

BAB II DASAR TEORI

2.1 Definisi Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)

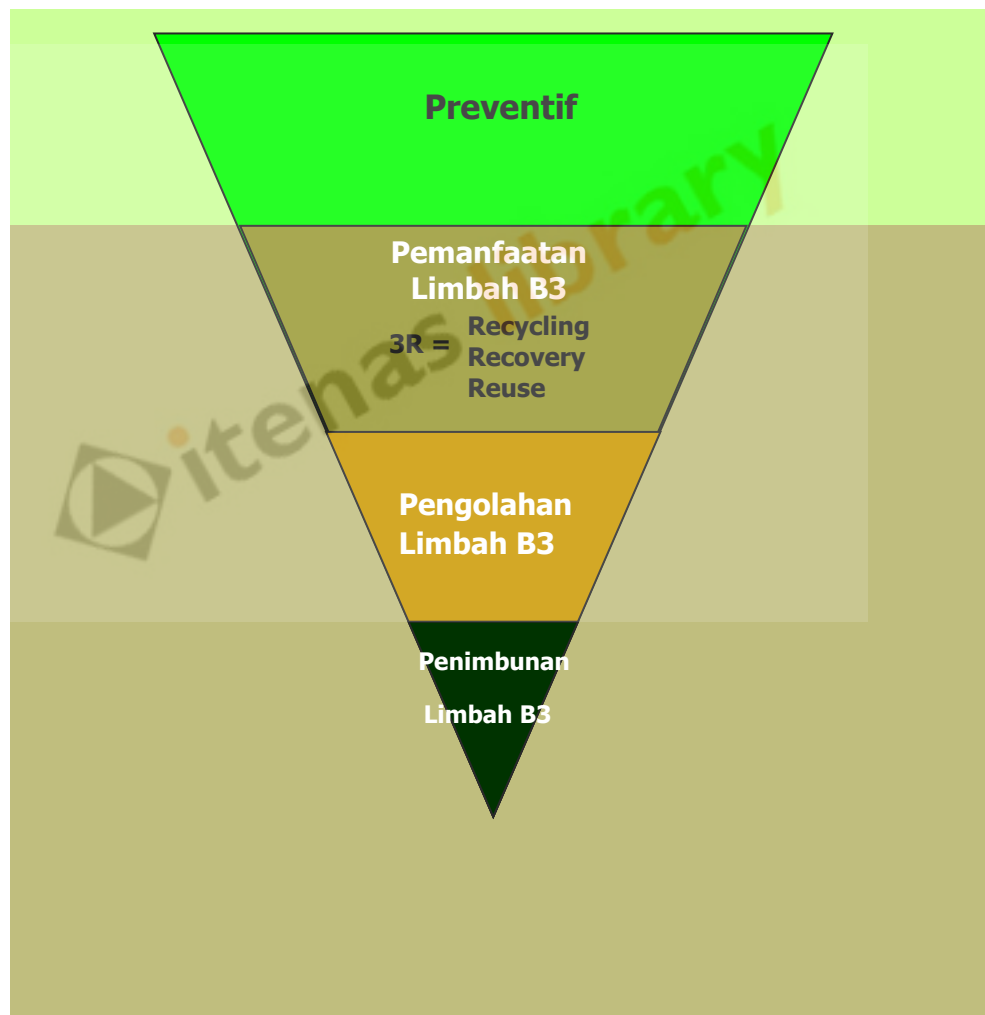
Berdasarkan Peraturan Pemerintah No 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah B3, Bahan Berbahaya dan Beracun yang selanjutnya disingkat B3 adalah zat, energi, dan/atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi, dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusak lingkungan hidup, dan/atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain. Sedangkan limbah adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan. Limbah B3 sendiri adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung B3.

Limbah B3 adalah limbah atau bahan yang berbahaya, karena jumlah atau konsentrasinya dapat menyebabkan atau secara signifikan dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan penyakit, kematian dan berbahaya bagi kesehatan manusia atau lingkungan jika tidak benar-benar diolah atau dikelola atau dibuang (Utami, 2018). Limbah B3 adalah limbah padat yang bersifat potensial mengancam terhadap kesehatan masyarakat atau lingkungan (Vanguilder, 2018).

2.2 Pemanfaatan Limbah B3

Pemanfaatan limbah B3 merupakan bagian dari rangkaian kegiatan pengelolaan limbah B3. Pengelolaan Limbah B3 sendiri adalah kegiatan yang meliputi pengurangan, penyimpanan, pengumpulan, pengangkutan, pemanfaatan, pengolahan dan/atau penimbunan limbah B3 (Peraturan Pemerintah, 2014, Pasal 1 Angka 11). Pengelolaan Limbah B3 merupakan kegiatan memahami penggunaan teknologi dan menafsirkan peraturan dalam menangani limbah B3 (Vanguilder, 2018).

Menurut Peraturan Pemerintah No 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah B3, Pemanfaatan limbah B3 adalah kegiatan penggunaan kembali, daur ulang, dan/atau perolehan kembali yang bertujuan untuk mengubah limbah B3 menjadi produk yang dapat digunakan sebagai substitusi bahan baku, bahan penolong, dan/atau bahan bakar yang aman bagi kesehatan manusia dan lingkungan hidup. Pemanfaatan limbah B3 merupakan kegiatan memanfaatkan limbah B3 menjadi produk lain yang sesuai dengan standar keamanan (Suwargana, 2010). Hierarki pengelolaan limbah B3 dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Hierarki Pengelolaan Limbah B3

Sumber: Wawancara dengan Amsor, KLHK, 18 November 2019

Berdasarkan hierarki di atas, pemanfaatan limbah B3 merupakan upaya kegiatan pengelolaan limbah B3 yang sangat diprioritaskan daripada upaya kegiatan dengan cara pengolahan dan penimbunan limbah B3, dimana limbah dijadikan sebagai sumber daya baru (Wawancara dengan Amsor, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, (KLHK), 18 November 2019). Hal ini sebagaimana kebijakan yang diterapkan oleh Direktorat Verifikasi Pengelolaan Limbah B3 dan Limbah Non B3 Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Wawancara dengan Amsor, KLHK, 18 November 2019).

