



PENGARUH GRADASI AGREGAT CAMPURAN BERASPAL PANAS YANG MEMOTONG DAERAH TERLARANG (RESTRICTION ZONE) TERHADAP KETAHANAN DEFORMASI

*Kurniadji
Nono*

RINGKASAN

Kinerja campuran beraspal tergantung terhadap sifat aspal, sifat agregat dan besaran volumetrik campuran sebagai fungsi gradasi agregat. Tulisan ini menguraikan tentang pengaruh gradasi agregat memotong daerah terlarang pada sifat campuran beraspal. Campuran beraspal yang dikaji adalah Laston lapis permukaan (AC-WC) dengan menggunakan aspal keras Pen 60.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sifat campuran beraspal dengan gradasi agregat memotong daerah terlarang lebih rentan terhadap terjadinya deformasi, yaitu memiliki stabilitas dinamis 40% dari stabilitas dinamis campuran dengan gradasi dibawah daerah terlarang.

SUMMARY

Performance of asphalt mixtures depends on properties of asphalt, aggregate, and volumetric of asphalt mixtures as a function of aggregate gradation. This paper discusses effect of aggregate gradation which cutting restriction zone to properties of asphalt mixtures. Type of asphalt mixtures used in the research is Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) by using Asphalt Cement with Penetration Grade of 60.

Test result shown that properties of asphalt mixtures with aggregate gradation to cut restriction zone is so sensitive to deformation, namely dynamic stability of 40% from the dynamic stability of asphalt mixtures with aggregate gradation below restriction zone.

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Keruntuhan yang terjadi pada campuran beraspal adalah terdiri atas retak dan deformasi plastis.

Terjadinya retak diantaranya disebabkan oleh kurangnya aspal, penuaan aspal, agregat kotor dan umur rencana telah dilampaui. Sedangkan terjadinya deformasi plastis diantaranya adalah disebabkan penggunaan aspal yang peka terhadap perubahan temperatur tinggi (penetrasi tinggi) dan rongga dalam campuran yang rendah sebagai fungsi dari gradasi agregat campuran. Untuk menyeimbangkan tercapainya kedua kriteria keruntuhan di atas, yaitu sangat tergantung terhadap sifat aspal, sifat agregat serta besaran volumetrik campuran. Besaran volumetrik adalah tergantung pada pemilihan gradasi agregat campuran, dimana gradasi agregat campuran menentukan besar kecilnya rongga dalam agregat (VMA).

Pada tulisan ini akan mengevaluasi pengaruh gradasi agregat campuran beraspal panas yang memotong daerah terlarang terhadap ketahanan deformasi. Tipe gradasi agregat campuran tersebut kemungkinan menghasilkan rongga dalam campuran yang relatif rendah.

1.2. Pembatasan Masalah

Pada pelaksanaan penelitian ini untuk mengkaji pengaruh gradasi agregat campuran yang memotong daerah terlarang terhadap ketahanan deformasi adalah membandingkan dengan sifat campuran beraspal panas dengan gradasi agregat campuran yang memotong kurva fuller atau di bawah daerah terlarang. Jenis campuran beraspal yang dievaluasi adalah campuran Laston lapis permukaan (AC-WC) dengan menggunakan agregat dan aspal yang sama.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji sifat campuran beraspal dengan gradasi agregat gabungan yang memotong daerah terlarang akan mengalami perubahan ketahanan terhadap deformasi.

II. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Campuran beraspal

Spesifikasi campuran beraspal panas yang menjadi acuan dalam pembangunan dan pemeliharaan/ peningkatan perkerasan lentur

adalah Spesifikasi Campuran Beraspal Panas sesuai Seksi 6.3 Buku 3 yang diterbitkan oleh Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah tahun 2003. Spesifikasi ini sebagian merujuk pada Spesifikasi Superpave.

Adapun tujuan di perkenalkannya spesifikasi Superpave tersebut adalah untuk mengatasi deformasi permanen, kelelahan retak dan retak pada temperatur rendah, yaitu melalui karakteristik campuran yang mempunyai :

- o Kadar aspal yang cukup untuk keawetan, yakni dengan rongga terisi aspal (VFB) yang tepat;
- o Rongga dalam agregat (VMA) dan rongga dalam campuran (VIM) yang cukup;
- o Kemudahan pengerjaan yang cukup; dan
- o Kinerja yang memuaskan selama umur rencana perkerasan

Untuk mendapatkan karakteristik campuran yang diharapkan Superpave menganjurkan menggunakan aspal dan perencanaan sesuai dengan kondisi lapangan serta memperkenalkan persyaratan gradasi agregat campuran dibatasi dengan titik control dan daerah larangan (restriction zone).

Untuk membuat gradasi agregat gabungan berpedoman pada kurva Fuller (untuk kepadatan tertinggi dengan nilai $n=0,45$) akan tetapi gradasi yang direncanakan harus sejauh mungkin dari kurva Fuller, namun diijinkan memotong satu kali dan dianjurkan tidak boleh memotong daerah larangan (restriction zone).

