

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lapis Aspal Beton

Lapisan aspal beton atau laston merupakan salah satu material pembangunan jalan dengan mencampurkan aspal panas dan agregat yang kemudian dipadatkan. Lapis aspal beton dapat diartikan sebagai lapis permukaan dengan agregat yang bergradasi baik. Pengaplikasian laston ini kerap diterapkan di jalan yang tingkat lalu lintasnya tinggi (Sukirman, 2010).

Pada umumnya laston diterapkan untuk lapis struktural bagian permukaan. Menurut (Diansari, 2016), laston memiliki 3 macam campuran diantaranya.

- a. Lapis aus atau AC-WC memiliki ketebalan minimum 4 cm. Lapis ini terletak paling atas sebagai penerima beban kendaraan secara langsung.
- b. Lapis antara atau AC-BC harus memiliki tebal minimum yang disyaratkan sebesar 6 cm. Lapis ini berada di antara lapis aus dan lapis pondasi.
- c. Lapis pondasi atau AC-Base memiliki tebal minimum 7,5 cm. Lapis ini bersifat struktural sehingga harus terdiri dari campuran material yang awet dan kuat.

Lapis aspal beton dapat dimodifikasi menggunakan elastomer sintetis seperti karet alam serta plastik yang bertujuan untuk memperbaiki sifat fisik campuran aspal (Sumiati et al., 2019). Dalam pelaksanaannya lapis aspal modifikasi ini memiliki ketentuan yang harus terpenuhi.

Tabel 2.1 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston Modifikasi (AC Mod)

Sifat-sifat Campuran		Laston Modifikasi		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah Tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6		
	Maks	1,2		
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13

Sifat-sifat Campuran		Laston Modifikasi		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Rongga Terisi Aspal (%)	Min	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	1000		2250
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min	2		
Stabilitas Dinamis, lintasan/mm	Min	2500		

Sumber : Spesifikasi Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal

2.2 Bahan Pembentuk Lapis Aspal Beton

Laston terdiri campuran agregat, aspal dan bahan tambah (jika menghendaki aspal modifikasi) yang dicampur dengan suhu yang telah ditetapkan. Campuran agregat harus terdiri dari agregat kasar dan halus serta *filler* sebagai bahan pengisi (Nasution dkk., 2017).

a. Agregat Kasar

Agregat yang digunakan merupakan bahan dari batu pecah dengan ketentuan tertahan pada ayakan No. 4 ukuran 4,75 mm. Kondisinya harus kuat, awet, bersih dari lempung, dan basah. Pemilihan agregat ini harus sesuai seperti yang disyaratkan. Persyaratan dan ketentuan lain mengenai penggunaan agregat kasar dapat menggunakan referensi dari Spesifikasi Teknik Bina Marga dengan SNI tahun terbaru.

b. Agregat Halus

Material agregat halus harus memiliki kandungan pasir atau semacamnya dan lolos ayakan No. 4 ukuran 4,75 mm. Kadar pasir pada campuran laston yang digunakan maksimal adalah 15% dari total. Penelitian ini menggunakan limbah *tailing* sebagai bahan substitusi pasir alam. Agregat halus dapat menggunakan bahan apapun yang masih sesuai dengan ketentuan. Referensi dalam memilih bahan agregat halus dapat menggunakan SNI pengujian tahun terbaru atau berdasarkan Spesifikasi Teknis Bina Marga.

c. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi untuk campuran lapis aspal beton dapat berasal dari debu batu, semen, atau abu terbang. Salah satu fungsi dari bahan pengisi adalah mengisi ruang pada tiap agregat agar campuran aspal menjadi padat. Oleh karena itu, bahan pengisi harus kering, tidak menggumpal, dan lolos ayakan No. 200. Apabila menggunakan bahan semen, maka kadar pengisinya antara 1% sampai 2% dari berat total. Sedangkan bahan lain, rentang kadarnya dari 1% hingga 3% dari berat total. Pada penelitian ini menggunakan semen sebagai bahan pengisi.

d. Gradasi Agregat

Gradasi agregat diperoleh dari hasil persentase *job mix design* campuran lapis aspal beton tertentu. Gradasi agregat harus berada diantara batas-batas yang diijinkan dengan tetap memperhatikan spesifikasi tiap campuran agregat.

Tabel 2.2 Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat		
		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	WC	BC	Base
1½"	37,5			100
1"	25		100	90-100
¾"	19	100	90-100	76-90
½"	12,5	90-100	75-90	60-78
3/8"	9,5	77-90	66-82	52-71
No.4	4,75	53-69	46-64	35-54
No.8	2,36	33-53	30-49	23-41
No.16	1,18	21-40	18-38	13-30
No.30	0,6	14-30	12-28	10-22
No. 50	0,3	9-22	7-20	6-15
No.100	0,15	6-15	5-13	4-10
No.200	0,075	4-9	4-8	3-7

Sumber : Spesifikasi Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal

e. Aspal

Salah satu material utama pada campuran lapis aspal beton khususnya pada *flexible pavement* untuk mengikat campuran agregat adalah aspal. Material ini memiliki warna hitam coklat serta viskoelastis yang memudahkannya mencair saat dipanaskan. Aspal dapat terbentuk karena perlakuan alam atau penyulingan minyak (Diansari, 2016). Beberapa jenis aspal diantaranya,

- Aspal Keras

Aspal ini berbentuk padat yang dapat mencair ketika dipanaskan karena adanya sifat viskoelastis. Aspal jenis ini memiliki ketentuan dalam setiap pengujiannya.