2.3 Limbah B3 Slag Baja

Menurut SNI 8379:2017 tentang Spesifikasi Material Pilihan (*Selected Material*) Menggunakan *Slag* untuk Konstruksi Jalan, *slag* adalah limbah padatan bukan logam yang dihasilkan dari proses peleburan besi dan baja, yang umumnya mengandung CaO, SiO₂, FeO, Al₂O₃ dan MgO, selanjutnya dihancurkan dengan mesin penghancur menjadi agregat *slag* berbagai ukuran.

Slag baja adalah limbah padat yang berasal dari proses peleburan baja (Setiati, 2018). *Slag* baja atau *Steel slag* merupakan limbah atau sisa kegiatan yang dihasilkan dari kegiatan peleburan pada industri peleburan besi dan baja (Theresia, 2017). *Slag* dihasilkan dari proses pemisahan cairan baja dari bahan pengotornya pada tungku-tungku baja (Rosianda, 2016).

Slag baja yang dihasilkan oleh industri peleburan besi dan baja mengandung mineral-mineral oksida yang bersifat kristalin dan sulit untuk larut dalam air, sehingga limbah B3 *slag* baja ini potensial dimanfaatkan sebagai alternatif pengganti bahan alam, untuk konstruksi pengerasan jalan khususnya pada bagian lapis pondasi (Siradjuddin, 2011).

Merujuk Peraturan Pemerintah No 101 Tahun 2014, limbah B3 *slag* baja dikategorikan sebagai limbah B3 dengan kode limbah B402, yaitu limbah B3 yang bersumber dari proses peleburan bijih dan/atau logam besi dan baja dengan menggunakan teknologi *electric arc furnace* (EAF), *blast furnace*, *basic oxygen furnace* (BOF), dan/atau *induction furnace* (Lampiran I Tabel 4 PP 101, 2014). Limbah B3 *slag* baja memiliki karakteristik beracun karena mengandung logam-logam berat (Wawancara dengan Amsor, KLHK, 18 November 2020). Limbah B3 berupa *slag* baja dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Limbah B3 *Slag* Baja

Sumber: Gunawan, 2011

Beberapa keuntungan penggunaan *slag* baja antara lain tahan terhadap tekanan, baik sebagai campuran pengerasan jalan, saat keadaan lalu lintas berat tidak terjadi kerusakan, mempunyai daya adhesi yang tinggi terhadap aspal karena agregat *slag* mempunyai permukaan yang kasar sehingga kekesatannya lebih tinggi daripada bahan alam, dan tahan terhadap pelapukan karena telah mengalami pemanasan yang tinggi sehingga dapat digunakan untuk konstruksi pengerasan jalan (Gunawan, 2011).

2.4 Konsep Pemanfaatan Limbah B3 *Slag* Baja Untuk Bahan Pengerasan

Jalan

Pemanfaatan limbah B3 *slag* baja untuk bahan pengerasan jalan merupakan salah satu rangkaian dalam kegiatan pengelolaan limbah B3. Pemanfaatan Limbah B3 *Slag* Baja sebagai Bahan Pengerasan Jalan harus ditinjau berdasarkan pemenuhan terhadap kelayakan aspek teknis jalan dan kelayakan aspek lingkungan.

2.4.1 Pemenuhan terhadap Kelayakan Aspek Teknis Jalan

Kelayakan aspek teknis jalan dalam pemanfaatan limbah B3 *slag* baja sebagai bahan pengerasan jalan mempertimbangkan atas tiga hal, antara lain:

- a. Kebijakan Kementerian PUPR berkaitan dengan pemanfaatan limbah B3 *slag* baja sebagai bahan pengerasan jalan,
- b. Persyaratan pemanfaatan limbah B3 *slag* baja sebagai bahan pengerasan jalan dari kelayakan aspek teknis jalan, dan
- c. Hasil uji agregat *slag* baja sebagai bahan pengerasan jalan.

2.4.1.1 Kebijakan Kementerian PUPR Berkaitan dengan Pemanfaatan Limbah B3 *Slag* Baja sebagai Bahan Pengerasan Jalan

Kebijakan Kementerian PUPR berkaitan dengan pemanfaatan limbah B3 *slag* baja sebagai bahan pengerasan jalan antara lain mendorong penggunaan limbah B3 yaitu limbah B3 *slag* baja dalam pembangunan jalan, melakukan pengkajian awal mengenai potensi limbah B3 *slag* baja sebagai bahan pengerasan jalan yaitu melakukan uji coba baik skala laboratorium maupun lapangan, dan mengupayakan penyerapan limbah B3 *slag* baja yang berpotensi sebagai bahan dalam pembangunan infrastruktur jalan.

2.4.1.2 Persyaratan Pemanfaatan Limbah B3 *Slag* Baja sebagai Bahan Pengerasan Jalan dari Kelayakan Aspek Teknis Jalan

Pemanfaatan limbah B3 *slag* baja sebagai bahan pengerasan jalan ini harus memperhatikan deskripsi persyaratan dan hasil uji sifat fisik dan kimia dari limbah B3 *slag* baja. Hal tersebut yang membuktikan bahwa limbah B3 *slag* baja ini layak dari aspek teknis jalan untuk digunakan sebagai bahan pengerasan jalan.

Hasil uji sifat fisik dan kimia dari limbah B3 *slag* baja yang dijadikan acuan bahwa limbah B3 *slag* baja layak dari aspek teknis jalan, penulis tidak melakukannya sendiri, melainkan diperoleh dari hasil wawancara ke Puslitbang PUPR Bandung dan berdasarkan hasil studi literatur dari penelitian yang sudah ada.

a. Persyaratan Sifat Fisik

Persyaratan sifat fisik yang harus diperhatikan untuk mengetahui kelayakan aspek teknis jalan dalam pemanfaatan limbah B3 *slag* baja sebagai bahan pengerasan jalan yaitu harus memenuhi persyaratan dalam pedoman Pd T-04-2005-B. Mengacu pedoman tersebut, sifat fisik agregat limbah B3 *slag* baja harus memenuhi persyaratan yang dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Persyaratan Sifat Fisik Agregat *Slag* Baja

No	Parameter	Metode	Persyaratan
1	Berat jenis, %	SNI 03-1969-1990	min 3,3
2	Penyerapan, %	SNI 03-1969-1990	maks 3
3	Keausan agregat dengan mesin Los Angeles, %	SNI 03-2417-1991	maks 40
4	Kelekatan agregat terhadap aspal, %	SNI 03-2439-1991	min 95
5	Material lolos #200, %	SNI 03-4142-1996	maks 1