Daerah larangan (restriction zone) mempunyai dua tujuan (SHRP-A-410), yaitu :

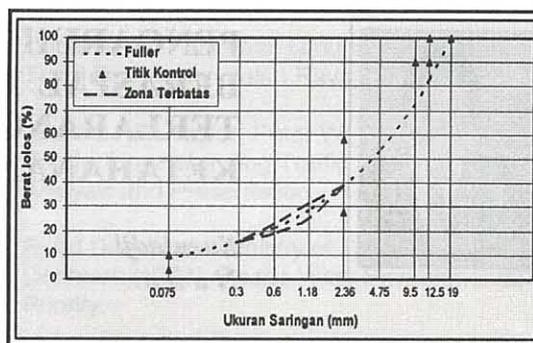
- o Membatasi penggunaan pasir alam yang banyak yang dapat menyebabkan gradasi menjadi bongkok pada rentang 600 μm .
- o Untuk menghindari gradasi jatuh atau berimpit dengan kurva Fuller (garis kepadatan maximum) yang dapat mengakibatkan ketidak cukupan rongga dalam agregat (VMA).

Contoh persyaratan gradasi agregat gabungan untuk Laston lapis permukaan (AC-WC) ditunjukkan pada Gambar 1.

2.2. Spesifikasi Yang Diacu

Sebagai acuan dalam pengujian sifat bahan dan sifat campuran, pada penelitian ini spesifikasi yang diacu adalah Spesifikasi Kimpraswil (Buku III, Seksi 6.3) Tahun 2003.

Persyaratan aspal ditunjukkan pada Tabel 1, Persyaratan agregat ditunjukkan pada Tabel 2, Persyaratan gradasi pada Tabel 3 dan persyaratan campuran pada Tabel 4.



Gambar 1. Contoh gradasi AC-WC

Tabel 1. Persyaratan sifat fisik aspal

JENIS PENGUJIAN	PERSYARATAN ASPAL PEN 60
• Penetrasi, 0,1 mm	60-79
• Titik lembek, °C	48-58
• Daktilitas, cm	min. 100
• Kelarutan dlm C ₂ HCl ₃ , %	min. 99
• Titik nyala, °C	min. 200
• Kehilangan berat, %	maks. 0,8
• Penetrasi stlh keh. brt., %	min. 54
• Daktilitas stlh keh. brt., cm	min. 50
• Berat Jenis, gr/cm ³	min. 1,0

Tabel 2. Persyaratan Agregat

No.	Jenis Pengujian	Persyaratan
1.	Berat Jenis	
	Curah	>2,5
	Jenuh	>2,5
	Semu	>2,5
	Penyerapan, %	< 3%
2.	Abrasi	< 40%
3.	Setara Pasir	> 50%
4.	Pipihan dan Lonjong	< 10%
5.	Kelekatan terh. aspal	> 95%

Tabel 3. Persyaratan Gradasi

UKURAN SARINGAN (mm)	PERSYARATAN (% berat lolos)			
	Titik Kontrol		Daerah Larangan	
	min	max	min	max
19	100	100		
12,5	90	100		
9,5		90		
4,75				
2,36	28	58	39,1	39,1
1,18			25,6	31,6
0,6			19,1	23,1
0,3			15,5	15,5
0,075	4	10		

Tabel 4.
Persyaratan Campuran

Sifat-sifat Campuran	Persyaratan
• Penyerapan kadar aspal	Maks.1,7
• Jumlah tumbukan per bidang	75
• Rongga dalam campuran (%)	3,5-5,5
• Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.15
• Rongga terisi aspal (%)	Min. 65
• Stabilitas Marshall (kg)	Min. 800
• Kelelahan (mm)	Min. 3
• Marshall Quotient (kg/mm)	Min. 250
• Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C	Min. 75
• Rongga dalam campuran (%) pada	
• Kepadatan membal (refusal)	Min. 2,5

2.3. Hipotesa

Gradasi agregat campuran yang mendekati kurva Fuller atau masuk/memotong daerah terlarang memiliki rongga dalam agregat (VMA) dan rongga dalam campuran (VIM) yang rendah yang kemungkinan memiliki ketahanan terhadap deformasi yang rendah pula.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Umum

Kegiatan pengkajian ini dilakukan di laboratorium meliputi pengujian sifat agregat, sifat bahan pengikat (aspal) dan sifat campuran beraspal.

Bahan pengikat yang digunakan adalah Pen Aspal Pen 60 yang diperoleh dari pemasok. Sedangkan agregat dan pasir alam yang digunakan pada penelitian ini berasal dari sumber material dari Sumedang.

Dalam rangka pengkajian di atas, lingkup pengujian campuran beraspal yang dilakukan meliputi pengujian :

- Marshall
- Wheel Tracking Machine (WTM)

Pengujian deformasi dengan Wheel Tracking Machine (WTM) ditujukan untuk mensimulasi deformasi yang terjadi pada perkerasan akibat lintasan kendaraan.