Tabel 2.3 Ketentuan untuk Aspal Keras

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen 60-70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				Elastomer Sintetis	
				PG70	PG76
1.	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70	Dilaporkan	
2.	Temperatur yang menghasilkan geser dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 1,0$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
3.	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	ASTM D2170-10	≥ 300	≤ 3000	
4.	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48	Dilaporkan	
5.	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	-	
6.	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232	≥ 230	
7.	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASTHO T44-14	≥ 99	≥ 99	
8.	Berat Jenis	SNI 2441:2011	$\geq 1,0$	-	
9.	Stabilitas Penyimpanan : Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	$\leq 2,2$	
10.	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤ 2		
11.	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	$\leq 0,8$	$\leq 0,8$	

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen 60-70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				Elastomer Sintetis	
				PG70	PG76
12.	Temperatur yang menghasilkan geser dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 2,2$ kPa ($^{\circ}\text{C}$)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
13.	Penetrasi pada 25 $^{\circ}\text{C}$ (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54	≥ 54	≥ 54
14.	Daktilitas pada 25 $^{\circ}\text{C}$ (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50	≥ 50	≥ 25
	Residu aspal segar setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperature 100$^{\circ}\text{C}$ dan tekanan 2,1 MPa				
15.	Temperatur yang menghasilkan geser dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik ≤ 5000 kPa ($^{\circ}\text{C}$)	SNI 06-6442-2000	-	31	34

Sumber : Spesifikasi Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal

- Aspal Cair

Aspal yang merupakan campuran larutan aspal (keras) dan minyak

- Aspal Emulsi

Aspal jenis ini hampir serupa dengan aspal cair namun ditambahkan dengan bahan pengemulsi.

2.3 Lapis Asphalt Concrete – Wearing Course

Lapis *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC) adalah salah satu jenis lapis aspal beton (laston) yang dikenal dengan lapisan aus atau lapis permukaan. Lapisan ini memiliki tebal minimum yaitu 4 cm. Laston jenis ini dirancang untuk kuat terhadap gaya geser, tekanan pada roda kendaraan, kedap air untuk lapisan dibawahnya dan tahan terhadap perubahan suhu dan cuaca (Besouw et al., 2019).

2.4 Tailing

Tailing yang diatur dalam Spesifikasi Khusus Bina Marga tahun 2020 adalah jenis *tailing* yang berasal dari deposit Ajkwa di Timika yang telah memenuhi ketentuan PP Nomor 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah

Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2020). Berikut ketentuan *Tailing* yang harus digunakan.

Tabel 2.4 Ketentuan Tailing

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997 : Metode pengujian agregat halus atau pasir yang mengandung bahan plastik dengan cara setara pasir	Min. 50%
Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 4141:2015: Metode uji gumpalan lempung dan butiran mudah pecah dalam agregat	Maks. 1%
Kadar rongga agregat halus yang tidak dipadatkan	SNI 03-6877-2002 : Metode pengujian kadar rongga agregat halus yang tidak dipadatkan	Min. 40%

Sumber : Spesifikasi Khusus Bina Marga Bab Tailing 2020

Gradasi agregat pada campuran beraspal menggunakan *Tailing* sama seperti campuran aspal pada umumnya yang diatur pada Spesifikasi Bina Marga tahun 2018 revisi 2. Adapun ketentuan dari sifat-sifat campuran AC-WC dengan *Tailing*.

Tabel 2.5 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran AC-WC dengan Tailing

Sifat – Sifat Campuran	Metode Pengujian	AC Tailing
		AC-WC _T
Jumlah tumbukan per bidang	ASTM D6926-10 :	75
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	-	0,6 – 1,2
Rongga dalam campuran (%)	AASHTO M323-12 :	3 – 5
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)		Min. 17
Rongga terisi aspal (%)		Min. 65
Stabilitas Marshall (kg)	ASTM D6927-06 :	Min. 800
Pelelehan (mm)		2 – 4
Stabilitas Marshall sisa (%), setelah perendaman selama 24 jam, 60°C		Min. 90
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	BS EN 12697-32 : 2003	Min. 2

Sumber : Spesifikasi Khusus Bina Marga Bab Tailing 2020

Tailing dari limbah pertambangan oleh PT Freeport Indonesia memiliki karakteristik yang serupa dengan pasir. Limbah *Tailing* mengandung bahan logam mineral yaitu tembaga, emas dan perak. Oleh karena itu, pada penelitian (I. Susanto et al., 2021) dilakukan pengujian unsur kimia pada limbah *Tailing*.