Sumber: Pd T-04-2005-B, 2005

Sifat fisik *slag* baja lainnya yang penting diperhatikan adalah persyaratan pelapukan bahan *slag* baja tidak boleh melebihi bahan standar pelapukan yaitu 1,12% (Gunawan, 2011).

b. Persyaratan Sifat Kimia

Selain harus memenuhi persyaratan sifat fisik, pemanfaatan limbah B3 *slag* baja sebagai bahan pengerasan jalan ini juga harus memenuhi persyaratan sifat kimia. Parameter yang sangat diperhitungkan dalam pembuatan campuran aspal adalah kandungan SiO_2 , Fe_2O_3 , dan Al_2O_3 . Kekuatan jalan dapat dipengaruhi oleh keberadaan oksida ini karena unsur yang mengandung silikat dan aluminat mempunyai kecenderungan sifat pozzolan yang dapat mengikat agregat, sehingga dapat memperkuat pengerasan (Gunawan, 2011).

Material dengan komposisi kimia Silika (SiO_2), Ferri Oksida (Fe_2O_3), dan Alumina (Al_2O_3) untuk digunakan sebagai bahan pembuatan campuran aspal, kadar total penjumlahan ketiganya harus memenuhi persyaratan yang tertera pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Standar Komposisi Kimia Senyawa Oksida

Komposisi	Acuan Sumber	Standar
SiO_2 , Fe_2O_3 , dan Al_2O_3	Puslitbang Jalan dan Jembatan, Kementerian PUPR, 2019 Setiati, 2018	Min 50% <70%

Sumber: Wawancara dengan Gunawan, Puslitbang PUPR, 15 November 2019, dan Setiati, 2018

2.4.1.3 Hasil Uji Agregat *Slag* Baja sebagai Bahan Pengerasan Jalan

Berdasarkan data yang diperoleh dari wawancara dengan Gunawan, Puslitbang PUPR Bandung, 15 November 2019, hasil uji sifat fisik dan kimia agregat limbah B3 *slag* baja, diuraikan sebagai berikut.

a. Hasil Pengujian Sifat fisik

Hasil analisa pengujian sifat fisik agregat limbah B3 *slag* baja sebagai bahan pengerasan jalan dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Hasil Pengujian Sifat Fisik *Slag* Baja

No	Parameter	Hasil Pengujian	Persyaratan
1	Berat jenis, %	3,6	min 3,3
2	Penyerapan, %	± 3	maks 3
3	Keausan agregat dengan mesin Los Angeles, %	27	maks 40
4	Kelekatan agregat terhadap aspal, %	100	min 95
5	Material lolos #200, %	0,670	maks 1

Sumber: Wawancara dengan Gunawan, Puslitbang PUPR, 15 November 2019

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik sifat fisik agregat *slag* baja yang tertera pada Tabel 2.3 di atas, dapat disimpulkan bahwa semua parameter sifat fisiknya telah memenuhi persyaratan dalam standar Pd T-04-2005-B.

Ada pula bukti hasil pengujian sifat fisik yang menunjukkan bahwa *slag* baja memang layak dijadikan sebagai bahan pengerasan jalan yaitu berdasarkan hasil penelitian Theresia (2017), mengatakan bahwa kadar berat jenis agregat *slag*nya yang dihasilkan oleh PT Hanil Jaya Steel Sidoarjo yaitu sebesar 3,5 dan penyerapannya sebesar 1,1%, serta hasil pemeriksaan keausan agregat kasarnya sebesar 24,98% yang artinya telah memenuhi persyaratan standar Pd T-04-2005-B. Hal tersebut menunjukkan bahwa berdasarkan sifat fisik, *slag* baja potensial untuk digunakan sebagai bahan pengerasan jalan.

Berdasarkan hasil pengujian sifat fisik *slag* baja pada penelitian Gunawan (2011), *slag* bajanya memiliki persentase pelapukan bahan limbah B3 *slag* baja sebesar 0,786% dan berarti telah memenuhi persyaratan pelapukan bahan pengerasan jalan yang tidak boleh melebihi bahan standar pelapukan yaitu 1,12%. Hal tersebut juga menunjukkan bahwa *slag* baja potensial digunakan sebagai bahan pengerasan jalan.

b. Hasil Pengujian Sifat kimia

Hasil pengujian sifat kimia *slag* baja dan bahan alam gamping untuk kadar kandungan senyawa oksida dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Hasil Pengujian Komposisi Kimia Senyawa Oksida

No	Komposisi	<i>Slag</i> baja	Gamping
1	SiO ₂	37,82%	2,84%
2	CaO	20,2%	18,99%
3	MgO	4,6%	0,6%
4	Al ₂ O ₃	12,73%	0,09%
5	Fe ₂ O ₃	0,75%	0,49%
6	pH	7	8,5

Sumber: Wawancara dengan Gunawan, Puslitbang PUPR, 15 November 2019

Memperhatikan hasil analisa di atas bahwa jumlah ketiga kandungan oksida SiO₂, Al₂O₃ dan Fe₂O₃ dalam limbah B3 *slag* baja yaitu sebesar 51,3%, berarti limbah B3 *slag* baja memenuhi persyaratan menurut Puslitbang PUPR yaitu sebesar ≥ 50 % dan menurut Setiati, 2018 yaitu masih $<70\%$.

Apabila dibandingkan dengan hasil pengujian kandungan oksida untuk bahan alam berupa batu gamping, limbah B3 *slag* baja lebih tinggi kandungan oksidanya. Hal ini menunjukkan bahwa bahan limbah B3 *slag* baja lebih layak atau lebih memenuhi standar sebagai bahan pengerasan jalan daripada bahan alam batu gamping. Selain itu, kandungan pH bahan limbah B3 *slag* lebih netral sehingga tidak mudah melarutkan senyawa yang terkandung dalam *slag* baja atau dengan kata lain ikatan senyawa kimia dalam *slag* baja lebih stabil atau lebih kuat dan tidak mudah bereaksi dengan unsur lain dan tidak mudah terurai, sehingga aman terhadap lingkungan.

