tidak wajar yang terjadi ketika air ditambahkan dalam semen. Setelah beberapa menit semen akan mengeras, tetapi jika diaduk sifat

plastis semen akan timbul kembali. *False set* disebabkan karena hilangnya air Kristal pada *gypsum* akibat tingginya temperatur saat penggilingan terak.

8. Kekuatan kompresi

Kekuatan kompresi atau kuat tekan adalah sifat kemampuan semen menahan suatu beban tekan. Kekuatan kompresi semen sangat dipengaruhi oleh jenis komposisi semen dan kehalusan semen. Semakin halus ukuran partikel semen, maka kuat tekan yang dimilikinya akan semakin tinggi. Kadar C_3S di dalam semen memberikan kontribusi yang besar pada tekanan awal semen. Sedangkan C_2S memberikan kontribusi pada kekuatan tekan dalam umur yang panjang.

9. *Soundness*

Soundness adalah kemampuan pasta semen untuk mempertahankan volumenya setelah proses pengikatan. Berkurangnya *soundness* berarti timbulnya kecenderungan beton untuk berekspansi, ini disebabkan oleh tingginya kadar *free lime* (kapur bebas) dan magnesia. Adapun reaksi-reaksi yang memungkinkan timbulnya sifat ekspansi pada beton adalah:

- a. Reaksi antara C_3A dengan SO_3 yang membentuk *ettringite* ($C_6AS_3H_{32}$)
- b. *Hidrasi free lime*, yaitu reaksi CaO dengan H_2O
- c. *Hidrasi free MgO*, yaitu reaksi MgO dengan H_2O

Ekspansi beton tersebut akan menimbulkan keretakan konstruksi beton yang berarti menurunkan kuat tekan beton

2.1.3. Jenis Semen

Adapun menurut (Andini dkk. 2019) penjelasan mengenai jenis semen yang di produksi serta peruntukan sesuai fungsinya adalah sebagai berikut:

1. Semen *Portland* Tipe I atau OPC

Semen tipe I atau OPC merupakan semen hidrolis yang dipergunakan secara luas untuk konstruksi umum, seperti konstruksi bangunan yang tidak memerlukan persyaratan khusus, seperti bangunan perumahan, gedung-gedung bertingkat, jembatan pacu dan jalan raya.

2. Semen *Portland* Tipe II

Semen *Portland* Tipe II dikenal sebagai semen yang mempunyai ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang. Misalnya untuk bangunan di tepi laut, tanah rawa, dermaga, saluran irigasi, beton massa dan bendungan.

3. Semen *Portland* Tipe III

Semen *Portland* Tipe III dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan yang memerlukan kekuatan tekan awal yang tinggi setelah proses pengecoran dilakukan dan memerlukan penyelesaian secepat mungkin. Kekuatan awal semen tergantung oleh jumlah C_3S . Untuk meningkatkan kandungan C_3S maka semen tipe III ini memiliki kandungan perbandingan limesilica dan kehalusan yang lebih tinggi dibanding semen tipe OPC. Misalnya digunakan untuk pembuatan jalan raya, bangunan tingkat tinggi dan bandar udara.

4. Semen *Portland* Tipe IV

Semen *Portland* jenis ini memiliki panas hidrasi yang rendah, oleh karena itu kandungan C_3S dan C_3A lebih sedikit dibanding jenis semen *Portland* lain. Konsekuensinya kandungan C_4AF menjadi lebih tinggi. Kandungan C_3S yang rendah mengakibatkan kekuatan awalnya sangat rendah. (Austin, 1984)

5. Semen *Portland* Tipe V

Semen *Portland* Tipe V dipakai untuk konstruksi bangunan-bangunan pada tanah atau air yang mengandung sulfat tinggi dan sangat cocok untuk instalasi pengolahan limbah perusahaan,

konstruksi dalam air, jembatan, terowongan, pelabuhan dan pembangkit tenaga nuklir.

6. *Special Blended Cement* (SBC)

Special Blended Cement (SBC) merupakan semen khusus yang diciptakan untuk pengembangan mega proyek jembatan Surabaya-Madura (Suramadu) dan cocok digunakan untuk bangunan lingkungan air laut. Semen jenis ini di kemas dalam bentuk curah.

7. *Portland Pozzoland Cement* (PPC)

Portland Pozzoland Cement (PPC) merupakan semen hidrolis yang dibuat dengan menggiling terak, gypsum, dan bahan *pozzoland* jenis ini digunakan untuk bangunan umum dan bangunan yang memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang misalnya jembatan, jalan raya, perumahan, dermaga, beton massa, bendungan, bangunan irigasi dan fondasi plat penuh.

Sifat-sifat yang dimiliki semen *pozzoland* antara lain:

- Panas hidrasi rendah
- Tahan sulfat dan air laut (Bogue, 1986)

8. *Portland Composit Cement* (PCC)

Portland Composit Cement (PCC) adalah bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak, *gypsum*, dan satu atau lebih bahan anorganik. Kegunaan semen jenis ini untuk konstruksi beton umum, pasangan batu bata, plesteran selokan, pembuatan elemen bangunan khusus seperti pra-cetak, beton pra-tekan dan *paving block*.

9. *Super Masonry Cement* (SMC)

Super Masonry Cement (SMC) adalah semen yang digunakan untuk konstruksi perumahan dan irigasi yang struktur betonnya maksimal K225. SMC dapat juga digunakan untuk bahan-baku pembuatan genteng beton, *hollowbrick*, *paving block* dan tegel.

10. *Oil Well Cement (OWC)*

Oil Well Cement (OWC) Class GHCR merupakan semen khusus yang digunakan untuk pembuatan sumur minyak bumi dan gas alam dengan konstruksi sumur minyak di bawah permukaan laut dan bumi. OWC yang telah diproduksi adalah *Class G, High Sulfater Resistant (HSR)* disebut juga sebagai *Basic OWC*. *Oil Well Cement (OWC)* dicampur dengan bahan *retarder* khusus seperti asam borat, kasein, lignin, gula atau *organic hydroxid acid*. *Retarder* berfungsi untuk mengurangi kecepatan pengeringan semen sehingga adukan dapat dipompakan ke dalam sumur minyak atau gas. OW bersifat tahan terhadap tekanan dan suhu tinggi.

11. *Water Proofed Cement (WPC)*

Water Proofed cement adalah campuran yang homogen antara semen Portland dengan "*Water Proofing Agent*", dalam jumlah kecil seperti: *Calcium*, Aluminium, atau logam stearat lainnya. Semen ini banyak di pakai untuk konstruksi beton yang berfungsi menahan tekanan hidrostatik, misalnya tangki penyimpanan cairan kimia.

12. *White Cement (Semen Putih)*

Standard semen putih menurut SNI 15-0129-2004: Semen putih dibuat untuk tujuan dekoratif, bukan untuk tujuan konstruktif, bangunan arsitektur dan luluhan traso. Pembuatan semen ini membutuhkan persyaratan bahan baku dan proses pembuatannya yang khusus, seperti misalnya bahan mentahnya mengandung oksida besi dan oksida manganese yang sangat rendah (di bawah 1%). Semen jenis ini ideal bila diberi bahan pewarna atau *synthetic colouring pigment*.

13. Semen Anti Bakteri

Semen anti bakteri adalah campuran yang homogen antara semen Portland dengan "*anti-bacterial agent*" seperti *germicide*. Bahan tersebut ditambahkan pada semen *Portland* untuk "*Self*

Desinfectant" beton terhadap serangan bakteri dan jamur yang tumbuh. Sedangkan sifat-sifat kimia dan fisiknya hampir sama dengan semen *portland* tipe I.