Tabel 2.6 Hasil Pengujian Unsur Kimia Limbah Tailing PT Freeport Indonesia

Parameter	Metode	Total %
SiO ₂	XRF	43,21
Al ₂ O ₃	XRF	8,68
Fe ₂ O ₃	XRF	10,17
CaO	XRF	6,50
K ₂ O	XRF	4,59
MgO	XRF	2,51
Na ₂ O	XRF	2,05
TiO ₂	XRF	2,30
LOI	ASTM D 7348-08	3,67

Selain itu dilakukan pengujian *California Bearing Capacity* (CBR) untuk menentukan karakteristik sifat fisik dari limbah *Tailing* PT Freeport Indonesia.

Tabel 2.7 Hasil Pengujian CBR dan Sifat Fisik dari Limbah Tailing PTFI

No	Pengujian	Hasil
1	Analisis Gradasi - No. 4 - No. 10 - No. 40 - No. 200	100 95,91 80,75 35,70
2	Batas Atterberg	NP
3	Spesific Gravity	2,839
4	Klasifikasi (AASHTO)	A-4
5	Compaction Characteristic - Optimum Moisture Content - Maximum Dry Density	13,4 % 1,8 g/cm ³
6	CBR Soaked	14,75 %

Pemerintah Indonesia dalam memanfaatkan limbah *Tailing* ini sebagai salah satu limbah B3 maka perlu diterapkan pengujian TCLP. Pada penelitian (I. Susanto et al., 2021), hasil dari pengujian TCLP membuktikan bahwa limbah *Tailing* masih aman digunakan di lingkungan karena material berbahaya nya lebih kecil daripada standar TCLP A dan TCLP B.

2.5 Fly Ash

Fly ash berasal dari hasil pembakaran batu bara di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). *Fly ash* merupakan abu yang sangat halus dan mengapung pada boiler (Indriyati dkk., 2019). Pada *Fly Ash* terdapat kandungan Silika yang hidrasinya lebih besar daripada semen sehingga perlu adanya penambahan semen untuk mengikat *fly ash* pada campuran aspal. *Fly ash* memiliki beberapa jenis yaitu tipe N, F, C. Sebagaimana diatur di spesifikasi umum bina marga, tipe F dan C pada abu terbang dapat dijadikan bahan pengisi/filler serta kedua tipe tersebut memiliki kandungan kapur yang lebih banyak.

Tabel 2.8 Sifat Kimia Fly Ash

Parameter	Tipe Fly Ash		
	N	F	C
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	70	70	50
SO_3 maks (%)	4	5	5
Kadar Air (%)	3	3	3
Kehilangan pada pembakaran maks (%)	10	6	6

Sumber : (I. Susanto et al., 2020)

Penggunaan *Fly Ash* sebagai substitusi semen pada campuran aspal harus disesuaikan dengan spesifikasi umum sehingga membutuhkan data tentang sifat fisik material *Fly Ash*.

Tabel 2.9 Sifat Fisik Fly Ash dari PLTU Labuan Angin

Jenis Pengujian	Hasil Uji Abu dari PLTU Labuan Angin
	Fly Ash
Batas Plastis	Non
Berat Jenis	2,64
Penyerapan	-
Setara pasir	-
Analisa saringan	
9,52 (3/8")	
No.4	
No.8	
No.16	
No.20	
No.30	
No.40	100
No.50	99,82
No.80	99,74
No.100	99,67
No.200	95,54

Sumber : (I. Susanto et al., 2020)



Gambar 2.1 Fly Ash

Berdasarkan sifat fisik tersebut maka dapat disesuaikan dengan spesifikasi umum bina marga untuk persyaratan bahan pengisi dan agregat halus yang diizinkan pada lapis aspal beton. Penelitian ini akan menggunakan *fly ash* untuk bahan pengisi sebagai semen pada campuran lapis AC-WC dengan persentase tertentu.

2.6 Pengujian Marshall

Pengujian marshall merupakan poin penting dalam melakukan suatu penelitian tentang perkerasan aspal. Pengujian marshall digagas oleh Bruce

Marshall pada tahun 1948. Terdapat *proving ring* yang menghasilkan nilai stabilitas dengan kapasitas 22,2 kN dan *flowmeter* untuk alat mengukur kelelehan. Dalam keperluan marshall diperlukan benda uji dengan diameter 10,6 cm dan tinggi 6,35 cm. Output pengujian marshall akan mempengaruhi nilai parameter pengujian marshall diantaranya yaitu (Bancin et al., 2021)

a. Kepadatan / *density*

kepadatan/*density* dapat diperoleh saat campuran aspal dan agregat telah melalui proses pemadatan. Aspek yang mempengaruhi nilai kepadatan adalah kualitas materialnya, pelaksanaan dan temperatur pemadatan, jumlah tumbukan, berat jenis agregat dan kadar aspal.