Ada pula bukti hasil pengujian Komposisi Kimia Senyawa Oksida yang menunjukkan bahwa limbah B3 *slag* baja memang layak dijadikan sebagai bahan pengerasan jalan yaitu berdasarkan hasil penelitian Setiati (2018), mengatakan bahwa jumlah ketiga kandungan komposisi kimia senyawa oksida SiO₂, Al₂O₃ dan Fe₂O₃ dalam limbah B3 *slag* baja yang dihasilkan oleh PT Indocement pada tahun

2018 yaitu sebesar 50,64%, yang artinya menunjukkan komposisinya >50% dan masih <70% yang merupakan penentu utama dari kandungan komposisi kimia senyawa oksida SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 sebagai standar limbah B3 *slag* baja yang diperbolehkan menjadi bahan pembuatan bahan konstruksi jalan.

Berdasarkan data hasil pengujian sifat fisik dan kimia sebagaimana uraian diatas, limbah B3 *slag* baja sangat berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan pengerasan jalan karena telah memenuhi syarat-syarat sifat fisik dan kimia yang diatur dalam spesifikasi umum bidang jalan sesuai pedoman Pd T-04-2005-B. Selain itu, berdasarkan hasil wawancara dengan Gunawan, Puslitbang PUPR, 15 November 2019, diperoleh hasil percobaan lapangan untuk pengerasan jalan menggunakan limbah B3 *slag* baja dari PT Krakatau *Steel* yang dilakukan dalam pembangunan jalan Cileunyi-Bandung sampai saat ini masih dalam keadaan baik.

2.4.2 Pemenuhan terhadap Kelayakan Aspek Lingkungan

Mengetahui layak tidaknya limbah B3 *slag* baja sebagai bahan substitusi pengerasan jalan, limbah B3 *slag* baja tersebut sebelum dimanfaatkan harus ditinjau berdasarkan pemenuhan terhadap persyaratan kelayakan aspek lingkungan terlebih dahulu yaitu pemenuhan uji pelindian kandungan zat pencemar dalam limbah B3 *slag* baja harus memenuhi persyaratan baku mutu TCLP dan uji LD50 limbah B3 yang diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 101 tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah B3, serta Ketentuan Kadar Total Persentase Oksida dalam limbah B3.

Kelayakan aspek lingkungan dalam pemanfaatan limbah B3 *slag* baja sebagai bahan pengerasan jalan mempertimbangkan atas tiga hal, antara lain:

- a. Kebijakan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) berkaitan dengan pemanfaatan limbah B3 *slag* baja sebagai bahan pengerasan jalan,
- b. Persyaratan pemanfaatan limbah B3 *slag* baja sebagai bahan pengerasan jalan dari kelayakan aspek lingkungan, dan
- c. Hasil uji limbah B3 *slag* baja sebagai bahan pengerasan jalan.

2.4.2.1 Kebijakan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) Berkaitan dengan Pemanfaatan Limbah B3 *Slag* Baja sebagai Bahan Pengerasan Jalan

Berdasarkan hasil wawancara dengan Amsor, KLHK, 18 November 2019, bahwa Kebijakan pemerintah dalam hal pemanfaatan limbah B3 *slag* baja sebagai bahan pengerasan jalan adalah sebagai berikut:

- Mendorong penelitian pemanfaatan limbah B3 *slag* baja sebagai alternatif/substitusi bahan untuk pembangunan infrastruktur jalan yang dilakukan oleh kementerian pekerjaan umum dan perumahan rakyat (PUPR).
- Mendorong pemanfaatan limbah B3 *slag* baja untuk bahan pengerasan jalan yang memenuhi baku mutu atau standar lingkungan dan kelayakan teknis jalan.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah B3 bahwa pemanfaatan Limbah B3 wajib dilaksanakan oleh setiap orang yang menghasilkan limbah B3 dan dalam hal setiap orang tidak mampu melakukan sendiri, pemanfaatan limbah B3 dapat diserahkan kepada pemanfaat limbah B3. Hal tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah B3 diwajibkan dalam peraturan.

Peraturan Pemerintah No 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah B3, menyebutkan bahwa salah satu cakupan dalam pemanfaatan limbah B3 adalah pemanfaatan limbah B3 sebagai substitusi bahan baku. Hal tersebut sesuai dengan kebijakan pemerintah KLHK sebagaimana diuraikan di atas bahwa pemanfaatan limbah B3 *slag* baja dapat dijadikan sebagai alternatif/substitusi bahan pengerasan jalan.

2.4.2.2 Persyaratan Limbah B3 *Slag* Baja yang Dapat Dimanfaatkan sebagai Bahan Pengerasan Jalan dari Kelayakan Aspek Lingkungan

Persyaratan pemanfaatan limbah B3 *slag* baja sebagai bahan pengerasan jalan selain harus memenuhi persyaratan dari kelayakan aspek teknis jalan sesuai Pd T-04-2005-B, juga harus memperhatikan pemenuhan terhadap persyaratan kelayakan aspek lingkungan. Untuk mengetahui layak tidaknya limbah B3 *slag* baja sebagai

substitusi bahan pengerasan jalan, maka limbah B3 *slag* baja tersebut sebelum dimanfaatkan harus memenuhi persyaratan kelayakan aspek lingkungan sebagai berikut:

- a. Kadar total persentase oksida untuk parameter SiO_2 , Al_2O_3 , dan $\text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 50\%$ (lebih besar atau sama dengan lima puluh persen) (Wawancara dengan Amsor, KLHK, 18 November 2019);
- b. Hasil Uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) Limbah B3 *slag* baja harus memenuhi parameter dan baku mutu sebagaimana Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Baku Mutu Uji TCLP untuk Kegiatan Pemanfaatan Limbah B3

ZAT PENCEMAR	Baku Mutu TCLP (mg/L)
Arsen, As	0,5
Barium, Ba	35
Kadmium, Cd	0,15
Tembaga, Cu	10
Timbal, Pb	0,5
Merkuri, Hg	0,05
Nikel, Ni	3,5
Selenium, Se	0,5
Perak, Ag	5
Seng, Zn	50

Sumber: Baku Mutu berdasarkan Lampiran III Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah B3, 2014

- c. Mengacu pada PP 101 Tahun 2014, Hasil Uji *Lethal Dose-50* (LD50) limbah B3 yang dikatakan aman untuk dilakukan pemanfaatan limbah B3 adalah nilai LD50 > 50 mg/kg BB, yang berarti limbah B3 bersifat toksik tidak akut (kronis).