Penggunaan semen anti bakteri antara lain:

- a. Kamar mandi
- b. Kolam-kolam
- c. Lantai industri makanan
- d. Keramik
- e. Bangunan dimana terdapat jamur *pathogenic* dan bakteri

2.1.4. Bahan Baku dan Bahan Bakar Produksi Semen

Bahan baku untuk pembuatan semen dibagi atas beberapa kelompok yang memberikan indikasi komponen yang disumbangkan oleh kelompok tersebut. Menurut Lea & Hewlett (2004), kelompok bahan baku tersebut adalah:

- *Calcareous group* untuk komponen kapur
- *Siliceous group* untuk komponen silica
- *Argillaceous group* untuk komponen alumina
- *Feriferous group* untuk komponen besi

1. Bahan Mentah Utama

Bahan baku utama terdiri dari batuan-batuan alam yang tergolong sebagai "*Calcareous Materials* atau *Carbonatic Materials* yang mengandung CaCO_3 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 (contohnya limestone)" dan *Argillaceous Materials* atau *Siliceous Materials* yang mengandung SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 (contohnya: *silica stone* dan *clay*) (Lea & Hewlett, 2004).

a. Batu Kapur (*Limestone*)

Batu Kapur yang digunakan dibedakan menjadi 4 jenis, yaitu: Batuan Kadar Tinggi (*High Grade*), Batuan Kadar Menengah (*Middle Grade*), Batuan Kadar Rendah (*Low Grade*), dan Pedel. Batu Kapur berkadar tinggi (*High*

Grade) merupakan batuan kapur dengan kadar CaCO_3 tinggi, yaitu lebih dari 97-99%, dan MgO maksimal 2%. Batu kapur kadar menengah (*Middle Grade*) memiliki kandungan CaCO_3 88-89% dan kadar MgO maksimal 2%.

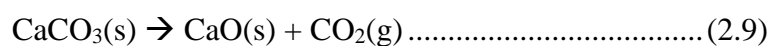
Dalam pembuatan semen, faktor yang perlu diperhatikan yaitu kandungan MgO sebab apabila kandungan MgO tinggi dapat menyebabkan perubahan bentuk semen setelah terjadi pengerasan, yaitu terbentuknya retakan dan lengkungan. Dalam pembuatan semen, komposisi batu kapur yang biasanya digunakan yaitu kandungan CaO minimal 50%, MgO maksimal 3%, dan HO maksimal 12%. Dalam keadaan murni, batu kapur berwarna putih. Komponen terbanyak dalam batu kapur yaitu CaCO_3 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , dan SiO_2 . Spesifikasi Batu Kapur:

Sifat Fisika:

- | | | |
|-------|---------------------------|--------------------------------|
| i. | Fase | : Padat |
| ii. | Warna | : Putih kekuningan |
| iii. | Kadar Air | : 7 – 10% H_2O |
| iv. | <i>Bulk Density</i> | : 1,3 ton/m ² |
| v. | <i>Specific Gravity</i> | : 2,4 g/cm ³ |
| vi. | Kandungan CaCO_3 | : 80 – 99% |
| vii. | Kandungan CaO | |
| | <i>Low Lime</i> | : 40 – 44% |
| | <i>High Lime</i> | : 51 – 53% |
| viii. | Kuat Tekan | : 31,6 N/mm ² |
| ix. | <i>Silica Ratio</i> | : 2,60 |
| x. | <i>Alumina Ratio</i> | : 2,57 |

Sifat Kimia:

Dapat mengalami reaksi kalsinasi



b. Tanah Liat (*Clay*)

Tanah liat termasuk ke dalam kelompok mineral *Siliceous* dan *Argillaceous* yaitu mineral yang mengandung silikat (SiO_2), Fe_2O_3 serta kandungan CaCO_3 kurang dari 75%. Pembagian kualitas tanah liat dari kuari yang ditambang yaitu: Tanah liat $\text{Al}_2\text{O}_3 > 15\%$ disebut *high alumina* dan tanah liat $\text{Al}_2\text{O}_3 < 15\%$ disebut *low alumina*.

Komponen dan spesifikasi tanah liat adalah sebagai berikut:

SiO_2 : 48%

Al_2O_3 : 20%

Fe_2O_3 : 8%

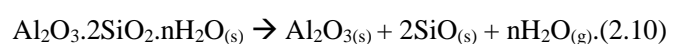
Sifat Fisika:

- i. Fase : Padat
- ii. Warna : Coklat dan Abu- abu
- iii. Kadar Air : 18 – 25% H_2O
- iv. Kandungan Oksida

Al_2O_3	: 18 – 22%
SiO_2	: 60 – 70%
Fe_2O_3	: 5 – 10%
- v. *Bulk Density* : 1,4 ton/ m^2
- vi. *Specific Gravity* : 2,36 g/ cm^3
- vii. Ukuran Material : <30 mm
- viii. *Silica Ratio* : 2,30
- ix. *Alumina Ratio* : 2,70

Sifat Kimia:

- i. Mengalami reaksi pelepasan hidrat bila dipanaskan pada suhu 500°C:



- ii. Warna tanah liat adalah putih tetapi jika mengandung besi atau organik maka akan berwarna coklat.
- iii. Tanah liat menjadi keras jika ditambah air dan berkurang sifat keliatan jika dibakar.

2. Bahan Baku Korektif

Bahan baku korektif adalah bahan tambahan pada bahan mentah utama apabila pada pencampuran bahan mentah utama komposisi oksidanya belum memenuhi persyaratan secara kualitatif dan kuantitatif. Misalnya:

CaO : bisa ditambahkan batu kapur, marble (konsentrasi minimal 90 CaCO₃).

Al₂O₃ : bisa ditambahkan baksit (minimal 50% Al₂O₃), laterit (25% Al₂O₃), kaolin (40% Al₂O₃).

SiO₂ : bisa ditambahkan Quart (minimal 80% SiO₂) dan sand.

Fe₂O₃ : bisa ditambahkan pasir besi (minimal 60% Fe₂O₃) dan *pyrite* (60%-90% Fe₂O₃).

a. Pasir Silikia (SiO₂)

Pasir silika juga disebut *Silica Land* yang memiliki kandungan SiO₂ tinggi (90-95%). Semakin murni pasir silika, maka warna pasir akan semakin putih dan biasanya disebut pasir kurasa yang memiliki kadar SiO₂ mendekati 100%. Pasir silika ditambahkan apabila pada pembuatan semen, kadar SiO₂ masih rendah.

Spesifikasi pasir silika :

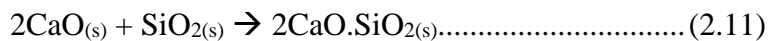
Sifat Fisika

- i. Fase : Padat
- ii. Warna : Abu- abu
- iii. Kadar Air : 10 – 25% H₂O
- iv. *Bulk Density* : 1,45 ton/m³

- v. *Specific Gravity* : 2,37 g/cm³
- vi. Ukuran Material : 0 – 30 mm
- vii. *Silica Ratio* : 5,29
- viii. *Alumina Ratio* : 2,37

Sifat Kimia

Dapat bereaksi dengan CaO membentuk garam kalsium silica:



b. Pasir Besi (Fe₂O₃)

Pasir besi yang ditambahkan harus mengandung Fe₂O₃ minimal 75% karena akan mempengaruhi kekuatan semen.

Komposisi pasir besi dalam keadaan kering adalah:

- Al₂O₃ : 8-13%
- Fe₂O₃ : 70-80%

Pasir besi berfungsi untuk menghantarkan panas dalam pembuatan terak (clinker) dari umpan kiln. Pasir besi mempunyai sifat menggumpal dan merupakan komponen dengan berat jenis terbesar dari komponen semen lainnya.

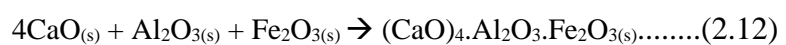
Spesifikasi Pasir Besi:

Sifat Fisika

- i. Fase : Padat
- ii. Warna : Hitam
- iii. *Bulk Density* : 1,8 ton/m³
- iv. Ukuran Material : 0 – 50 mm
- v. Kandungan Fe₂O₃ : 78 – 90%

Sifat Kimia

Dapat bereaksi dengan Al₂O₃ dan CaO membentuk garam *calcium aluminat ferrite*, reaksinya sebagai berikut:



3. Bahan Baku Tambahan

Bahan Baku Tambahan adalah bahan baku yang ditambahkan pada terak/*clinker* untuk memperbaiki sifat-sifat tertentu dari semen yang dihasilkan. Misalnya :

- Gypsum* : minimal 53% SO₃, gunanya untuk mengatur setting time
- CF₂ : minimal 30% F untuk *improvement burnability*
- Blast Furnace Slag* : untuk memenuhi kebutuhan sifat- sifat tertentu
- Pozzolan* : untuk memenuhi kebutuhan sifat- sifat tertentu
- Fly Ash* : untuk memenuhi kebutuhan sifat- sifat tertentu

1. *Gypsum*

Gypsum memiliki rumus molekul CaSO₄.2H₂O. *Gypsum* terdiri dari dua jenis yaitu *gypsum* alam dan *gypsum* sintesis. *Gypsum* sintesis diperoleh dari PT. Petrokimia Gresik yang merupakan produk samping pembuatan H₃PO₄ dan NaCl, sedangkan *gypsum* alam diperoleh dari Thailand dan Australia. Fungsi dari penambahan *gypsum* pada terak berfungsi sebagai retarder yaitu memperlambat waktu pengerasan semen (mempengaruhi setting time semen) dan mencegah terjadinya false set. *Gypsum* ditambahkan pada bagian akhir sekitar 4-5% dengan kadar air maksimal 100%.