b. *Void In The Mix* (VIM)

Rumus yang digunakan pada VIM adalah

$$VIM = 100 - \frac{100 \times \text{berat volume b.u}}{B.J \text{ maksimum teoritis}}$$

c. *Void In Mineral Aggregate* (VMA)

VMA dapat dihitung menggunakan rumus

$$VMA = 100 - \frac{(100 - \% \text{aspal}) \times \text{berat volume b.u}}{B.J \text{ Agregat}}$$

d. Rongga Terisi Aspal (VFA)

Rumus yang digunakan adalah

$$VFA = 100 \times \frac{(VMA - VIM)}{VMA}$$

e. Stabilitas

Stabilitas adalah proses lapisan konstruksi jalan saat memikul beban mati dan hidup dan tidak terjadi penurunan secara permanen. Nilai stabilitas didapatkan pada pembacaan arloji alat marshall. Satuan yang digunakan adalah kg.

f. Kelelehan

Nilai kelelehan didapatkan pada pembacaan arloji *flow* dalam satuan mm.

g. *Marshall Quotient*

Persamaan yang digunakan pada *marshall quotient* adalah

$$MQ = \frac{MS}{MF}$$

2.7 Ramah Lingkungan

Penggunaan material pada pelaksanaan konstruksi harus dilakukan seefisien mungkin dan meminimalkan timbulan limbah konstruksi. Pada penelitian ini, *tailing* dan *fly ash* sebagai substitusi pasir dan *filler*, dimana *tailing* merupakan limbah hasil tambang dan *fly ash* merupakan limbah hasil pembakaran batubara. Sehingga, diharapkan penelitian ini dapat menjadi penelitian yang ramah lingkungan. Dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2021 (PUPR, 2021) dinyatakan salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam upaya pengelolaan limbah konstruksi yaitu tingkat persentase dari material dan/atau limbah konstruksi yang tidak beracun, yang dapat dipergunakan Kembali.

2.8 Ekonomis

Perencanaan anggaran merupakan salah satu bagian penting dari merencanakan penelitian ini. Pada penelitian ini *tailing* dan *fly ash* digunakan sebagai substitusi pasir dan *filler*. Adapun limbah *tailing* ini didapatkan di daerah Papua Tengah, Timika dan harapannya adalah penelitian ini dapat diwujudkan di daerah Papua sendiri, guna meningkatkan kualitas jalan di daerah Papua. Harga satuan yang digunakan merupakan harga satuan pada daerah Timika. Untuk perhitungan anggaran biaya mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI). Analisa SNI adalah sistem koefisien analisa harga satuan bangunan yang dikeluarkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman. Prinsip yang mendasar pada metode SNI adalah, daftar koefisien bahan bangunan, upah tenaga, dan sewa peralatan sudah ditetapkan untuk menganalisa harga atau biaya yang diperlukan dalam membuat harga satu satuan pekerjaan bangunan (Tamalika & Fuad, n.d.).

2.9 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.10 Penelitian Terdahulu

No	Nama Author	Tahun	Judul	Intisari	Saran/ Kekurangan	Persamaan	Perbedaan
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1.	Ronny Pandelege	2014	Kajian Karakteristik Mortar Dengan Menggunakan <i>Tailing</i> dan <i>Additive</i> sebagai Substitusi Parsial Semen	Tujuan : Menemukan komposisi campuran mortar <i>tailing</i> menghasilkan kuat tekan umur 28 hari Metode : Metode yang digunakan adalah penelitian dengan kadar-kadar tertentu. Hasil : Kuat tekan maksimum diperoleh nilai 17,97 Mpa pada campuran mortar <i>tailing</i> 5% dan <i>additive</i> 2%.	Sebaiknya diadakan penelitian lebih lanjut terkait penggunaan <i>tailing</i> pada benda uji <i>pavingblock</i> maupun <i>hollowbrick</i> .	<i>Tailing</i> yang digunakan berasal dari pertambangan emas.	<i>Tailing</i> dijadikan substitusi sebagian pada material semen.
2.	Ramesh Chandra Gupta, Priyansha Mehra, dan Blessen Skariah Thomas	2016	<i>Utilization of Copper Tailing in Developing Sustainable and Durable Concrete</i>	Tujuan : Penelitian ini untuk mendapatkan nilai kekuatan, permeabilitas, abrasi, karbonasi dan penyusutan pada beton yang dicampur dengan <i>tailing</i> tembaga sebagai agregat halus. Metode : Metode yang digunakan adalah penelitian dengan pengujian kuat tekan, abrasi, dan penyusutan. Hasil : Untuk persentase <i>tailing</i> 70% dapat diterapkan pada semua aplikasi karena material ini mampu menambah kepadatan pada beton.	Sebaiknya dijelaskan proses pencampuran <i>tailing</i> dengan material beton yang lain, mengingat limbah ini merupakan limbah B3.	Menggunakan <i>tailing</i> sebagai pengganti agregat halus	Penelitian ini dilakukan untuk konstruksi beton.