2.4.2.3 Hasil Uji Limbah B3 *Slag* Baja untuk Pemenuhan Persyaratan

Kelayakan Aspek Lingkungan

Berdasarkan persyaratan sebagaimana subbab 2.4.2.2 di atas, hasil uji limbah B3 *slag* baja untuk mengetahui layak tidaknya limbah B3 *slag* baja sebagai substitusi bahan pengerasan jalan diuraikan sebagai berikut.

a. Hasil Uji Kadar Total Persentase Oksida untuk Parameter SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 Terhadap Limbah B3 *Slag* Baja

Analisis karakteristik awal yang dilakukan terhadap limbah B3 yaitu dengan mengetahui hasil uji kadar oksida logam yang terdapat dalam limbah B3. Berdasarkan hasil wawancara dengan Amsor, KLHK, 18 November 2019, diperoleh hasil uji kadar total persentase oksida untuk parameter SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 terhadap limbah B3 *slag* baja berdasarkan data dari pengujian limbah B3 *slag* baja PT Krakatau Posco dan Pengujian limbah B3 *slag* baja PT Krakatau *Steel* oleh PT Holcim Indonesia, diuraikan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Hasil Uji Kadar Total Persentase Oksida

Parameter	Persentase	
	PT Krakatau Posco	PT Holcim Indonesia (Pengujian <i>slag</i> PT Krakatau <i>Steel</i>)
SiO_2	37,82	45,9
Al_2O_3	12,73	15,40
Fe_2O_3	0,75	0,65
Total SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3	51,3	61,95

Sumber: Wawancara dengan Amsor, KLHK, 18 November 2019

Berdasarkan data dari kedua perusahaan yang diuraikan pada Tabel 2.6, kadar total persentase parameter SiO_2 , Al_2O_3 , dan $\text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 50\%$ yang berarti untuk kadar total persentase oksida yang terkandung dalam limbah B3 *slag* baja yang dihasilkan dari kedua industri peleburan besi dan baja di atas, telah memenuhi persyaratan untuk bahan pengerasan jalan, yaitu kadar total persentase oksida untuk parameter SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 harus $\geq 50\%$ (lebih besar atau sama dengan lima puluh persen). Hasil analisa tersebut menunjukkan bahwa limbah B3 *slag* baja tidak mudah retak dan tidak mudah larut dalam air, sehingga aman terhadap lingkungan dan potensial dimanfaatkan sebagai alternatif pengganti bahan alam untuk kontruksi pengerasan jalan khususnya pada lapis pondasi.

b. Hasil Uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) Limbah B3 Slag Baja

Analisis karakteristik awal lainnya yang dilakukan terhadap limbah B3 yaitu dengan mengetahui hasil uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) yang terdapat dalam limbah B3. Berdasarkan hasil wawancara dengan Amsor, KLHK, 18 November 2019, diperoleh Hasil Uji Limbah B3 *Slag* Baja salah satu penghasil limbah B3 *slag* baja yaitu PT Krakatau Posco yang dibandingkan dengan baku mutu TCLP pada lampiran III PP 101 Tahun 2014, dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Hasil Uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP)

ZAT PENCEMAR	Hasil Uji TCLP (mg/L) PT Krakatau Posco	Baku Mutu TCLP (mg/L) sesuai Lampiran III PP 101/2014
Arsen, As	<0,0007	0,5
Barium, Ba	2,7913	35
Kadmium, Cd	<0,0008	0,15
Tembaga, Cu	0,007	10
Timbal, Pb	<0,005	0,5
Merkuri, Hg	<0,0005	0,05
Nikel, Ni	0,129	3,5
Selenium, Se	<0,0006	0,5
Perak, Ag	<0,002	5
Seng, Zn	0,0052	50

Sumber: Wawancara dengan Amsor, KLHK, 18 November 2019

Berdasarkan Hasil uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) Limbah B3 *slag* baja PT Krakatau Posco pada Tabel 2.7 menunjukkan bahwa seluruh parameter zat pencemar yang terkandung dalam limbah B3 *slag* baja PT Krakatau Posco, memenuhi baku mutu sesuai Lampiran III Peraturan Pemerintah Nomor 101 tahun 2014.

Hasil analisa uji TCLP tersebut menunjukkan bahwa parameter zat pencemar yang terkandung dalam limbah *slag* tidak mudah larut atau terlindikan. Berdasarkan uji TCLP tersebut limbah B3 *slag* baja aman terhadap lingkungan, sehingga dapat digunakan sebagai bahan pengerasan jalan.

Berdasarkan penelitian yang sudah pernah dilakukan oleh ST Siradjuddin (2011), mengatakan bahwa diperoleh hasil pengujian TCLP dari limbah B3 *slag* baja yang dihasilkan oleh PT Barawaja, unsur senyawa kimia berbahaya yang terlarutnya sangatlah kecil. Hal ini menandakan bahwa unsur Cd, Cr, Pb, dan Zn yang terkandung di dalamnya merupakan senyawa oksida yang berbentuk kristalin, dimana senyawa ini memiliki nilai kelarutan sangat kecil yaitu $< K_{sp} = 7 \times 10^{-27}$. Hal tersebut membuktikan bahwa hasil uji TCLP *slag* baja telah memenuhi syarat untuk dijadikan sebagai substitusi bahan campuran pengerasan jalan. Kandungan unsur logam berat yang terkandung dalam limbah B3 *slag* baja pada penelitian ST Siradjuddin (2011), terikat dalam mineral-mineral yang bersifat kristalin dan sulit untuk larut dalam air, sehingga limbah ini potensial digunakan sebagai substitusi bahan campuran pengerasan jalan.

c. Hasil Uji *Lethal Dose-50* (LD50) Limbah B3 *Slag* Baja

Berdasarkan hasil wawancara dengan Amsor, KLHK, 18 November 2020, diperoleh hasil pengujian toksisitas limbah B3 *slag* baja PT Ispat Indo yang dilakukan oleh Laboratorium Sucofindo dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Hasil Uji LD50 Limbah B3 *Slag* Baja PT Ispat Indo