2. *Pozzolan (Trass)*

Trass adalah mineral dari gunung berapi yang mengandung alumina dan silica aktif dimana *pozzolan (trass)* itu sendiri tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, tetapi dalam bentuk halusya dan denganadanya air maka senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida membentuk senyawa yang bersifat semen

pada suhu biasa. Trass mengandung SiO_2 tinggi sehingga semen yang diberi tambahan berupa trass yaitu semen PCC (*Portland Pozzolan Cement*) akan tahan terhadap asam, baik berupa asam sulfat maupun asam klorida.

Trass ditambahkan pada klinker dengan tujuan untuk menambah kekuatan semen. Syarat trass yang baik adalah:

- i. Mempunyai *pozzolan activity* minimal 55 atm
- ii. Kandungan SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 kurang dari 70%

Bahan bakar merupakan salah satu komponen paling berperan dalam proses pembuatan semen terutama pada proses pembakaran. Bahan bakar yang digunakan di PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. yaitu minyak IDO, minyak FO, batu bara, solar, dan premium. Minyak IDO digunakan untuk pembakaran awal dan disebut juga sebagai bahan bakar pembantu, karena minyak IDO hanya digunakan untuk memancing terbakarnya batu bara sehingga pada proses berikutnya bahan bakar yang berperan adalah batu bara.

Pada dasarnya jenis bahan bakar yang digunakan pada proses tersebut ada beberapa macam, tetapi batubara adalah bahan bakar yang dinilai sangat menguntungkan. Dalam proses produksi semen dibutuhkan batubara 150 kg/ton clinker. Penggunaan batubara untuk proses industri harus memenuhi persyaratan standar yang digunakan dalam perusahaan. Untuk menjaga kualitas bahan bakar tersebut, maka perlu diadakan pengujian kualitas batubara dan minyak.

2.2. Limbah B3

2.2.1. Definisi Limbah B3

Mengacu pada Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, yang disebut Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (Limbah B3) adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang menunjukkan karakteristik B3. Disebutkan pada PP no. 22 tahun 2021, limbah B3 memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Mudah meledak (*explosive* – E)

Limbah B3 yang mudah meledak adalah limbah yang pada suhu dan tekanan standar yaitu 25°C atau 760 mmHg dapat meledak, atau melalui reaksi kimia dan/atau fisika dapat menghasilkan gas dengan suhu dan tekanan tinggi yang dengan cepat dapat merusak lingkungan sekitarnya.

2. Mudah menyala (*ignitable* – I)

Limbah B3 yang mudah menyala adalah limbah yang memiliki salah satu atau lebih sifat- sifat berikut:



Gambar 2.1. Simbol dan Label Limbah B3
(Sumber: KLHK, 2015)

- a. Limbah berupa cairan yang mengandung alkohol kurang dari 24% volume dan/atau pada titik nyala tidak lebih dari 60°C akan menyala jika terjadi kontak dengan api, percikan api atau sumber nyala lain pada tekanan udara 760 mmHg. Pengujian sifat mudah menyala untuk limbah cair dilakukan menggunakan *seta closed tester*, *pensky martens closed cup*, atau metode lain yang setara dan termutakhir; dan/atau
- b. Limbah yang bukan berupa cairan, yang pada temperatur dan tekanan standar yaitu 25°C atau 760 mmHg mudah menyala melalui gesekan, penyerapan uap air atau perubahan kimia secara spontan dan jika menyala dapat menyebabkan nyala terus menerus. Sifat ini dapat diketahui secara langsung tanpa harus melakukan pengujian di laboratorium.

3. Reaktif (*reactive* – R)

Limbah B3 reaktif adalah limbah yang memiliki salah satu atau lebih sifat- sifat berikut:

- a. Limbah yang pada keadaan normal tidak stabil dan dapat menyebabkan perubahan tanpa peledakan. Limbah ini secara visual menunjukkan adanya antara lain gelembung gas, asap, dan perubahan warna;
- b. Limbah yang jika bercampur dengan air berpotensi menimbulkan ledakan, menghasilkan gas, uap, atau asap. Sifat ini dapat diketahui secara langsung tanpa melalui pengujian di laboratorium; dan/atau
- c. Merupakan Limbah sianida, sulfida yang pada kondisi pH antara 2 dan 12,5 dapat menghasilkan gas, uap, atau asap beracun. Sifat ini dapat diketahui melalui pengujian Limbah yang dilakukan secara kualitatif.

4. Infeksius (*infectious* – X)

Limbah B3 bersifat infeksius yaitu limbah medis padat yang terkontaminasi organisme patogen yang tidak secara rutin ada di lingkungan, dan organisme tersebut dalam jumlah dan virulensi yang cukup untuk menularkan penyakit pada manusia rentan. Yang termasuk ke dalam limbah infeksius antara lain:

- a. Limbah yang berasal dari perawatan pasien yang memerlukan isolasi penyakit menular atau perawatan intensif dan limbah laboratorium;
- b. Limbah yang berupa benda tajam seperti jarum suntik, perlengkapan intravena, pipet pasteur, dan pecahan gelas;
- c. Limbah patologi yang merupakan limbah jaringan tubuh yang terbuang dari proses bedah atau otopsi;
- d. Limbah yang berasal dari pembiakan dan stok bahan infeksius, organ binatang percobaan, bahan lain yang telah diinokulasi, dan terinfeksi atau kontak dengan bahan yang sangat infeksius; dan/atau
- e. Limbah sitotoksik yaitu limbah dari bahan yang terkontaminasi dari persiapan dan pemberian obat sitotoksik untuk kemoterapi kanker yang mempunyai kemampuan membunuh atau menghambat pertumbuhan sel hidup.

5. Korosif (*corrosive* – C)

Limbah B3 korosif adalah limbah yang memiliki salah satu atau lebih sifat- sifat berikut:

- a. Limbah dengan pH sama atau kurang dari 2 untuk limbah bersifat asam dan sama atau lebih besar dari 12,5 untuk yang bersifat basa. Sifat korosif dari limbah padat dilakukan dengan mencampurkan limbah dengan air sesuai dengan metode yang berlaku dan jika limbah dengan pH lebih kecil atau sama dengan 2 untuk limbah bersifat asam

dan pH lebih besar atau sama dengan 12,5 untuk yang bersifat basa; dan/atau

- b. Limbah yang menyebabkan tingkat iritasi yang ditandai dengan adanya kemerahan atau eritema dan pembengkakan atau edema. Sifat ini dapat diketahui dengan melakukan pengujian pada hewan uji mencit dengan menggunakan metode yang berlaku.