3.2. Tahapan Penelitian

Untuk mendapatkan tujuan pengkajian, penelitian yang dilakukan dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu :

- Melakukan pengujian mutu agregat dan bahan pengikat.
- Pembuatan 2 (dua) tipe campuran beraspal panas, yaitu dengan gradasi memotong daerah terlarang dan gradasi yang memotong kurva Fuller atau di bawah daerah terlarang.
- Melakukan pengujian Marshall, dan stabilitas dinamis dengan alat Wheel Tracking Machine

(WTM) untuk campuran beraspal dengan kedua jenis gradasi agregat campuran yang digunakan.

- Melakukan evaluasi hasil pengujian campuran beraspal.

IV. HASIL PENGUJIAN

4.1. Sifat-sifat Agregat dan Bahan Pengikat
Sesuai dengan pengujian yang telah dilakukan, sifat-sifat Aspal Pen 60 pada Tabel 5. Sedangkan sifat agregat ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 5.
Sifat-sifat Aspal Pen 60,

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
✓ Penetrasi pada 25°C, 100 gr. 5 detik, 0,1 mm	64,8
✓ Titik lembek, °C	48,7
✓ Daktilitas pada 25°C, 5 cm/menit, Cm	> 140
✓ Kelarutan dalam C ₂ HCL ₃ , %	99,71
✓ Titik nyala (COC), °C	310
✓ Berat jenis, gr/ml	1,054
✓ Kehilangan berat (TFOT), %	0,033
✓ Penetrasi setelah TFOT, % asli	56,4
✓ Daktilitas setelah TFOT, Cm	> 140
✓ Titik lembek setelah TFOT, °C	53,8

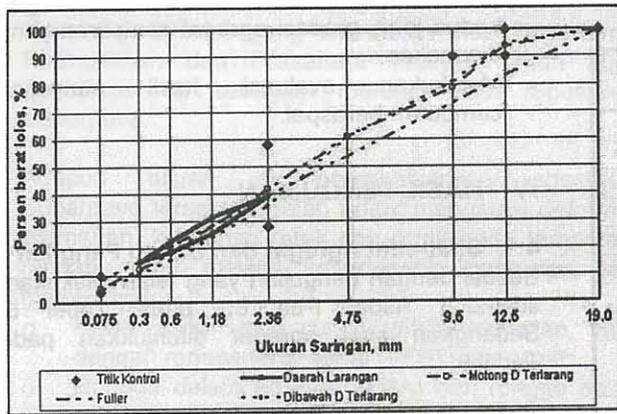
Tabel 6.
Sifat Agregat

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian Agregat			
		Kasar	Sedang	A.Batu	Pasir
1.	Berat Jenis				
	Curah	2,659	2,600	2,665	2,746
	Jenuh	2,697	2,662	2,709	2,809
	Semu	2,763	2,733	2,804	2,930
	Penyerapan, %	1,410	2,405	1,999	2,291
2.	Abrasi	19,51	-	-	-
3.	Setara Pasir	-	-	54,50	62,10
4.	Pipih dan Lonjong	9,74	-	-	-
5.	Kelekatan terh.aspal	95+			

Dari Tabel 5 dan Tabel 6 terlihat bahwa agregat dan bahan pengikat yang digunakan memenuhi persyaratan Spesifikasi Kimpraswil (buku 3) tahun 2003 sehingga baik agregat maupun bahan pengikat layak digunakan untuk perkerasan jalan.

4.2. Sifat-sifat campuran

Dalam pembuatan rancangan campuran, gradasi agregat gabungan yang digunakan adalah di bawah kurva Fuller dan yang memotong daerah terlarang sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.

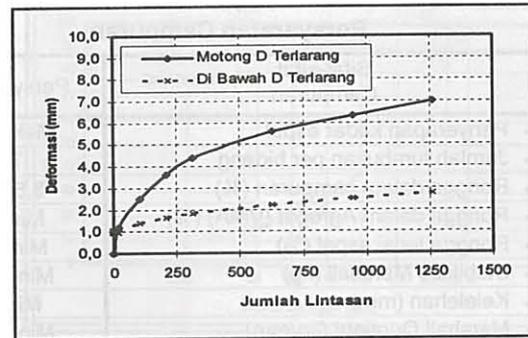


Gambar 2. Gradasi agregat campuran

Sifat campuran hasil pengujian Marshall dan dengan Wheel Tracking Machine (WTM) ditunjukkan pada Tabel 7. Disamping pada Tabel 7 untuk ketahanan campuran terhadap deformasi adalah ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel 7. Sifat Campuran