Jenis Limbah	Sumber Limbah	Sifat Limbah	Jumlah Limbah	Hasil Uji*
<i>Slag</i>	Peleburan di EAF & Pemurnian di LRF	<i>Slightly Toxic</i>	± 9000 Ton/Bulan	LD50 = 748,18 Mg/Kg

Sumber: Wawancara dengan Amsor, KLHK, 18 November 2020

Berdasarkan hasil uji LD50 Limbah B3 *Slag* Baja PT Ispat Indo pada Tabel 2.8, menunjukkan bahwa limbah B3 *slag* baja yang dihasilkan oleh PT Ispat Indo aman terhadap lingkungan karena diperoleh nilai LD50 > 50 mg/kg BB, yaitu 748,18 mg/kg BB. Pada dosis 5000 mg/kg BB sampai 15.000 mg/kg BB sama sekali tidak terdapat kematian hewan uji. Dengan demikian, berdasarkan hasil uji toksisitas LD50 tersebut, limbah B3 *slag* baja bersifat toksik tidak akut sehingga dapat digunakan sebagai bahan pengerasan jalan.

Berdasarkan penelitian yang sudah pernah dilakukan oleh Gunawan (2011), mengatakan bahwa diperoleh hasil pengujian LD50 limbah B3 *slag* baja PT Krakatau *Steel*, angka kematian pada mencit jantan dan betina selama 0-96 jam, tidak ditemukan dalam setiap pemberian dosis (5; 50; 500; 5000; dan 15.000 mg/kg BB). Jadi, dapat disimpulkan bahwa limbah B3 *slag* baja yang dihasilkan oleh PT Krakatau *Steel* bersifat toksik tidak akut dan aman untuk dijadikan sebagai bahan pengerasan jalan.

2.5 Metoda Uji untuk Pemenuhan Aspek Lingkungan

Hal yang membuktikan bahwa limbah B3 *slag* baja ini layak dari aspek lingkungannya, dilihat dari analisis karakteristik awal terhadap limbah B3 *slag* baja yaitu dari hasil uji kadar total persentase oksida dan uji TCLP. Selain itu, yang membuktikan bahwa limbah B3 *slag* baja layak dari aspek lingkungan, juga dilihat dari hasil uji toksisitas LD50. Uji-uji tersebut tidak dilakukan oleh penulis sendiri, melainkan diperoleh dari hasil wawancara ke KLHK dan didukung oleh penelitian yang sudah ada.

Uji Kadar Total Persentase Oksida dilakukan berdasarkan metode Gravimetri untuk penetapan kadar oksida logam SiO_2 , dan metode SSA untuk penetapan kadar oksida logam Al_2O_3 dan Fe_2O_3 berdasarkan ketentuan prosedur dalam SNI 7574 Tahun 2010.

Langkah-langkah metode gravimetri untuk penetapan kadar oksida logam SiO_2 yaitu sebagai berikut:

1. Silika dilarutkan dengan aquades,
2. Kemudian HNO_3 dan HClO_4 kemudian dipanaskan sampai keluar uap putih,
3. Selanjutnya larutan disaring dengan kertas saring Whattman nomor 41,
4. Kertas saring dan residu dicuci menggunakan air panas sebanyak 15 kali,
5. Kemudian residu dan kertas saring dimasukkan ke dalam cawan platina,
6. Setelah itu dipanaskan dan dibakar di atas nyala gas sampai terbentuk abu,

7. Selanjutnya cawan platina dipijarkan pada furnace dengan suhu 1000°C selama 30 menit,
8. Setelah itu didinginkan dalam desikator vakum selama 20 menit,
9. Kemudian timbang,
10. Selanjutnya residu dalam platina dilarutkan dengan sedikit air,
11. Ditambahkan 1-2 tetes H_2SO_4 dan 5 HF,
12. Diuapkan sampai kering di atas plat pemanas,
13. Dipijarkan pada furnace dengan suhu 1000°C selama 2 menit,
14. Kemudian didinginkan dalam desikator vakum selama 20 menit, dan
15. Hasilnya ditimbang (Retnosari, 2013).

Langkah-langkah metode SSA untuk penetapan kadar oksida logam Al_2O_3 dan Fe_2O_3 yaitu sebagai berikut:

1. Sejumlah contoh dimasukkan ke dalam botol timbang,
2. Panaskan dalam oven pengering pada suhu 1050°C selama 2 jam,
3. Dinginkan dalam desikator vakum selama 20 – 25 menit,
4. Contoh sebanyak 250 mg dalam cawan platina ditambah dengan 1,00 g lithium metaborat,
5. Contoh diaduk dengan 1,00 g lithium metaborat sampai homogen,
6. Kemudian ditambahkan 0,50 g litium metaborat ke dalam botol timbang,
7. Masukkan ke dalam tungku pemanas pada suhu 10.000°C selama 30 menit,
8. Leburan dalam cawan diaduk sekurang-kurangnya satu kali,
9. Cawan platina diangkat,
10. Kemudian didinginkan beberapa saat dan dimasukkan kedalam teflon piala yang sudah berisi 12,5 mL HNO_3 dan 40 mL aquades,
11. Panaskan di atas plat pemanas sampai larut,
12. Dinginkan dan masukkan secara kuantitatif ke dalam labu ukur 250 mL,
13. Tambahkan 10 mL lantanum 10%, impitkan sampai tanda batas,
14. Kocok sampai homogen,
15. Lakukan pengerjaan blanko, dengan contoh diganti aquades, sesuai dengan butir 1 sampai dengan 5,

16. Ukur serapan dari larutan seri standar, blanko dan contoh pada panjang gelombang masing masing unsur dengan SSA,
17. Gunakan nyala (flame) dari campuran nitrous oksida–asetilena ($N_2O-C_2H_2$) atau nyala dari campuran udara-asetilena (udara- C_2H_2) sesuai dengan unsur yang akan diperiksa,
18. Bandingkan serapan larutan contoh dari masing masing unsur dengan serapan larutan standar,
19. Hitung kadar masing-masing unsur (SNI 7574:2010).