6. Beracun (*toxic* – T)

Limbah B3 beracun adalah limbah yang memiliki karakteristik beracun berdasarkan uji penentuan karakteristik beracun melalui TCLP, Uji Toksikologi LD₅₀, dan uji sub-kronis.

a. Penentuan karakteristik beracun melalui TCLP

- i. Limbah diidentifikasi sebagai limbah B3 kategori 1 (satu) jika limbah memiliki konsentrasi zat pencemar lebih besar dari TCLP-A sebagaimana tercantum dalam Lampiran XI PP Nomor 22 Tahun 2021.
- ii. Limbah diidentifikasi sebagai limbah B3 kategori 2 (dua) jika limbah memiliki konsentrasi zat pencemar sama dengan atau lebih kecil dari TCLP-A dan lebih besar dari TCLP-B sebagaimana tercantum dalam Lampiran XI PP Nomor 22 Tahun 2021.

b. Uji Toksikologi LD₅₀

Limbah diidentifikasi sebagai limbah B3 kategori 1 jika Uji Toksikologi LD₅₀ oral 7 hari memiliki nilai lebih kecil atau sama dengan 50 mg/kg berat badan pada hewan uji mencit. Limbah diidentifikasi sebagai limbah B3 kategori 2 jika Uji Toksikologi LD₅₀ oral 7 hari memiliki nilai lebih besar 50 mg/kg berat badan pada hewan uji mencit dan lebih kecil atau sama dengan 5000 mg/kg berat badan pada hewan uji mencit. Nilai Uji Toksikologi LD₅₀ dihasilkan dari uji toksikologi, yaitu penentuan sifat akut limbah melalui uji

hayati untuk mengukur hubungan dosis-respon antara limbah dengan kematian hewan uji. Nilai Uji Toksikologi LD₅₀ diperoleh dari analisis probit terhadap hewan uji.

c. Sub-kronis

Limbah diidentifikasi sebagai limbah B3 kategori 2 (dua) jika uji toksikologi sub-kronis pada hewan uji mencit selama 90 hari menunjukkan sifat racun sub-kronis, berdasarkan hasil pengamatan terhadap pertumbuhan, akumulasi atau biokonsentrasi, studi perilaku respon antar individu hewan uji, dan/atau histopatologis.

2.2.2. Pengelolaan Limbah B3

Tertulis dalam Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup bahwasanya setiap orang yang menghasilkan Limbah B3 wajib melakukan pengelolaan Limbah yang dihasilkan. Penyelenggaraan Pengelolaan Limbah B3 yang dimaksud dalam PP no. 22 tahun 2021 meliputi:

1. Penetapan Limbah B3

Limbah B3 yang dihasilkan harus diidentifikasi berdasarkan kategori bahayanya yang terdiri atas Limbah B3 kategori 1 dan Limbah B3 kategori 2. Berdasarkan sumbernya Limbah B3 dapat berasal dari berbagai macam sumber yang antara lain adalah:

- a. Limbah B3 dari sumber tidak spesifik;
- b. Limbah B3 dari B3 kadaluwarsa, B3 yang tumpah, B3 yang tidak memenuhi spesifikasi produk yang akan dibuang, dan bekas kemasan B3; dan
- c. Limbah B3 dari sumber spesifik baik secara umum maupun khusus.

2. Pengurangan Limbah B3

Pengurangan Limbah B3 dapat dilakukan melalui beberapa cara, yaitu:

- a. Substitusi bahan yang dapat dilakukan melalui pemilihan bahan baku dan/atau bahan penolong yang semula mengandung B3 digantikan dengan bahan baku dan/atau bahan penolong yang tidak mengandung B3;
 - b. Modifikasi proses yang dapat dilakukan melalui pemilihan dan penerapan produksi yang lebih efisien; dan/atau
 - c. Penggunaan teknologi ramah lingkungan.
3. Penyimpanan Limbah B3

Limbah B3 yang dihasilkan wajib disimpan dan dilarang melakukan pencampuran. Untuk dapat melakukan Penyimpanan Limbah B3 setiap orang yang menghasilkan Limbah B3 wajib memenuhi standar Penyimpanan Limbah B3 yang diintegrasikan ke dalam Nomor Induk Berusaha serta rincian teknis Penyimpanan Limbah B3 yang dimuat dalam Persetujuan Lingkungan. Tempat Penyimpanan Limbah B3 wajib memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a. Lokasi tempat penyimpanan yang bebas banjir dan tidak rawan bencana;
- b. Fasilitas yang sesuai dengan jumlah dan karakteristik Limbah B3 yang dapat berupa bangunan, tangki dan/atau kontainer, silo serta tumpukan atau *pile*; dan
- c. Upaya pengendalian Pencemaran Lingkungan Hidup dan peralatan penanggulangan keadaan darurat.

Pada saat penyimpanan, Limbah B3 harus dikemas dengan menggunakan kemasan yang:

- a. Terbuat dari bahan yang dapat mengemas Limbah B3 sesuai dengan karakteristik Limbah B3 yang akan disimpan;



Gambar 2.2. Contoh Wadah Penyimpanan Limbah B3
(Sumber: KLHK, 2015)

- b. Mampu mengungkung Limbah B3 untuk tetap berada dalam kemasan;

- c. Memiliki penutup yang kuat untuk mencegah terjadinya tumpahan saat dilakukan penyimpanan, pemindahan, atau pengangkutan;

PERINGATAN !		
LIMBAH BAHAN BERBAHAYA DAN BERACUN		
PENGHASIL	:	
ALAMAT	:	
	TELP. :	FAX. :
NOMOR PENGHASIL	:	
TGL. PENGEMASAN	:	
JENIS LIMBAH	:	
KODE LIMBAH	:	
JUMLAH LIMBAH	:	
SIFAT LIMBAH	:	NOMOR :

Gambar 2.3. Label Identitas Limbah B3
(Sumber: KLHK, 2015)

- d. Memiliki Label Limbah B3 yang memuat keterangan berupa nama Limbah B3, identitas penghasil Limbah B3, tanggal dihasilkannya Limbah B3 dan tanggal pengemasan Limbah B3; serta
- e. Berada dalam kondisi baik, tidak bocor, tidak berkarat, atau tidak rusak.

Waktu Penyimpanan Limbah B3 paling lama adalah:

- 90 hari sejak Limbah B3 dihasilkan, untuk Limbah B3 yang dihasilkan sebesar 50 kg/hari;
- 180 hari sejak Limbah B3 dihasilkan, untuk Limbah B3 yang dihasilkan kurang dari 50 kg/hari untuk Limbah B3 kategori 1;
- 365 hari sejak Limbah dihasilkan, untuk Limbah B3 yang dihasilkan kurang dari 50 kg/hari untuk Limbah B3 kategori 2 dai sumber tidak spesifik dan sumber spesifik umum; dan

- d. 365 hari sejak Limbah B3 dihasilkan, untuk Limbah B3 kategori 2 dari sumber spesifik khusus.

4. Pengumpulan Limbah B3

Bila kapasitas penyimpanan telah penuh atau tidak mampu memenuhi ketentuan jangka waktu Penyimpanan Limbah B3 maka Limbah B3 harus diserahkan kepada Pengumpul Limbah B3. Pengumpul Limbah B3 wajib melaksanakan kewajiban sebagaimana tercantum dalam Persetujuan Teknis Pengelolaan Limbah B3 untuk kegiatan Pengumpulan Limbah B3 dan melakukan segregasi Limbah B3.

5. Pengangkutan Limbah B3

Pengangkutan Limbah B3 harus dilakukan dengan menggunakan alat angkut yang tertutup untuk Limbah B3 kategori 1 dan terbuka untuk Limbah B3 kategori 2. Pengangkutan Limbah B3 wajib memiliki rekomendasi Pengangkutan Limbah B3 dan Perizinan Berusaha di Bidang Pengangkutan Limbah B3.

6. Pemanfaatan Limbah B3

Pemanfaatan Limbah B3 wajib dilaksanakan oleh setiap orang yang menghasilkan Limbah B3, dan bila tidak mampu melakukannya sendiri, Pemanfaatan Limbah B3 dapat diserahkan kepada Pemanfaat Limbah B3. Pemanfaatan Limbah B3 dapat dilakukan dengan beberapa cara, yang meliputi:

- a. Pemanfaatan Limbah B3 sebagai substitusi bahan baku;
- b. Pemanfaatan Limbah B3 sebagai substitusi sumber energi;
- c. Pemanfaatan Limbah B3 sebagai bahan baku; dan
- d. Pemanfaatan Limbah B3 sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Pemanfaatan Limbah B3 harus mempertimbangkan ketersediaan teknologi, standar produk jika hasil Pemanfaatan

Limbah B3 berupa produk, dan Standar Lingkungan Hidup atau baku mutu Lingkungan Hidup.