3.	N. Parthasarathi, B.M. Ramalinga Reddy, K.S. Satyanarayanan	2016	<i>Effect on Workability of Concrete due to Partial Replacement of Natural Sand with Gold Mine Tailings</i>	Tujuan : Memanfaatkan limbah <i>tailing</i> sebagai pengganti agregat halus berupa pasir alam Metode : Penelitian dengan membandingkan beton normal dengan beton yang diberi campuran <i>tailing</i>. Hasil : Pasir alam dapat digantikan oleh limbah <i>tailing</i> emas pada kadar 10%, 20% dan 30%	Seharusnya digunakan kadar limbah <i>tailing</i> dibawah 10% agar mendapatkan nilai <i>slump test</i> yang tinggi apabila limbah <i>tailing</i> dicampur dengan pasir alam.	Menggunakan limbah <i>tailing</i> emas sebagai pengganti pasir alam.	Penelitian diterapkan pada material beton.
4.	Brajesh Mishra, M.K. Gupta	2017	Use of Fly Ash Plastic Waste Composites in Bitumen Concrete Mixes of Flexible Pavement	Tujuan : Mengetahui pengaruh fly ash dan plastik jenis LLDPE sebagai campuran bahan lapis AC-BC Metode : experimental dengan kadar plastik 0%, 0,2%, 0,4%, 0,8%, dan 1 %. Dilakukan juga penelitian AC-BC fly ash dan AC-BC fly ash+LLDPE Hasil : Nilai stabilitas marshall terbesar disaat kadar plastik 0,8% yang ditambah fly ash pada AC-BC dengan KAO 5,3%.	Sebaiknya dilampirkan dokumentasi serta proses pengujian marshall secara detail Sebaiknya dilampirkan data job mix design secara keseluruhan	Menggunakan bahan inovasi fly ash dan plastik sebagai bahan campuran laston	Penelitian ini dilakukan pada AC-BC Penelitian ini menggunakan plastik jenis LLDPE
5.	Rahul Dandautiya, Ajit Pratap Singh	2019	<i>Utilization potential of fly ash and copper tailings in concrete as partial replacement of cement along with life cycle assessment</i>	Tujuan : Mengetahui kelayakan pada kombinasi pemanfaatan FA dan CT pada beton sebagai pengganti sebagian semen. Metode : Metode yang digunakan adalah penelitian dengan berbagai pengujian diantaranya pencampuran dan kuat tekan. Hasil : Pencampuran FA 20% dan CT 5% pada material beton dapat meningkatkan kuat tekan pada umur	Sebaiknya dilampirkan dokumentasi pada penelitian sehingga pembaca dapat mengetahui karakteristik dari FA dan CT yang diuji.	Memanfaatkan limbah <i>tailing</i> emas sebagai material konstruksi	Menambahkan <i>fly ash</i> pada campuran beton dengan limbah <i>tailing</i> emas sebagai substitusi sebagian semen.

				56 hari. Biaya yang dikeluarkan juga lebih kecil dari 6,5% sampai 18,08% .			
6.	Ceren Ince	2019	<i>Reusing gold-mine tailings in cement mortars : Mechanical properties and socio-economic developments for the Lefke-Xeros area of Cyprus</i>	Tujuan : Mengetahui nilai kuat tekan, tingkat penetrasi, porositas, dan kedalaman karbonasi mortar semen yang mengandung limbah ini. Metode : experimental dengan berbagai pengujian selama 9 bulan dan kadar <i>tailing</i> 10%, 20% dan 30%. Hasil : Adanya peningkatan penggunaan <i>tailing</i> emas pada kuat tekan semen mortar terlebih jika untuk pengganti pasir dan dapat menurunkan kadar CO₂ pada semen.	Sebaiknya dilengkapi job mix formula saat pembuatan mortar semen dan adanya dokumentasi pada setiap proses kegiatan penelitian.	Menggunakan bahan inovasi berupa limbah <i>tailing</i> dari logam mineral yaitu emas.	Penelitian ini dilakukan pada kandungan semen untuk bahan konstruksi mortar.
7.	Steve W.M. Supit, Rilya Rumbayan, dan Sumantri Misilu	2019	Pengaruh Pemanfaatan Tailing terhadap Kuat Tekan, Porositas, dan Absorpsi Mortar <i>Portland Composite Cement</i>	Tujuan : Mendapatkan nilai hasil kuat tekan dan porositas mortar dari pencampuran dengan <i>tailing</i> emas. Metode : Metode yang digunakan adalah penelitian dengan kadar 5%, 10% dan 15% dengan lama pengujian 7, 14, dan 28 hari setelah masa <i>curing</i>. Hasil : Kuat tekan pada mortar dengan kadar 10% <i>tailing</i> emas memiliki nilai paling tinggi.	Seharusnya dilakukan pengujian laboratorium lain seperti ketahanan sulfat, korosi, kuat tarik dan lentur.	Menggunakan bahan limbah <i>tailing</i> emas sebagai material konstruksi.	Pengujian ini dilakukan untuk material mortar dan sebagai pengganti semen.
8.	Jayvant Choudhary, Brind Kumar, dan Ankit Gupta	2020	<i>Performance evaluation of asphalt concrete mixes having copper industry waste as filler</i>	Tujuan : Mengetahui kemungkinan pada pemanfaatan limbah <i>tailing</i> tembaga dari India untuk substitusi abu batu pada filler di campuran aspal beton. Metode : Menggunakan metode eksperimental dengan kadar aspal	Sebaiknya dilampirkan tabel <i>job mix design</i> sebagai acuan pembaca untuk membahas lebih lanjut terkait penelitian tersebut.	Menggunakan limbah <i>tailing</i> tembaga untuk material perkerasan jalan jenis lapis aspal beton <i>wearing course</i> .	Penelitian ini ditujukan untuk substitusi abu batu sebagai filler.