Uji TCLP dilakukan berdasarkan ketentuan dalam PermenLH No 55 Tahun 2015 yaitu menggunakan Metode Uji 1311-*United States Environmental Protection Agency (US-EPA)*, dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Tumbuk contoh uji,
2. Ayak contoh uji dengan menggunakan ayakan No.100,
3. Timbang contoh uji sebanyak 25 gram,
4. Larutkan contoh uji dalam larutan asam asetat pada pH 3, tambahkan larutan sampai volumenya 100 mL, kemudian ekstrak dengan menggunakan alat pengestrak,
5. Saring larutan yang telah diekstrak dengan menggunakan microfiber filter yang mempunyai porositas kapiler 0,6-0,7 milimikron,
6. Simpan larutan di dalam botol Teflon sebelum dilakukan pengujian,
7. Uji larutan uji dengan menggunakan alat *Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)*.

Uji *Lethal Dose-50 (LD50)* dilakukan, dengan langkah-langkah berikut:

1. Aklimatisasi mencit selama 7 hari
2. Kelompokkan 30 ekor mencit secara random, dibagi menjadi 5 kelompok perlakuan yang masing-masing terdiri dari 6 ekor mencit, untuk diberi perlakuan pemberian dosis berbeda tingkatan di hari ke-8
3. Sebelum diberi perlakuan, mencit dilakukan penimbangan terlebih dahulu

4. Sebelum diberi perlakuan, mencit juga dilakukan pengamatan kondisi fisik terlebih dahulu, agar dapat mengetahui perubahan yang terjadi pada mencit setelah diberi perlakuan nanti
5. Mencit diberi perlakuan sesuai kelompoknya
6. Pengamatan perubahan gejala toksik pada mencit dilakukan 24 jam pertama setelah diberi perlakuan
7. Perhitungan mencit mati dilakukan sejak perlakuan hingga 24 jam berikutnya
8. LD50 ditentukan dengan menghitung kematian sampel selama 24 jam setelah diberi perlakuan (Jumain, 2018).

2.6 Instansi Terkait

Penelitian ini dilakukan di instansi-instansi terkait pemanfaatan limbah B3 *slag* baja sebagai bahan pengerasan jalan. Limbah B3 *slag* baja yang ditargetkan sebagai bahan pengerasan jalan pada penelitian ini yaitu limbah B3 *slag* baja yang dihasilkan oleh Industri Peleburan Besi dan Baja PT Master *Steel Manufactory* di Jakarta. Uraian berikut merupakan hasil wawancara dengan Suwarsono, PT Master *Steel Manufactory*, 19 November 2019.

PT Master *Steel Manufactory* adalah sebuah perusahaan penyedia baja yang dapat dipercaya dalam hal mutu. PT Master *Steel Manufactory* berdiri pada tahun 2000. PT Master *Steel Manufactory* sudah 20 tahun memfokuskan diri sebagai Distributor Baja dan Penyedia Baja (*Steel Wholesaler*) yang paling lengkap di Indonesia. Menyediakan semua jenis baja lokal dan impor untuk memenuhi kebutuhan proyek pemerintah dan swasta, kontraktor-kontraktor, bengkel-bengkel, dan pabrik-pabrik.

PT Master *Steel Manufactory* berlokasi di Jl Raya Bekasi Km 21 Pegangsaan Dua, Kelapa Gading Jakarta Utara, DKI Jakarta. Produk yang dihasilkan dari kegiatan produksi PT Master *Steel Manufactory* adalah berupa besi dan baja, yang pastinya sudah sesuai dengan izin usahanya. Kapasitas produksi *real* PT Master *Steel Manufactory* saat ini rata-rata 120.000 ton/tahun.

Jenis limbah B3 *slag* baja yang dihasilkan dari kegiatan proses produksi PT Master *Steel Manufactory* adalah *slag* baja, *mill scale*, oli bekas dan abu/*dust* EAF. Jumlah timbulan limbah B3 *slag* baja yang dihasilkan sangat tergantung kapasitas produksi besi baja. Persentase limbah B3 *slag* baja yang dihasilkan setiap ton produksi baja yaitu sekitar 20 persen limbah B3 *slag* baja. Apabila kapasitas produksinya 120.000 ton/tahun, maka limbah B3 yang berupa *slag* baja yang dihasilkan sekitar 24.000 ton/tahun.

Pengelolaan terhadap limbah B3 berupa *slag* yang dihasilkan oleh PT Master *Steel Manufactory* diserahkan ke pihak 3 yang berizin dari KLHK untuk dijadikan sebagai bahan baku pembuatan batako. Pihak ke-3 yang menerima limbah B3 *slag* baja PT Master *Steel Manufactory* adalah PT Haromaein Prima Artha yang berlokasi di Karawang Jawa Barat.

Mulai September 2018, limbah B3 *slag* baja yang dihasilkan oleh PT Master *Steel Manufactory* tidak lagi diserahkan kepada PT Haromaein Prima Artha, dikarenakan PT Haromaein Prima Artha telah melakukan pembuangan limbah B3 *slag* baja tersebut ke lingkungan.

Pembuangan limbah B3 *slag* baja tersebut ke lingkungan, dikarenakan jumlah limbah B3 *slag* baja yang diterima oleh PT Haromaein Prima Artha tidak sesuai dengan kapasitas produksi batako yang dilakukan PT Haromaein Prima Artha (jumlah limbah B3 *slag* baja yang diterima sangat besar dibandingkan penyerapan untuk pembuatan batako).

Terjadinya kasus pada PT Haromaein Prima Artha menjadikan limbah B3 *slag* baja yang dihasilkan oleh PT Master *Steel Manufactory* masih disimpan di TPS Limbah B3 menunggu diambil oleh pengelola limbah B3 yang tidak bermasalah. Menurut hasil pada saat wawancara, rencana ke depannya akan dikaji untuk dimanfaatkan sebagai bahan pengerasan jalan.

2.7 Ekonomi Lingkungan

Ekonomi adalah studi mengenai bagaimana dan mengapa konsumen, perusahaan, lembaga pemerintah yang membuat keputusan-keputusan berkaitan dengan penggunaan sumberdaya yang berharga (*valuable resources*) (Ismail, 2017). Lingkungan adalah keseluruhan keadaan-keadaan yang ada di sekitar suatu kelompok organisme, khususnya kombinasi dari kondisi fisik eksternal dan kondisi-kondisi sosial dan budaya (Putri, 2017). Ekonomi Lingkungan sendiri adalah suatu studi mengenai masalah-masalah lingkungan menurut sudut pandang dan analisis ekonomi secara luas (Putri, 2017).