7. Pengolahan Limbah B3

Pengolahan Limbah B3 wajib dilaksanakan dan bila tidak mampu melakukan sendiri maka Pengolahan Limbah B3 diserahkan kepada Pengolah Limbah B3. Pengolahan Limbah B3 dapat dilakukan dengan cara: termal yang harus mempertimbangkan ketersediaan teknologi dan standar Lingkungan Hidup atau baku mutu Lingkungan Hidup, stabilisasi dan solidifikasi berdasarkan analisis organik dan anorganik serta cara lain sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Setiap orang yang akan melakukan Pengolahan Limbah B3 wajib memiliki Persetujuan Lingkungan dan Perizinan Berusaha.

8. Penimbunan Limbah B3

Penimbunan Limbah B3 wajib dilaksanakan dan bila tidak mampu melakukan sendiri maka Penimbunan Limbah B3 diserahkan kepada Penimbun Limbah B3. Penimbunan Limbah B3 dapat dilakukan pada fasilitas Penimbunan Limbah B3 berupa penimbunan akhir, sumur injeksi, penempatan kembali di area bekas tambang, bendungan penampung Limbah tambang dan fasilitas Penimbunan Limbah B3 lain sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Lokasi Penimbunan Limbah B3 harus memenuhi persyaratan yang antara lain adalah: bebas banjir, permeabilitas tanah, merupakan daerah yang secara geologis aman, stabil, tidak rawan bencana, dan diluar kawasan lindung serta tidak merupakan daerah resapan tanah, terutama yang digunakan untuk air minum.

9. Dumping (pembuangan) Limbah B3

Setiap orang dilarang melakukan *Dumping* (Pembuangan) Limbah B3 ke media Lingkungan Hidup baik itu tanah maupun laut tanpa Persetujuan dari Pemerintah Pusat. Persetujuan dari Pemerintah dapat berupa Persetujuan Teknis untuk kegiatan *Dumping* (Pembuangan) dan menjadi dasar dalam penerbitan Persetujuan Lingkungan.

Limbah B3 yang dapat dilakukan *Dumping* (Pembuangan) berupa: tailing dari kegiatan pengolahan hasil tambang, serbuk bor dari hasil pemboran kegiatan eksplorasi di laut menggunakan lumpur bor berbahan dasar sintesis dan berbahan dasar air. Limbah B3 wajib dilakukan netralisasi atau penurunan kadar racun sebelum dilakukan *Dumping* (Pembuangan) ke laut. Lokasi tempat dilakukan *Dumping* (Pembuangan) Limbah B3 harus memenuhi persyaratan yang meliputi: terletak di dasar laut pada laut yang memiliki lapisan termoklin permanen dan tidak berada di lokasi tertentu atau daerah sensitif sesuai dengan ketentuan peraturan perundangan.

10. Pengecualian Limbah B3

Limbah B3 dari sumber spesifik dapat dikecualikan dari Pengelolaan Limbah B3 dengan melaksanakan uji karakteristik Limbah B3 dan dilakukan secara berurutan.

Uji karakteristik Limbah B3 meliputi uji:

- a. Karakteristik mudah meledak, mudah menyala, reaktif, infeksius, danf atau korosif sesuai dengan parameter uji sebagaimana tercantum dalam Lampiran X Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2021;
- b. Karakteristik beracun melalui Uji Toksikologi LD₅₀ untuk menentukan Limbah 83 dari sumber spesifik yang diuji memiliki nilai Uji Toksikologi LD₅₀ lebih kecil dari atau sama dengan 50 mg/kg berat badan hewan uji;

- c. Karakteristik beracun melalui Uji Toksikologi LD₅₀ untuk menentukan Limbah B3 dari sumber spesifik yang diuji memiliki nilai Uji Toksikologi LD₅₀ lebih besar dari 50 mg/kg berat badan hewan uji dan lebih kecil dari atau sama dengan 5000 mg/kg berat badan hewan uji;
- d. Karakteristik beracun melalui Uji Toksikologi LD₅₀ untuk menentukan Limbah B3 dari sumber spesifik yang diuji memiliki nilai Uji Toksikologi LD₅₀ lebih besar dari 5000 mg/kg berat badan hewan uji;
- e. Karakteristik beracun melalui TCLP untuk menentukan Limbah B3 dari sumber spesifik yang diuji memiliki konsentrasi zat pencemar lebih kecil dari atau sama dengan konsentrasi zat pencemar pada kolom TCLP-B sebagaimana tercantum dalam Lampiran XI Peraturan Presiden No 22 Tahun 2021; dan
- f. Karakteristik beracun melalui uji toksikologi subkronis sesuai dengan parameter uji sebagaimana tercantum dalam Lampiran X Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2021.

11. Perpindahan lintas batas Limbah B3

Jika Limbah B3 akan diekspor ke negara penerima, Penghasil Limbah B3 atau eksportir Limbah B3 harus mengajukan permohonan notifikasi kepada Pemerintah melalui Menteri.

12. Penanggulangan Pencemaran Lingkungan Hidup dan/atau Kerusakan Lingkungan Hidup dan Pemulihan Fungsi Lingkungan Hidup

Setiap orang yang menghasilkan Limbah B3, Pengumpul Limbah B3, Pengangkut Limbah B3, Pemanfaat Limbah B3, Pengolah Limbah B3, dan/atau Penimbun Limbah B3 yang

melakukan Pencemaran Lingkungan Hidup dan/atau Perusakan Lingkungan Hidup wajib menanggulangi Pencemaran Lingkungan Hidup dan/atau Kerusakan Lingkungan Hidup dan memulihkan fungsi Lingkungan Hidup. Penanggulangan dapat dilakukan dengan memberikan informasi mengenai peringatan adanya Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan Hidup kepada masyarakat sekitar serta mengisolasi Kawasan tersebut. Pemulihan fungsi Lingkungan Hidup dapat dilakukan dengan tahapan yaitu: penghentian sumber pencemaran dan pembersihan zat pencemar; remediasi dan rehabilitasi.

13. Sistem Tanggap Darurat dalam Pengelolaan Limbah B3

Sistem Tanggap Darurat perlu dilakukan oleh setiap orang yang menghasilkan Limbah B3, Pengumpul Limbah B3, Pengangkut Limbah B3, Pemanfaat Limbah B3, Pengolah Limbah B3, dan/atau Penimbun Limbah B3 sesuai dengan kegiatan yang dilakukannya. Sistem Tanggap Darurat terdiri atas: pencegahan kedaruratan Pengelolaan Limbah B3 melalui penyusunan program kedaruratan Pengelolaan Limbah B3; kesiapsiagaan melalui pelatihan dan gladi kedaruratan Pengelolaan Limbah B3; dan penganggulangan kedaruratan Pengelolaan Limbah B3.

14. Pembiayaan dilakukan oleh setiap Pengelola Limbah B3.

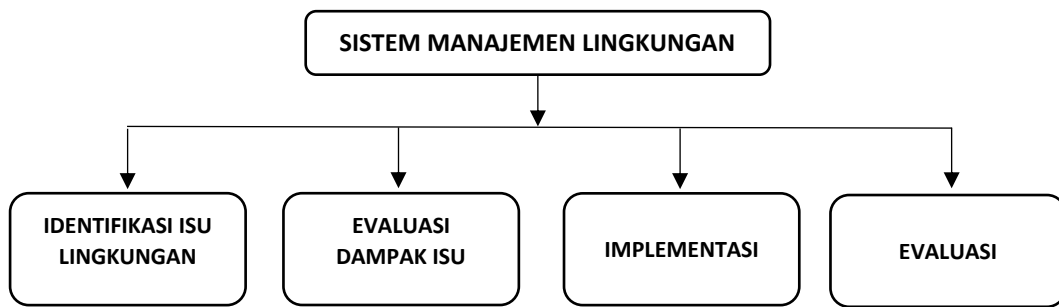
2.3. Sistem Manajemen Lingkungan

2.3.1 Definisi Sistem Manajemen Lingkungan

Sistem manajemen lingkungan atau *Environment Management System* (EMS) adalah bagian dari keseluruhan sistem manajemen yang meliputi struktur organisasi, rencana kegiatan, tanggung jawab, pelatihan atau praktek, prosedur, proses dan sumber daya untuk pengembangan, penerapan, evaluasi dan pemeliharaan kebijakan lingkungan (ISO 14001, 2004).