				4,5% - 6,5% dan melakukan pengujian material lain seperti uji material filler sesuai spesifikasi. Hasil : Campuran limbah <i>tailing</i> tembaga menunjukkan kuat Tarik lebih tinggi sehingga kuat pada keretakan, rutting, kelembaban dan perembesan air.			
9.	Yuxing Zhang, Weiguo Shen, Miaomiao Wu, Bo Shen, Minghai Li, Gelong Xu, Bingliu Zhang, Qingjun Ding, Xiao Chen	2020	<i>Experimental study on the utilization of copper tailing as micronized sand to prepare high performance concrete</i>	Tujuan : Mengetahui nilai kuat tekan, modulus elastisitas, koefisien permeabilitas klorida, penyusutan kering. Metode : Menggunakan metode experimental/pengujian dengan kadar <i>tailing</i> tembaga 10%, 20%, dan 30%. Hasil : Gradasi pasir buatan dapat dioptimalkan dengan kadar 20% dari <i>tailing</i> tembaga.	Sebaiknya diberikan penjelasan terkait karakteristik dari masing-masing tipe material yang dijadikan objek pengujian.	Menggunakan limbah <i>tailing</i> tembaga sebagai pengganti sebagian pasir buatan.	Penelitian ini digunakan untuk pembuatan beton mutu tinggi.

10.	Jamshid Esmaeili, Hossein Aslani, dan Obinna Onuaguluchi	2020	<i>Reuse Potentials of Copper Mine Tailings in Mortar and Concrete Composites</i>	Tujuan : Mengetahui kebermanfaatan dari limbah <i>tailing</i> tembaga kadar 0% - 30% sebagai substitusi sebagian untuk semen di pasta, mortar, dan campuran beton. Metode : Penelitian menggunakan metode experimental dengan menentukan karakteristik dari <i>tailing</i> tembaga, menentukan proporsi campuran, kuat tekan mortar dan beton. Hasil : Limbah <i>tailing</i> tembaga dapat digunakan untuk substitusi sebagian semen pada kadar 15% - 20% dan kuat tekan beton mencapai 20% apabila dicampur dengan limbah tersebut setelah masa <i>curing</i> 1 tahun.	Sebaiknya perlu disebutkan peralatan yang dibutuhkan untuk setiap pengujian, agar pembaca dapat memvisualisasikan proses pengujiannya.	Menggunakan limbah tembaga sebagai bahan utama dalam pencampuran material konstruksi.	Limbah <i>tailing</i> tembaga untuk material pengganti pada semen.
11.	I. Susanto, S. Fransisco, Y. Firdaus, Y. Ronny	2021	<i>Utilization of tailing waste as aggregate for road pavement</i>	Tujuan : Mengetahui pemanfaatan <i>tailing</i> Freeport sebagai material pada lapis perkerasan base. Metode : Menggunakan metode pengujian di laboratorium yaitu uji fisik, kimia, TCLP, dan uji kuat mekanik. Hasil : Pada peengujian marshall pada penggunaan <i>tailing</i> sebesar 60% dan kadar aspal 7% memenuhi spesifikasi untuk dijadikan perkerasan aspal pada	Sebaiknya penelitian dilengkapi dengan dokumentasi dan grafik pada setiap pengujian.	Limbah <i>tailing</i> dari PT Freeport Indonesia dijadikan sebagai pengganti pasir alam pada lapis perkerasan aspal.	Penelitian ini terdiri dari stabilisasi dengan tanah liat, stabilisasi dengan semen, dan lapis aspal AC-Base.