2.8 Nilai Ekonomi Total

Menurut Munasinghe (1993), membuat klasifikasi nilai manfaat yang menggambarkan Nilai Ekonomi Total (*Total Economic Value*) berdasarkan cara atau proses manfaat tersebut diperoleh. Nilai ekonomi total adalah nilai-nilai yang terkandung di dalam sumberdaya alam, merupakan penjumlahan dari seluruh nilai guna langsung, nilai guna tak langsung, nilai pilihan dan nilai keberadaan (Ariftia, 2014). Nilai ekonomi total (NET) merupakan penjumlahan dari nilai guna langsung, nilai guna tidak langsung dan nilai bukan guna (Pearce, 1992).

Menurut Dixon (1986), Nilai ekonomi total terdiri dari nilai guna langsung dan nilai guna tidak langsung. Nilai guna langsung adalah manfaat yang dapat langsung dirasakan manfaatnya (Alam, Supratman dan Alif, 2009). Nilai guna tidak langsung adalah nilai yang secara tidak langsung dirasakan manfaatnya (Alam, Supratman dan Alif, 2009) dan dapat berupa hal yang mendukung nilai guna langsung, seperti berbagai manfaat yang bersifat fungsional (Nurfatriani, 2006). Nilai Guna Langsung dan Tidak Langsung ini termasuk dalam harga pasar (Bishop, 1999).

Nilai bukan guna meliputi manfaat yang tidak dapat diukur di luar nilai guna langsung dan tidak langsung. Nilai bukan guna terdiri atas nilai pilihan, nilai keberadaan, dan nilai warisan. Nilai pilihan adalah nilai potensial yang dapat dimanfaatkan untuk masa yang akan datang (Alam, Supratman dan Alif, 2009).

Nilai keberadaan adalah nilai kepedulian seseorang akan keberadaan suatu sumber daya alam (Alam, Supratman dan Alif, 2009). Sementara nilai warisan adalah nilai yang diberikan masyarakat yang hidup saat ini terhadap sumber daya alam, agar tetap utuh untuk diberikan kepada generasi akan datang (Alam, Supratman dan Alif, 2009).

Nilai-nilai keberadaan dan warisan tidak termasuk dalam harga pasar (Bishop, 1999). Penelitian ini tidak melakukan valuasi nilai bukan guna, karena saat ini sedang dalam kondisi pandemik, sehingga tidak memungkinkan untuk penulis memperoleh data secara langsung ke masyarakat.

2.9 Analisis Manfaat Biaya (AMB)

Analisis Manfaat Biaya (AMB) adalah suatu sistem evaluasi manfaat dan biaya dari suatu investasi (Akriana, 2014). Analisis Manfaat Biaya (AMB) merupakan suatu analisis untuk melihat apakah proyek investasi berhasil atau tidak dilaksanakan (Amanda, 2019). Analisis Manfaat Biaya (AMB) bertujuan untuk menganalisis kelayakan finansialnya (Amanda, 2019).

Analisis kelayakan finansial adalah analisis suatu proyek yang mempunyai kepentingan langsung dalam proyek yang melihat dari sudut pandang lembaga atau yang menginvestasikan modalnya ke dalam proyek, apakah layak/tidaknya proyek tersebut dilaksanakan/dilanjutkan (Amanda, 2019). Analisis kelayakan finansial, keuntungan ditinjau dari sudut pandang pihak yang memberi investasi terhadap suatu proyek (Sari, 2019).

Analisis kelayakan finansial dilakukan menggunakan Analisis Manfaat Biaya (AMB). Hal tersebut dapat ditentukan dengan 4 indikator metode, yang terdiri dari metode *Net Present Value* (NPV), metode *Benefit-Cost Ratio* (BCR), metode *Internal Rate of Return* (IRR), dan metode *Payback Periode* (PP).

2.9.1 Metode *Net Present Value* (NPV)

Net Present Value (NPV) adalah selisih nilai sekarang dari penerimaan bersih di masa yang akan datang dengan nilai sekarang dari investasi (Rangkuti, 2012). *Net Present Value* (NPV) merupakan manfaat (*benefit*) yang diperoleh dari pembangunan proyek dikurangi dengan biaya (*cost*) yang dikeluarkan untuk pembangunan proyek dan dihitung berdasarkan nilai sekarang (*present value*) (Hermawati, 2011). *Net Present Value* (NPV) memperhitungkan nilai waktu terhadap uang. Untuk itu *Discount Rate* (DR) atau tingkat suku bunga, ditetapkan dan digunakan untuk menilai biaya dan pendapatan di masa datang kedalam nilai sekarang (Hermawati, 2011).

2.9.2 Metode *Benefit-Cost Ratio* (BCR)

Benefit-Cost Ratio (BCR) adalah nilai perbandingan antara total nilai manfaat dengan total nilai biaya yang dikeluarkan. *Benefit-Cost Ratio* (BCR) adalah angka banding antara manfaat (*benefit*) dan biaya (*cost*). Angka banding yang baik adalah apabila nilainya lebih dari 1 (satu) yaitu keadaan yang menggambarkan bahwa manfaat yang diberikan adalah lebih besar dibandingkan dengan biaya yang dikeluarkannya (Hermawati, 2011).

2.9.3 Metode *Internal Rate of Return* (IRR)

Internal Rate of Return (IRR) merupakan metode yang mengukur seberapa besar pengembalian proyek terhadap investasi yang ditanamkan (Amanda, 2019). Hasil dari perhitungan ini adalah dalam satuan persentase. *Internal Rate of Return* (IRR) merupakan alat untuk mengukur tingkat pengembalian hasil *intern* (Kasmir, 2012). Pada metode *Internal Rate of Return* (IRR) tingkat bunga yang akan dihitung (Amanda, 2019).

2.9.4 Metode *Payback Periode* (PP)

Payback Period (PP) adalah berapa lama jangka waktu pengembalian biaya investasi terhadap suatu proyek (Sari, 2019). *Payback Period* (PP) adalah suatu periode yang diperlukan untuk menutup kembali pengeluaran investasi, yang hasilnya merupakan satuan waktu (Umar, 2009). *Payback Period* (PP) merupakan metode pengukuran seberapa cepat investasi bisa kembali (Amanda, 2019).