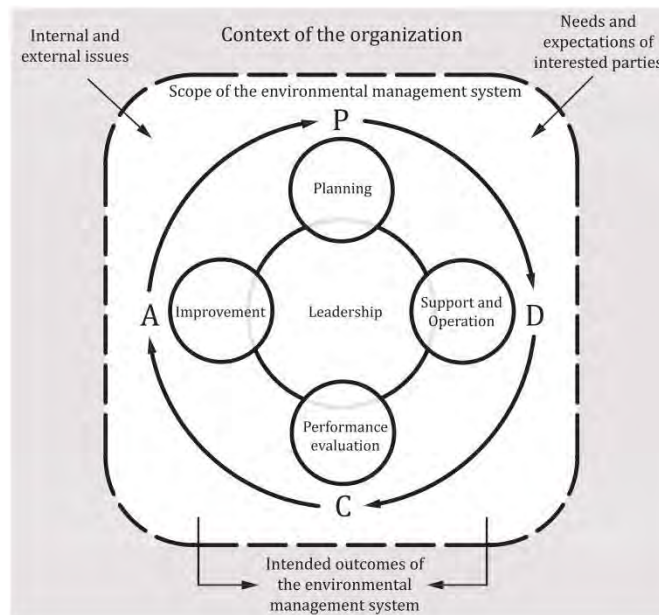
Adapun Sistem Manajemen Lingkungan ISO 14001 diterbitkan oleh *International Organization for Standardization* (ISO) pada tahun 1996 di Geneva, Swiss. Sistem ini diyakini dapat membantu menciptakan mekanisme terintegrasi dalam peningkatan kinerja lingkungan secara berkesinambungan yang diterapkan pada kegiatan produksi sehari-hari (Kitazawa dan Sarkis, 2000). Kesimpulannya, Sistem manajemen lingkungan merupakan sistem manajemen yang berkaitan dengan kebijakan perusahaan yang berpotensi memberikan dampak bagi lingkungan operasi perusahaan, dimana sistem manajemen tersebut harus meliputi keseluruhan proses mulai dari perencanaan, penelitian, penerapan, pertanggungjawaban, peninjauan ulang serta pemeliharaan kebijakan yang telah dihasilkan.

International Organization for Standardization (ISO) adalah federasi badan standar nasional yang mewakili sekitar 130 negara, yang berkantor pusat di Jenewa, Swiss. Federasi ini didirikan pada tahun 1947 sebagai organisasi non-pemerintah yang mempromosikan standar internasional (Dwiningtyastuti: 2009). Sebenarnya Standar ISO 14001 timbul dikarenakan terdapatnya sebagian masalah lingkungan yang mencuat pada masyarakat. Masalah lingkungan tersebut ialah polusi tanah, solusi air, polusi udara, bahan berbahaya dan limbah, perencanaan fisik, kebisingan atau bunyi dan radiasi, getaran, pemakaian material atau bahan, pemakaian energi serta kesehatan dan keselamatan kerja pegawai (Hamidah: 2016). Dalam perkembangannya ISO 14001 sudah mengalami beberapa perubahan sejak dicetuskan di konferensi tingkat tinggi Bumi di Rio de Janeiro pada tahun 1992. Adapun untuk nomor kode terakhir yang digunakan sejak diperbaharui adalah ISO 14001:2015.



Gambar 2.4. Analisa Sistem Manajemen Lingkungan Iso 14000 Dan Kemungkinan Implementasinya Oleh Para Kontraktor Kelas A Di Surabaya
(Sumber: Chandra: 2002)

Adapun pemahaman pendekatan dari pada Sistem Manajemen Lingkungan (ISO 14001:2015) bisa dibagi menjadi beberapa aspek yang meliputi; identifikasi isu lingkungan dan kecenderungannya dalam dugaan publik, evaluasi dampak isu, implementasi, dan evaluasi. Pada identifikasi isu lingkungan sendiri dilakukan perincian untuk hal-hal yang bisa menimbulkan dugaan publik tentang kinerja organisasi dalam menjaga lingkungan seperti polusi udara, polusi air, polusi tanah, limbah B3, bunyi kebisingan atau getaran, radiasi, perencanaan fisik, penggunaan bahan/material, penggunaan energi, dan K3. Sama halnya dengan identifikasi isu lingkungan, untuk evaluasi dampak isu dan juga implementasi memiliki rincian yang sama. Kemudian, untuk hal-hal yang masuk ke dalam pendekatan poin evaluasi adalah hambatan dalam implementasi, modifikasi rencana implementasi, dan juga penelitian tambahan (Chandra: 2002).



Gambar 2.5. Korelasi Prinsip PDCA dengan Kerangka Teoritis SML
(Sumber: SNI ISO 14001:2015)

Dalam (SNI ISO 14001:2015), ada 4 prinsip yang mendasari setiap pelaksanaan kegiatan pada SML, yaitu *Plan-Do-Check-Action* (PDCA). Dalam (Semen Indonesia Group: 2021) PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. memiliki tahap *Plan* (perencanaan) yang merupakan tahap identifikasi risiko dan potensi dampak lingkungan dari operasional dan aktivitas di masing-masing unit bisnis. Tahap *Do* merupakan tahap *action-plan* yang didasarkan dari identifikasi dan pemetaan yang telah dilakukan sebelumnya. Pada tahap ini juga ditentukan sejumlah program dan sasaran (*objective target program*). Tahap selanjutnya adalah *Check*, tahap monitor dan evaluasi dari program-program yang telah dijalankan, termasuk melakukan audit lingkungan internal dan eksternal secara berkala. Hasil monitoring, evaluasi dan audit dirumuskan menjadi *corrective action* atau perbaikan-perbaikan untuk meningkatkan kualitas dari program lingkungan yang diterapkan sesuai dengan target.

Adapun terdapat 6 tujuan implementasi dari standar ini menurut (SNI ISO 14001:2015):

1. Melindungi lingkungan untuk pencegahan kerugian yang didapat oleh lingkungan;
2. Melindungi lingkungan untuk pencegahan kerugian yang didapat oleh lingkungan;
3. Mencegah potensi terjadinya kerugian lingkungan akibat organisasi;
4. Membantu organisasi untuk pemenuhan kewajiban regulasi;
5. Mengendalikan atau mempengaruhi bagaimana sebuah produk dan jasa organisasi didesain-diproduksi-didistribusikan-dikonsumsi-dibuang, dipandang dari LCA agar tidak berpindah antar LCA;
6. Memperoleh keuntungan finansial dan operasional dari alternatif ramah lingkungan;
7. Melaksanakan komunikasi informasi lingkungan kepada pihak berkepentingan.

Diharapkan ketika sebuah organisasi menerapkan Sistem Manajemen Lingkungan dengan baik maka diharapkan hal ini dapat meningkatkan kualitas lingkungan sekitar, memenuhi kewajiban regulasi yang ada, dan juga diharapkan bisa mencapai lingkungan yang ingin disasar. Sehingga dalam hal ini jika suatu organisasi ingin menunjuka kesesuaian mereka dengan Sistem Manajemen Lingkungan maka organisasi tersebut perlu untuk:

1. Membuat penetapan sendiri dan pernyataan sendiri;
2. Melakukan *crosscheck* kesesuaian organisasi dengan mitra yang pernah bekerjasama; *user, customer*, dll;
3. Melakukan *crosscheck* pernyataan organisasi dengan pihak eksternal;
4. Melakukan sertifikasi/registrasi Sistem Manajemen Lingkungan oleh organisasi eksternal.

2.3.2 Klausul Sistem Manajemen Lingkungan (ISO 14001:2015)

Menurut (SNI ISO 14001: 2015) klausul dari Sistem Manajemen Lingkungan terdiri dari sepuluh klausul, diantara lain:

1. Lingkup
2. Acuan normatif
3. Istilah dan definisi
4. Konteks Organisasi
5. Kepemimpinan
6. Perencanaan
7. Dukungan
8. Operasi
9. Evaluasi kinerja
10. Perbaikan

ISO 14001:2015 menetapkan bahwa penerapan standar ini ditujukan untuk meningkatkan kinerja lingkungan dalam sistem manajemen lingkungan yang dikeluarkan suatu organisasi/perusahaan. Dengan cara-cara yang sistematis organisasi/perusahaan diharapkan mampu mengelola tanggung jawab lingkungan dan memberikan kontribusi lebih pada pilar lingkungan dan pembangunan berkelanjutan. Adapun menurut (SNI ISO 14001:2015) tidak ada acuan normatif yang dikeluarkan, namun terkait dengan istilah organisasi dan kepemimpinan-perencanaan-dukungan dan operasional-evaluasi dan perbaikan kinerja telah dikeluarkan mencakup seluruh definis serta istilah yang relevan dengan setiap klausul yang ada.