NO.	SIFAT CAMPURAN	HASIL PENGUJIAN	
		Motong Daerah Terlarang	Di bawah Daerah Terlarang
I	Pengujian Marshall		
1.1.	Kadar Aspal, (%)	6,0	5,58
1.2.	Kepadatan, (t/m ³)	2,297	2,313
1.3.	VFB (%)	70,53	69,68
1.4.	VMA (%)	17,67	18,07
1.5.	VIM Marshall (%)	5,22	5,49
1.6.	Stabilitas, (kg)	1463	1329
1.7.	Pelelehan, (mm)	4,62	3,88
1.8.	MQ (kg/mm)	312	345
1.9.	Stabilitas Sisa (%)	90,9	94,3
1.10	VIM PRD (%)	3,3	3,7
II	Pengujian dengan WTM pada temp 60°C		
2.1.	Alur (pada lintasan):		
	0	0	0
	21	1,20	0,97
	105	2,50	1,41
	210	3,60	1,65
	315	4,38	1,83
	630	5,58	2,22
	945	6,35	2,50
	1260	6,99	2,76
2.2.	Deformasi Awal (mm)	2,56	1,72
	Stabilitas Dinamis (lint/mm)	984	2423
	Kecepatan Deformasi, (mm/mnt)	0,043	0,020



Gambar 3. Ketahanan campuran terhadap deformasi

V. PEMBAHASAN

- Sifat aspal keras Pen 60 yang digunakan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5 memenuhi persyaratan. Begitu juga sifat-sifat agregat, baik agregat kasar, sedang, abu batu dan pasir alam sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6 memenuhi persyaratan.
- Sifat campuran beraspal dengan menggunakan kedua tipe gradasi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 7 memenuhi persyaratan campuran Laston lapis permukaan (AC-WC).
- Bila membandingkan kedua sifat campuran maka diperoleh hal-hal sebagai berikut :
 - ✓ Rongga dalam agregat (VMA) dan rongga dalam campuran (VIM) untuk campuran dengan gradasi yang memotong daerah terlarang lebih rendah dibandingkan kekakuan campuran dengan gradasi yang tidak memotong daerah terlarang. Yaitu berturut-turut lebih rendah sebesar 0,4% dan 0,27%.
 - ✓ Kekakuan campuran yang dicerminkan dengan besaran hasil bagi Marshall (MQ) maka kekakuan campuran dengan gradasi yang memotong daerah terlarang lebih rendah dibandingkan kekakuan campuran dengan gradasi yang tidak memotong daerah terlarang, yaitu lebih rendah sebesar 0,4%.
 - ✓ Kecepatan deformasi dan deformasi awal untuk campuran dengan gradasi yang memotong daerah terlarang lebih tinggi dibandingkan kekakuan campuran dengan gradasi yang tidak memotong daerah terlarang, yaitu sebesar 2 kali dan 1,5 kali lebih tinggi.

- ✓ Ketahanan terhadap deformasi antara kedua campuran dengan gradasi yang berbeda menunjukkan bahwa ketahanan deformasi campuran dengan gradasi campuran yang memotong daerah terlarang jauh lebih rendah, yaitu sebesar 41 % dari campuran dengan gradasi tidak memotong daerah terlarang. Fakta diatas bahwa menunjukkan bahwa makin rendah VMA dan VIM maka campuran makin rentan terhadap deformasi.

VI. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian di laboratorium terhadap sifat bahan dan kedua sifat campuran Laston lapis permukaan (AC-WC) dengan menggunakan 2 (dua) gradasi maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

- Sifat bahan yang digunakan pada pengkajian ini, baik aspal Pen 60 maupun agregat kasar, sedang dan pasir alam memenuhi persyaratan.
- Sifat campuran beraspal, baik yang gradasi memotong daerah terlarang maupun yang tidak memotong memenuhi persyaratan campuran Laston lapis permukaan (AC-WC).
- Bila memperhatikan hasil pengujian ketahanan terhadap deformasi yang disimulasikan dengan pengujian menggunakan alat Wheel Tracking Machine (WTM) maka campuran yang gradasinya memotong daerah terlarang lebih rentan terhadap terjadinya deformasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Kimpraswil (2003). Spesifikasi Campuran Beraspal Panas, Seksi 6.3 Buku 3, Jakarta.
- NAPA Research and Education Foundation (1996). Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction, Secon Edition, Lanham, Maryland.

- STTM, Bandung (2003). Arief Risnandar: Pengaruh gradasi agregat camp.beraspal panas memotong daerah terlarang terhadap deformasi permanen.
- SHRP (1994). Superior Performing Asphalt Pavements (Superpave): The Product of the SHRP Asphalt Research Program, SHRP-A-410. National Research Coubcil, Washington DC.
- The Asphalt Institute's (1997). Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Others Hot Mix Types, Manual Series No. 2. Sixth Edition, USA.
- The Asphalt Institute's (1994). Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Others Hot Mix Types, Manual. USA
- The Asphalt Institute's (1997). Performance Grade Asphalt Binder Specification and Testing, Superpave Series No.1 (SP-1). USA.
- The Asphalt Institute's (1997). Performance Grade Asphalt Binder Specification and Testing, Superpave Series No.2 (SP-2). USA.

Penulis :

- *Ir. Kurniadji, MT, Peneliti Madya Bidang Prasarana Transportasi, Pusat Litbang Prasarana Transportasi Badan Litbang Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.*
- *Ir. Nono, MEng Sc, Ajun Peneliti Muda Bidang Prasarana Transportasi, Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.*

PEMANFAATAN TAILING UNTUK LAPIS PONDASI JALAN

*Neni Kusnianti
Furqon Affandi*

RINGKASAN

Banyak tipe lapis pondasi jalan dan salah satu diantaranya ialah lapis pondasi jalan dari bahan berbutir lepas tanpa bahan pengikat (unbound material).