				lapis base dan nilai stabilitasnya mencapai 788 kg.			
12.	Irianto, Didik S. S. Mabui, R. Rochmawati, Ardi A. Sila, A. Yuniarta, A. Rasyid Frengky, E. Lapian	2021	Kajian Potensi Pemanfaatan Limbah Tailing PT Freeport Indonesia sebagai Bahan Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan	Tujuan : Mengetahui nilai kadar optimum <i>Tailing</i> dalam menurunkan nilai indeks plastis tanah asli. Metode : Penelitian ini menggunakan beberapa pengujian tanah yaitu karakteristik <i>tailing</i>, kadar air, berat jenis tanah, analisis saringan dan <i>Atterberg limit</i>. Hasil : Tanah pada kawasan Universitas Musamus cocok menggunakan <i>tailing</i> dari PTFI dengan kadar 15%.	Sebaiknya dilengkapi dengan job mix formula dan job mix design untuk memberikan keterangan bagaimana menentukan kadar yang tepat untuk limbah tersebut.	Menggunakan sumber limbah dari PT Freeport Indonesia	Limbah <i>Tailing</i> digunakan sebagai campuran stabilitas tanah.
13.	Jacob Ikotun, Rhoda Adeyeye, dan Mike Otieno	2022	<i>Application of mine tailings sand as construction material – a review</i>	Tujuan : Mengetahui manfaat dari limbah <i>tailing</i> besi, tembaga dan emas untuk campuran beton dan bitumen pada konstruksi teknik. Metode : Menggunakan metode pengujian pada sifat fisik dan kimia dari <i>tailing</i>. Hasil : Penelitian ini menunjukkan bahwa limbah <i>tailing</i> dari besi, tembaga, dan emas layak dijadikan material pengganti pasir pada beton.	Sebaiknya dilengkapi dengan tabel dari pengujian yang dilakukan.	Menggunakan limbah <i>tailing</i> tembaga dan emas untuk bahan penelitian konstruksi pengganti pasir.	Pengujian ini dilakukan pada campuran beton.
14.	N. Jayasimha, B. Sujini, dan B.P. Annapurna	2022	<i>A study on durability and strength properties of high strength concrete with partial replacement of</i>	Tujuan : Membandingkan beton konvensional dengan beton yang dicampur limbah <i>tailing</i> besi sebagai pengganti agregat halus. Metode : Penelitian ini menerapkan <i>experimental</i> dengan uji kuat tekan, uji	Sebaiknya diberikan data yang lengkap dari limbah tambang besi ini dari proses pengambilan sampai uji fisik dan kimianya.	Menggunakan limbah tambang untuk pengganti agregat halus.	Penelitian ini menggunakan limbah tambang besi dan dilakukan pada material beton.

			<i>iron ore tailings with fine aggregates</i>	durabilitas (absorpsi air, tes asam, dan tes kimia). Hasil : Kemampuan kerja beton yang mengandung limbah <i>tailing</i> besi lebih tinggi dari beton konvensional pada substitusi dengan kadar 40%.			
15.	Liping Cao, Jie Zhou, Tao Zhou, Zejiao Dong, Zhiewen Tian	2022	<i>Utilization of iron tailings as aggregates in paving asphalt mixture : A sustainable and eco-friendly solution for mining waste</i>	Tujuan : Mengevaluasi secara sistematis pada kelayakan dari limbah <i>tailing</i> besi sebagai agregat pada campuran aspal. Metode : Metode yang dilakukan adalah penelitian terhadap analisis limbah dengan campuran aspal. Hasil : Penambahan limbah <i>tailing</i> besi pada aspal memberikan suhu tinggi dan memenuhi spesifikasi.	Sebaiknya dilakukan penelitian limbah <i>tailing</i> besi dengan kapur untuk meningkatkan daya lekat dengan aspal.	Menggunakan limbah tambang untuk pengganti agregat pada campuran aspal.	Penelitian ini dilakukan untuk lapis aspal base dan limbah yang digunakan adalah limbah tambang dari besi.
16.	Ahad Barzegar Ghazi, Ahmad Jamshidi Zanjani, Hamidreza Nejati	2022	<i>Utilization of copper mine tailings as a partial substitute for cement in concrete construction</i>	Tujuan : Mengetahui manfaat dari limbah <i>tailing</i> tembaga sebagai pengganti sebagian semen pada konstruksi beton. Metode : Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan uji slump, kuat tekan, resisten penetrasi klorida, dan TCLP pada sampel beton. Hasil : Sampel dengan kadar limbah 10-50% dan 60-70% meningkat 5 dan 7 kali pada kuat tekan usia 28 hari.	Sebaiknya dilengkapi dengan metode pengambilan pada sampel limbah karena limbah tersebut termasuk limbah berbahaya sehingga perlu adanya pengolahan dan pengambilan sampel secara khusus.	Menggunakan limbah tembaga sebagai material konstruksi.	Penelitian ini menggunakan limbah sebagai substitusi semen pada material beton.
17.	Giovanna onique Alelvan, Jose Wilson dos Santos Ferreira, Michele	2022	<i>Proposal of New Construction Material : Polymer –</i>	Tujuan : Mengenal komposisi <i>tailing</i> pada analisis mikrostruktur dan	Sebaiknya dilakukan pengujian pada penelitian timbunan dan perkerasan jalan supaya mendapatkan	Penggunaan limbah <i>tailing</i> emas sebagai objek penelitian.	Adanya penambahan bahan berupa <i>polymer</i> dan serat sebagai bahan untuk