Organisasi harus menentukan isu internal dan eksternal yang relevan dengan tujuan dan yang dapat berpengaruh pada kemampuan untuk mencapai hasil yang diharapkan dari sistem manajemen lingkungan. Isu tersebut harus mencakup kondisi lingkungan yang terpengaruh oleh atau mampu mempengaruhi organisasi. Konteks organisasi dalam perusahaan maksudnya adalah organisasi/perusahaan diharuskan membuat, mendokumentasi, serta menganalisis isu-isu

internal maupun eksternal yang terdapat di lingkungan perusahaan. Berdasarkan kebijakan perusahaan mengenai penerapan sistem manajemen, PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. berkomitmen untuk mengelola lingkungan untuk mengantisipasi dampak pemanasan global, termasuk upaya pengurangan pencemar udara; pengurangan & pemanfaatan limbah B3; 3R limbah padat non B3; perlindungan keanekaragaman hayati; efisiensi bahan baku; menerapkan manajemen konservasi energi, konservasi air dengan melakukan perencanaan strategis, pengadaan, *continuous improvement* untuk meningkatkan kinerja dari efisiensi energi, efisiensi air; serta implementasi *Life Cycle Assessment* (LCA).

Kemudian dalam komitmen untuk penerapan klausul pada ISO 14001:2015 maka perusahaan juga menjalankan kebijakan untuk Kebijakan perusahaan akan senantiasa melibatkan dan dikomunikasikan kepada pemangku kepentingan yang diterjemahkan dalam rencana kerja dan sarannya untuk dilaksanakan secara konsisten, dievaluasi serta ditingkatkan secara terus menerus untuk menjamin efektifitasnya.

Dalam hal ini, PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Sudah sejalan dengan 3 komitmen dasar kebijakan lingkungan yang terkandung dalam (SNI ISO 14001:2015); melindungi lingkungan, memenuhi kewajiban penataan organisasi, dan memperbaiki sistem manajemen lingkungan secara berkelanjutan untuk meningkatkan kinerja lingkungan.

Ruang Lingkup sistem manajemen lingkungan dimaksudkan untuk memperjelas batasan fisik dan keorganisasian dari sistem manajemen lingkungan yang diterapkan.

Ruang Lingkup sistem manajemen lingkungan di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. sendiri dibatasi pada *Unit of Management System*. Adapun untuk ruang lingkup pada unit ini adalah SMSI (sistem Manajemen Semen Indonesia) yang meliputi Sistem Manajemen Anti Penyusutan 37001:2016, Sistem Manajemen Mutu ISO 9001:2015,

Sistem Manajemen Lingkungan ISO 14001:2015, PP No. 50 Tahun 2012 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja ISO 45001:2018, Standar Akreditasi Laboratorium Pengujian & Kalibrasi Kerja ISO/IEC 17025:2017, Kriteria Penilaian Kinerja Unggul BUMN.

Kepemimpinan dan komitmen di sini menurut (SNI ISO 14001:2015) adalah manajemen puncak harus memperagakan kepemimpinan dan komitmen terhadap sistem manajemen lingkungan serta diharuskan menetapkan, menerapkan, dan memelihara kebijakan lingkungan utamanya dalam lingkup sistem manajemen lingkungan yang telah ditetapkan. Peran serta manajemen puncak juga diharuskan memastikan bahwa tanggung jawab dan kewenangan untuk peran yang relevan telah ditetapkan dan dikomunikasikan di dalam organisasi. *Unit of Management System* bertekad untuk mengimplementasikan serta berkomitmen untuk mengikuti kebijakan yang telah dirumuskan dan disusun secara terintegrasi oleh para Direksi dan *Senior Leaders* PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.

Dalam implementasi Sistem Manajemen Semen Indonesia Direksi dan Eselon 1 “Senior Leaders” PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. memiliki kebijakan untuk:

1. Menentukan urutan dan interaksi proses-proses;
2. Menentukan kriteria dan metode yang dibutuhkan untuk memastikan operasi dan pengendalian proses-proses tersebut efektif;
3. Memastikan tersedianya sumberdaya dan informasi yang diperlukan untuk mendukung operasi dan pemantauan proses-proses tersebut;
4. Memantau, mengukur, dan menganalisis proses-proses tersebut;
5. Mengimplementasikan tindakan yang diperlukan untuk mencapai hasil yang direncanakan dan perbaikan yang berkesinambungan proses-proses tersebut;

6. Melakukan tinjauan secara berkala dan melakukan peningkatan;
7. Berkesinambungan terhadap penerapan sistem manajemen.

Direksi PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. menetapkan visi, misi, tata nilai dan budaya perusahaan yang menjadi arahan untuk tetap *going concern* dalam industri persemenan.

Mengenai kebijakan lingkungan yang dikeluarkan oleh Direksi *Senior Leaders* telah terintegrasi dengan kebijakan lainnya mengenai mutu, lingkungan, serta Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Hal ini sesuai dengan arahan untuk diintegrasikan menjadi satu program yaitu SMSI yang diantara lain mengenai kebijakan lingkungan yang meliputi:

1. Pemanasan global;
2. Pengurangan pencemar udara;
3. Pengurangan & pemanfaatan limbah B3;
4. 3R limbah padat non B3
5. Perlindungan keanekaragaman hayati;
6. Efisiensi bahan baku;
7. Menerapkan manajemen konservasi energi, konservasi air dengan melakukan perencanaan strategis, pengadaan, continuous improvement untuk meningkatkan kinerja dari efisiensi energi, efisiensi air;
8. Implementasi *Life Cycle Assessment (LCA)*.

Kebijakan perusahaan akan senantiasa dikomunikasikan dengan pemangku kepentingan dan diterjemahkan dalam rencana kerja dan sasaran perusahaan serta mendorong agar dilaksanakan secara konsisten, dievaluasi dan ditingkatkan secara terus menerus untuk menjamin efektifitasnya.

Untuk mengevaluasi keberlanjutan kesesuaian, kecukupan, dan keefektifan penerapan dan pengelolaan Sistem Manajemen Semen Indonesia (SMSI), maka perlu dilakukan Tinjauan Manajemen SMSI yang dilakukan secara periodik minimal dilaksanakan 1 tahun sekali.

Tabel 2.3. Fungsi dan Organisasi Dalam Tinjauan Manajemen SMSI

NO.	FUNGSI	UNIT KERJA PENANGGUNG JAWAB
1.	Wakil Manajemen	Kepala Departemen Pengembangan Proses bisnis
2.	Manajer Puncak: a. Laboratorium Penelitian dan Pengembangan	a. Unit kerja yang ditunjuk melalui SK b. Struktur Organisasi Perusahaan atau SK c. Struktur Organisasi Laboratorium
3.	Manajer Teknis: a. Laboratorium Penelitian dan Pengembangan	a. Unit kerja yang ditunjuk melalui SK b. Struktur Organisasi Perusahaan atau SK c. Struktur Organisasi Laboratorium
4.	Manajer Mutu: a. Laboratorium Penelitian dan Pengembangan	a. Unit kerja yang ditunjuk melalui SK b. Struktur Organisasi Perusahaan atau SK c. Struktur Organisasi Laboratorium
5.	Pengelola Sistem Manajemen	Unit Pengelola Sistem Manajemen
6.	Audit Internal Sistem Manajemen	Unit Pengelola Audit Internal Sistem Manajemen
7.	Pengelola SHE	Unit Pengelola SHE