Lapis pondasi jalan pada perkerasan lentur mempunyai fungsi untuk menyebarkan beban roda ke lapisan dibawahnya, sedemikian rupa sehingga tegangan yang terjadi pada tanah dasar tidak melebihi tegangan yang dapat dipikul oleh tanah itu sendiri. Untuk itu lapisan pondasi harus memenuhi persyaratan-persyaratan teknis seperti gradasi, indeks plastisitas, daya dukung (CBR).

Pada tulisan ini, diuraikan pengaruh penambahan tailing sebagai bahan sampingan dari pengolahan tembaga/perak di PT Freeport, Irian Jaya, terhadap bahan standar, agar bahan campuran tersebut memenuhi persyaratan untuk LPA, LPB. Pemanfaatan tailing ini pada bahan jalan akan ikut mengurangi pengaruh limbah tersebut terhadap lingkungan.

SUMMARY

One of different types of road (bases) foundations is road foundation using unbond materials. Foundation layers in flexible pavement have a function to distribute wheel loads to underneath layers so that the stresses occurred on the subgrade not more than stresses that can be loaded, on it.

Therefore, foundation should meet the technical requirements such as gradation, plasticity index and CBR. The paper describes the effect of the addition of tailing, waste material of coal/silver production of PT. Freeport, Irian Jaya to standard materials in order to meet the requirement for base and subbase. The usage of tailing as road material will reduce the impact of waste on environment.

I. PENDAHULUAN

Struktur perkerasan jalan lentur (beraspal) terdiri dari beberapa lapisan, yang secara umum terdiri atas lapis pondasi bawah, lapis pondasi, serta lapisan beraspal. Masing masing lapisan tersebut mempunyai fungsinya sendiri sendiri, dimana lapis pondasi dan lapis pondasi bawah merupakan lapisan yang berfungsi untuk menahan beban lalu lintas yang lewat di atasnya serta menyebarkan beban ke lapisan tanah dasar dibawahnya sedemikian rupa sehingga tegangan yang terjadi pada tanah dasar tidak melebihi kemampuan daya dukung dari tanah dasar tersebut.

Lapis pondasi dan lapis pondasi bawah bisa terbuat dari bermacam macam bahan, mulai dari bahan berbutir tanpa pengikat (granular materials), stabilisasi tanah, stabilisasi bahan berbutir dengan semen yang dikenal sebagai *Cement Treated Subbase* (CTSB) dan *Cement Treated Base*

(CTB). Bahan berbutir tanpa pengikat ialah jenis lapis pondasi dan pondasi bawah yang paling umum dipergunakan di Indonesia, dimana terbuat dari campuran batu pecah dengan ukuran butir maksimum sekitar 1½ " dan 2 " sampai ke ukuran butiran pasir dan ukuran material saringan no. 200 (0,074 mm) dengan perbandingan tertentu. Material halus untuk lapis pondasi dan lapis pondasi bawah ini umumnya terbuat dari pasir alam yang banyak terdapat di sungai dan gunung-gunung.

Di beberapa tempat, seperti di Timika – Papua terdapat material halus seukuran pasir dalam jumlah yang sangat banyak yang merupakan limbah dari produksi pengolahan bijih besi dan tembaga dari PT Freeport yang dikenal dengan sebutan "tailing", dimana jumlahnya terus dan terus bertambah yang sampai saat ini belum termanfaatkan secara optimal, bahkan menjadikan

hal yang mengganggu lingkungan. Di satu sisi untuk keperluan pembuatan lapis pondasi jalan diperlukan material halus yang biasanya didapat dari sungai atau pasir gunung, sedang disisi lain ada material buangan yang serupa dan belum termanfaatkan.

Sejak tahun 1970 P.T Freeport Indonesia telah melakukan penambangan di titik lokasi Ertzberg Open Pit dan East Ertzberg Underground propinsi Irian Jaya dengan kapasitas produksi bijih tembaga yang semakin meningkat dari 8.000 – 10.000 ton/hari di awal tahun 1970 an menjadi 20.000 – 22.000 ton/hari di akhir tahun 1980 an. Peningkatan kapasitas produksi ini makin meningkat lagi menjadi 125.000 ton/ hari sejak ditemukannya The Huge Grasberg Gold Bearing Cooper pada awal tahun 1990 an. Hingga saat ini jutaan ton bijih telah diolah menjadi konsentrat tembaga yang mengandung emas dan perak. Sisa pengolahan ini berupa pasir halus yang diklasifikasikan sebagai "Cooper Tailing". Penimbunan "Cooper Tailing" di daratan rendah sepanjang sungai Aghawagon – Otomona Timur – Ajkwa telah menyebabkan masalah lingkungan, terutama terhadap hutan tropis di daratan rendah dan juga pengotoran air sungai Ajkwa. Tailing berwujud material berbutir halus (partikulat) sebagai hasil hancuran batuan bijih yang diendapkan pada saat proses pemisahan bijih dari tembaga, emas dan perak.

II. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Tailing

Tailing yang terdapat di Timika sebagai limbah P.T Freeport merupakan bahan buangan dari proses penambangan dan pengolahan bijih besi dan tembaga. Bahan buangan ini mempunyai ukuran butir maksimum sekitar 2,38 mm sampai butiran halus 0,149 mm. Sebagai bagian dari bahan tambang bijih besi dan tembaga, tailing ini mempunyai sifat non plastis atau bersifat lepas yang tidak mempunyai ikatan antara butirannya sendiri.

Dilihat dari susunan kimia yang terkandung didalamnya, dengan menggunakan analisa kimia yang dilengkapi dengan metoda *Grain Counting* telah menunjukkan bahwa komposisi " Cooper Tailing" terdiri dari komponen silikat dengan fraksi-fraksi $\text{Na}_2\text{O}_3 = 0,0094$, $\text{FeO} = 0,3980$, $\text{MgO} = 0,0900$, $\text{MnO} = 0,0036$, $\text{CaO} = 0,1260$, $\text{K}_2\text{O} = 0,0139$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,0683$.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan sebelumnya, Tailing ini mempunyai berat jenis jenuh kering permukaan berkisar antara 2,48 sampai 2,86 dengan kepadatan gembur sekitar 1,23 – 1,79 kg/l. Hasil uji Soundness berkisar antara 2 – 8 %. Pengamatan secara mikroskopis

menggunakan mikroskop *Binocular Stereographic* memperlihatkan bahwa "Cooper Tailing" memiliki komposisi *quartzite* 75 % volume, oksida besi (*magnetite*, *pyrite*, *hematite*) 23 %, *mica* dan *feldspar* 2%.

Dengan mempertimbangkan asal muasal terbentuknya "Cooper Tailing" serta hasil analisa fisik dan kimia terhadap "Cooper Tailing" diperoleh suatu hipotesa bahwa *Cooper Tailing* termasuk material *Puzzolanic* berkadar MgO cukup tinggi, dimana material ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi sipil dalam bentuk komposit partikulat atau mortar dengan sistim pengikatan matriks secara khusus yaitu menggunakan matriks semen tipe V atau matriks kombinasi semen – polimer.

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan oleh laboratorium pengendalian dampak lingkungan diperoleh hasil seperti tertera pada Tabel 1.

Tabel 1.
Hasil pengujian "tailing" oleh laboratorium pengendalian dampak lingkungan

No	Parameter	Satuan	Metoda analisis	Hasil analisis	
				A	B
	Uji karakteristik:				
1	pH	µg/g	Elektrometri	8,30	9,40
2	Sulfida, S ₂ , Sianida, CN	µg/g	Spektrofometri	2,63	1,47
3	Uji TCLP		Spektrofometri	2,50	3,50

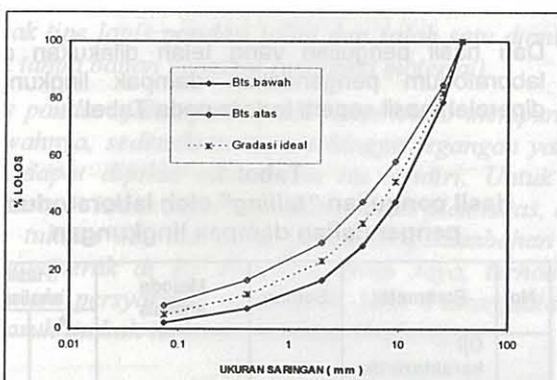
2.2 Lapis pondasi jalan

Lapis pondasi jalan merupakan bagian dari perkerasan jalan yang fungsi utamanya untuk menahan beban lalu lintas serta menyalurkannya ke bagian dibawahnya. Pada perkerasan lentur, lapis pondasi berbutir terdiri dari dua lapis, yaitu lapis pondasi bawah (LPB) yang terletak langsung diatas lapisan tanah dasar serta lapis pondasi (LPA) yang terletak diatasnya LPB. LPB maupun LPA mempunyai persyaratan pembagian ukuran butir (gradasi) yang berbeda, begitu juga persyaratan teknis lainnya. Persyaratan LPA lebih ketat dari persyaratan LPB sesuai dengan letaknya pada susunan lapis perkerasan, dimana lapis atas harus menerima tekanan yang lebih besar dibandingkan lapis dibawahnya.

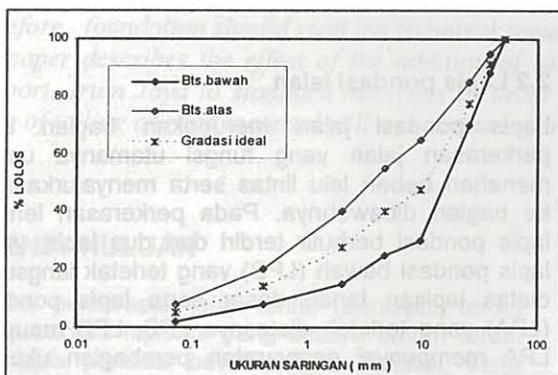
Persyaratan gradasi untuk LPA dan LPB yang dipergunakan di Indonesia oleh Departemen Kimpraswil ialah sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 2 serta digambarkan seperti terlihat pada Gambar 1 untuk gradasi LPA dan Gambar 2 untuk gradasi LPB.