	Dal Toe Casagrande, dan Nilo Cesar Consoli		<i>Stabilized Gold Ore Tailings Composite</i>	kelayakan pada material konstruksi dengan uji mekanik. Metode : Penelitian ini menggunakan metode eksperimental terhadap <i>tailing</i> emas, <i>polymer</i>, dan <i>fiber</i>. Hasil : Penambahan <i>polymer</i> dapat meningkatkan sifat mekanis <i>tailing</i> pada tes mikrostruktur. <i>Tailing</i> emas dengan stabilisasi <i>polymer</i> dan serat dapat dijadikan sebagai bahan konstruksi yaitu timbunan tanah, timbunan <i>tailing</i>, dan lapis perkerasan base.	keterangan yang valid berupa persentase angka yang digunakan.		memperkuat sifat mekanis <i>tailing</i> .
18.	Gbenga Aderianto, Jacob Ikotun, dan Valentine Katte	2023	<i>Geo-polymerization of mining tailing for use as a pavement construction material- a review</i>	Tujuan : Mengetahui kelayakan property pada <i>tailing</i> geopolymer sebagai aplikasi infrastruktur berkelanjutan termasuk perkerasan. Metode : Dilakukan penelitian dengan material limbah tambang berupa besi, tembaga, emas, batu bara dan bauksit. Hasil : Limbah tambang yang digeopolimerisasi dapat meningkatkan kuat tekan untuk konstruksi jalan.	Sebaiknya dijelaskan tahapan geopolimerisasi dalam penelitian ini.	Mengangkat objek penelitian dengan limbah tambang sebagai material perkerasan jalan.	Penelitian ini menggunakan banyak bahan objek untuk membandingkan setiap karakteristik dari bahan limbah tambang tersebut.

Kesimpulan : Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa limbah *tailing* ini memiliki banyak jenis diantaranya *tailing* dari besi, emas, tembaga, batu bara, dan lain-lain. Pada penelitian dari (Dandautiya & Singh, 2019), pencampuran material *fly ash* dan limbah *tailing* tembaga dengan kadar masing-masing yaitu 20% dan 5% menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi dari target dengan umur 56 hari. Penelitian menggunakan limbah *tailing* dari bijih emas juga membuktikan bahwa bahan tersebut dapat dijadikan pengganti semen untuk mortar dengan hasil kadar 10% memiliki nilai kuat tekan tertinggi (Supit et al., 2019). Limbah

tailing yang digunakan berasal dari berbagai macam sumber. Namun, pada penelitian ini (I. Susanto et al., 2021) menggunakan limbah *tailing* dari PT Freeport Indonesia yang menjelaskan bahwa kandungan 60% *tailing* dengan kadar aspal 7% dapat meningkatkan nilai stabilitas marshall sampai 788 kg pada campuran lapis AC-Base. Meskipun begitu, penelitian ini tidak memenuhi persyaratan dalam nilai stabilitas pada Spesifikasi Bina Marga tahun 2018 rev. 2. Selain itu, limbah *tailing* dari PT Freeport Indonesia juga dapat dijadikan bahan stabilisasi tanah pada konstruksi jalan dengan kadar 15% *tailing* (Irianto et al., 2021). Pemanfaatan limbah *tailing* jenis besi oleh (Cao et al., 2022) memiliki ketahanan yang kuat terhadap alur namun daya lekatnya pada aspal rendah sehingga perlu meningkatkan nilai viskositas pada aspal dan perlunya penambahan kapur agar penerapan untuk konstruksi perkerasan jalan lebih maksimal, namun secara keseluruhan penambahan pada limbah ini telah memenuhi spesifikasi. Penelitian sebelumnya menggunakan limbah *tailing* sebagai pengganti semen atau agregat halus berupa pasir alam pada konstruksi beton. Hasil yang didapatkan dari penelitian (Ghazi et al., 2022) adalah limbah *tailing* dari tembaga mampu meningkatkan nilai kuat tekan beton usia 28 hari dibandingkan dengan 90 hari mencapai 5 kali sampai 7 kali pada penambahan 10 – 50% dan 60 – 70% limbah *tailing* tembaga sebagai substitusi semen. Pada salah satu penelitian oleh (Choudhary et al., 2020), dijelaskan bahwa limbah *tailing* tembaga sebagai filler yang menggantikan material abu batu pada AC-WC mendapatkan hasil yang lebih tinggi dibandingkan campuran AC-WC normal pada uji ketahanannya. Nilai ketahanan rutting sebesar 4,93 kN/mm, ketahanan retak 1222 kPa, dan ketahanan raveling yaitu 4,7%. Adapun penelitian pada tahun 2017 membuktikan jika penambahan fly ash dapat meningkatkan nilai stabilitas marshall pada campuran lapis aspal beton.