NO.	FUNGSI	UNIT KERJA PENANGGUNG JAWAB
8.	a. Pengelola KPI Individu b. Pengelola KPI Unit Kerja	a. Unit Pengelola KPI Individu b. Unit Pengelola KPI Unit Kerja
9.	Pengendali Dokumen Proses Bisnis	Unit Pengelola Pengembangan Proses Bisnis
10.	Pengelola Risiko Perusahaan	Unit Pengelola Risiko Perusahaan
11.	Pengelola Penyedia Jasa/Barang	Unit Pengelola Penyedia Jasa/Barang
12.	Pengelola Survey Pelanggan Produk Semen	Unit Pengelola Survey Pelanggan Produk Semen
13.	Pengelola Keluhan Pelanggan Produk Semen	Unit Pengelola Keluhan Pelanggan Produk Semen
14.	Pengelola CSR	Unit Pengelola CSR

Kemudian Tim Pengelolaan Lingkungan Hidup dibentuk melalui Surat Keputusan Direksi PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Nomor: 21.2/Kpts/Dir/2019, Tim Pengelolaan Lingkungan Hidup terdiri dari:

1. Bidang Sistem Manajemen Lingkungan;
2. Bidang Pengurangan dan Pemanfaatan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun;
3. Bidang 3R Limbah Padat Non B3;
4. Bidang Pengurangan Pencemar Udara dan Emisi Gas Rumah Kaca;
5. Bidang Efisiensi Air dan Penurunan Beban Pencemar Air;
6. Bidang Perlindungan Keanekaragaman Hayati;
7. Bidang Penilaian Daur Ulang Hidup (*Life Cycle Assessment*).

Perencanaan menurut (SNI ISO 14001:2015) adalah organisasi diharuskan menetapkan, menerapkan, dan memelihara proses yang dibutuhkan untuk memenuhi persyaratan dengan mempertimbangkan beberapa aspek dan juga menentukan risiko serta peluang yang terkait dengan aspek lingkungan organisasi, kewajiban penataan, dan isu serta persyaratan lainnya. Dalam lingkup sistem manajemen lingkungan yang telah ditetapkan, organisasi harus menentukan aspek lingkungan dari kegiatan, produk, dan jasanya, yang dapat dikendalikan dan dipengaruhi oleh organisasi, serta dampak lingkungan terkait, dengan mempertimbangkan perspektif daur hidup. Organisasi harus menentukan aspek lingkungan yang mempunyai atau dapat mempunyai dampak lingkungan penting, yaitu aspek lingkungan penting, dengan menggunakan kriteria yang telah ditetapkan. Adapun kewajiban penataan yang harus dilaksanakan suatu organisasi adalah menentukan dan memiliki akses kepada kewajiban penataan yang terkait dengan aspek lingkungan organisasi, kemudian mengetahui bagaimana kewajiban penataan tersebut dapat diterapkan oleh suatu organisasi, dan juga pada akhirnya organisasi diharuskan untuk memperhitungkan kewajiban penataan pada saat menetapkan, menerapkan, memelihara, dan memperbaiki secara berkelanjutan sistem manajemen lingkungan organisasi. Adapun untuk sasaran lingkungan masih mengacu pada (SNI ISO 14001:2015) adalah organisasi harus menetapkan sasaran lingkungan pada fungsi dan tingkatan yang relevan, dengan memperhitungkan aspek lingkungan penting organisasi dan kewajiban penataan yang terkait, serta mempertimbangkan risiko dan peluang. Untuk tindakan perencanaan yang sesuai dengan sasaran lingkungan, organisasi harus menentukan hal yang ingin dikerjakan, sumber daya yang dibutuhkan, menunjuk penanggungjawab, target waktu penyelesaian, dan tindakan evaluasi yang akan dilakukan.

Dukungan dalam (SNI ISO 14001:2015) meliputi sumber daya, kompetensi, kepedulian, komunikasi, informasi terdokumentasi. Dalam

hal sumber daya, organisasi harus menentukan dan menyediakan sumber daya yang diperlukan untuk menetapkan, menerapkan, memelihara, dan memperbaiki sistem manajemen lingkungan secara berkelanjutan. Untuk kompetensi yang wajib dilakukan oleh organisasi adalah menentukan kompetensi yang dibutuhkan bagi personil yang melaksanakan pekerjaan di bawah kendali organisasi, kemudian menentukan kebutuhan pelatihan terkait dengan aspek lingkungan dan sistem manajemen lingkungan organisasi. Perusahaan atau organisasi harus memastikan bahwa personil pelaksana kegiatan peduli akan kebijakan lingkungan, aspek lingkungan yang penting dan dampak lingkungan terkait, utamanya yang berhubungan dengan pekerjaan mereka. Dalam hal komunikasi internal, organisasi harus menetapkan, menerapkan dan memelihara proses yang diperlukan baik internal maupun eksternal yang relevan dengan sistem manajemen lingkungan. Informasi terdokumentasi sistem manajemen lingkungan dalam organisasi harus mencakup Informasi terdokumentasi yang ditentukan oleh organisasi sebagaimana yang diperlukan untuk keefektifan sistem manajemen lingkungan.

Operasi dalam organisasi meliputi perencanaan dan pengendalian operasional di mana dalam hal ini perusahaan atau organisasi wajib menetapkan, menerapkan, mengendalikan dan memelihara proses yang diperlukan untuk memenuhi persyaratan sistem manajemen lingkungan. Organisasi harus mengendalikan perubahan yang direncanakan dan meninjau konsekuensi dari perubahan yang tidak diinginkan, melaksanakan tindakan untuk mitigasi setiap pengaruh yang merugikan, jika diperlukan. Organisasi harus memastikan proses yang dialihkan keluar telah dikendalikan atau dipengaruhi. Jenis dan keluasan pengendalian atau pengaruh yang diterapkan pada proses harus ditetapkan dalam sistem manajemen lingkungan. Perusahaan atau organisasi juga diharuskan untuk memelihara informasi terdokumentasi sejauh yang diperlukan untuk memperoleh keyakinan bahwa proses

telah dilaksanakan seperti yang direncanakan. Dalam hal kesiagaan dan tanggap darurat hal-hal yang harus dilakukan oleh organisasi adalah bersiaga agar tanggap sesuai dengan rencana untuk mencegah dampak lingkungan yang dapat terjadi dari situasi darurat, melakukan pengujian secara periodik dengan tindak lanjut tinjauan serta revisi yang akan direalisasikan menjadi penyediaan informasi maupun pelatihan bagi personil organisasi (SNI ISO 14001:2015).

Evaluasi kinerja pada organisasi meliputi pemantauan, pengukuran, analisis serta evaluasi, audit internal, dan tinjauan manajemen. Dalam hal pemantauan, pengukuran, analisis serta evaluasi organisasi harus menentukan objek yang akan dipantau serta diukur, metode untuk memantau, menganalisis, mengukur serta mengevaluasi, kriteria serta waktu dilaksanakannya pemantauan atau pengukuran dan dilanjutkan dengan penentuan waktu evaluasi. Evaluasi penataan menghatuskan organisasi untuk menentukan frekuensi dari evaluasi penataan, mengevaluasi penataan dan melaksanakan tindakan jika diperlukan, dan memelihara pengetahuan serta pemahaman dari status penataan organisasi. Dalam hal audit internal, organisasi harus melaksanakan audit internal pada interval waktu yang telah ditentukan. Organisasi juga diharuskan untuk memelihara program audit internal, termasuk frekuensi, metode, tanggung jawab, persyaratan merencanakan dan pelaporan audit internalnya. Pada saat tinjauan manajemen berjalan, manajemen puncak harus meninjau sistem manajemen lingkungan organisasi, pada interval waktu yang telah direncanakan, untuk memastikan kesesuaian, kecukupan, dan keefektifan (SNI ISO 14001:2015).

Klausal perbaikan sendiri menyebutkan bahwa organisasi harus menentukan peluang perbaikan dan menerapkan tindakan yang diperlukan untuk mencapai hasil yang diharapkan dari sistem manajemen lingkungan organisasi. Dalam hal ini juga disebutkan bahwa ketika ketidaksesuaian terjadi maka organisasi harus melakukan

tindakan korektif yang sesuai dengan skala kepentingan dari pengaruh ketidaksesuaian yang terjadi, termasuk dampak lingkungan. Adapun upaya terakhir yang dapat dilakukan oleh organisasi adalah harus memperbaiki secara berkelanjutan kesesuaian, kecukupan, dan keefektifan dari sistem manajemen lingkungan untuk meningkatkan kinerja lingkungan (SNI ISO 14001:2015).