Tabel 2.
Gradasi Lapis Pondasi

Ukuran saringan		Persen berat lolos	
inci	mm	LPA	LPB
2	50	-	100
1½	37,5	100	88 – 95
1	25,0	79 – 85	70 – 85
¾	19,0	44 – 58	30 – 65
No 4	4,75	29 – 44	25 – 55
No 10	2,0	17 – 30	15 – 40
No 40	0,425	7 – 17	8 – 20
No 200	0,075	2 – 8	2 – 8



Gambar 1. Grafik pembagian butir Lapis pondasi atas (LPA)



Gambar 2. Grafik pembagian butir Lapis pondasi bawah (LPB)

Bahan lapis pondasi untuk agregat halus dan kasar serta bagian-bagian yang lunak maupun kekuatan setelah dicampur dan dipadatkan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3.
Persyaratan sifat-sifat bahan dan campuran lapis pondasi

Sifat sifat	Lapis Pondasi		Pengujian
	Kelas A	Kelas B	
Abrasi agregat kasar ,%	Maks 40	Maks 40	SNI 03-2417-1990
Indeks Plastisitas ,PI, %	Maks 6	4 – 10	SNI -03-1966-1990
Hasil kali PI dengan % material lolos Ayakan No 200	Maks 25	-	-
Batas Cair, %	Maks 25	Maks 35	SNI 03-1967-1990
Bagian yang lunak, %	Maks 5	Maks 5	SK-SNI M-01-1994-03
CBR, %	Min 90	Min 35	SNI 03-1744-1989

III. PERENCANAAN PENGUJIAN CAMPURAN LPA DAN LPB MENGGUNAKAN BAHAN TAMBAH TAILING

3.1 Bagan alir penelitian

Untuk mendapatkan properties Campuran LPA maupun LPB dengan menggunakan bahan Tailing, maka dalam studi ini dilakukan dahulu alur kegiatan yang akan dilakukan. Alur kegiatan yang akan dilakukan disajikan pada Gambar 3 dibawah ini.

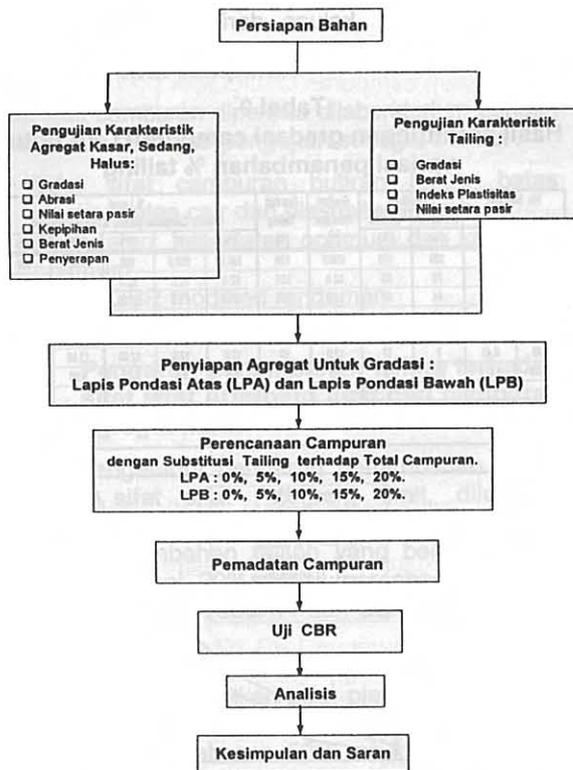
3.2 Percobaan laboratorium

Percobaan laboratorium dilakukan untuk melihat sifat sifat tailing dan juga sifat sifat campuran yang telah dicampur tailing. Pengujian ini dilakukan terhadap bahan yang tidak ditambah tailing serta bahan yang telah ditambah tailing, sehingga dengan demikian dapat dilihat pengaruh penambahan tailing ini terhadap sifat sifat bahan, baik untuk LPA maupun untuk LPB, sekaligus melihat batas maksimum penambahan tailing yang masih dimungkinkan.

Percobaan laboratorium ini meliputi perencanaan campuran, pemeriksaan sifat Atterberg, kepadatan dan kekuatan campuran yang dinyatakan dengan CBR.

3.2.1 Pengujian karakteristik tailing

Contoh tailing yang diambil dari Timika, telah dilakukan pengujian fisik-nya seperti analisa pembagian butir dengan saringan, berat jenis, angularitas dan setara pasir (*sand equivalent*). Hasil pengujian diperlihatkan pada Tabel 4 Tabel 5 dan Tabel 6. Berat jenis tailing adalah 2,76.



Gambar 3. Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian untuk Perencanaan Campuran Lapis Pondasi Lepas (LPA dan LPB)

Tabel 4.
Gradasi butir Tailing PT Freeport

Ukuran Saringan		Lolos saringan (%berat)
ASTM	Metrik	Tailing
No 4	4,76	100
No 8	2,38	99,9
No 30	0,595	98,8
No 50	0,297	88,2
No 100	0,148	49,5
No 200	0,047	20,3

Analisa komposisi kimia dari Tailing ini ditunjukkan pada Tabel 5.

Hasil pengujian angularitas dari pasir Tailing dan beberapa pasir alam lainnya ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 5.
Komposisi Kimia Tailing dari PT. Freeport (Timika – Papua)

Unsur Kimia	Hasil Pengujian (%)	
	PUSTRAN	ITB
SiO ₂	64,77	60
Al ₂ O ₃	11,25	15
CaO	8,28	5
Fe ₂ O ₃	6,07	20
MgO	2,66	
Na ₂ O	1,06	
K ₂ O	2,49	
TiO ₂	0,27	
MnO	0,05	
H ₂ O	0,07	
LOI	2,99	

Tabel 6.
Pembandingan nilai angularitas dari beberapa sumber pasir

Jenis Pasir	Nilai Angularitas	Persyaratan
Tailing (PT Freeport)	49,89	Min. 45%
Pasir Cimalaka	47,45	
Pasir Garut	45,80	
Pasir Galunggung	46,78	

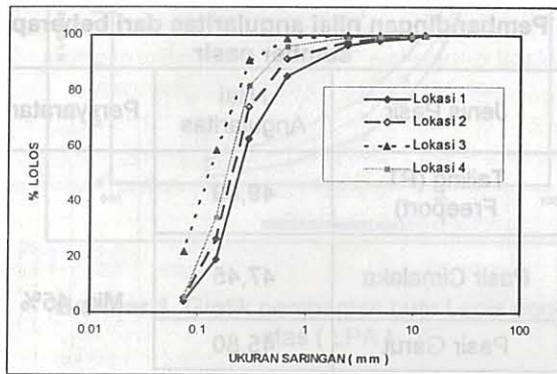
Tabel 7.
Hasil Pengujian Fisik Tailing dari PT. Freeport

No	Karakteristik Agregat	Hasil pengujian
1.	Sand Equivalent, %	81,30
2.	Berat jenis agregat halus:	
	- Bulk	2,76
	- SSD	2,80
	- Apparent	2,82
3.	Penyerapan, %	
	- Agregat halus	0,48

Ukuran butir tailing berdasarkan analisa saringan yang dilakukan di Puslitbang Prasarana Transportasi adalah sebagaimana disajikan pada Tabel 8 dan Gambar 4 dibawah ini.

Tabel 8.
Hasil analisa saringan butiran Tailing dari beberapa sumber di Timika

Ukuran Saringan		Lolos Saringan (% berat)			
Inci	mm	Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 3	Lokasi 4
½	12,50	100	100	100	100
3/8	9,50	98,87	99,35	100	99,73
No.4	4,76	98,03	98,61	100	99,60
No. 8	2,38	96,11	97,58	99,84	99,16
No.30	0,595	85,27	91,21	98,66	96,02
No. 100	0,148	19,31	26,62	58,42	34,34
No. 200	0,074	3,19	5,16	22,17	5,89



Gambar 4. Grafik pembagian butir Tailing dari beberapa lokasi

3.3 Perencanaan Campuran

Untuk melihat pengaruh dari tambahan Tailing pada material batu pecah yang akan dipergunakan untuk LPB maupun LPA, maka penambahan Tailing dilakukan dengan berbagai variasi mulai dari 5% sampai 20% , dengan interval setiap 5%. Hal ini pertama untuk melihat sampai seberapa besar prosentase Tailing yang dapat ditambahkan, dengan hasil akhir gradasi campuran tersebut masih tetap dalam batas batas gradasi yang diperbolehkan.

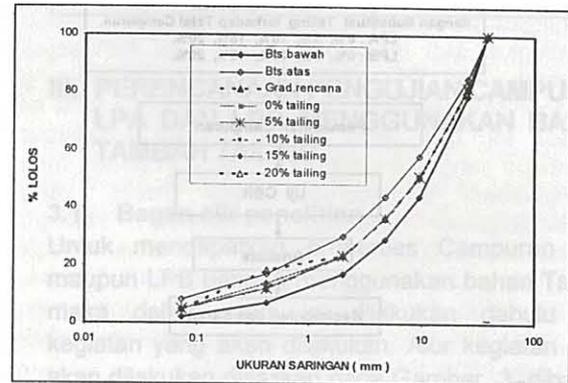
Perhitungan gradasi campuran LPA dan LPB untuk berbagai prosentase tailing diperlihatkan pada Tabel 9 dan Gambar 5 untuk LPB serta Tabel 10 dan Gambar 6 untuk LPA.

Percobaan ini dibatasi sampai penambahan Tailing sebanyak 20% baik untuk LPB maupun untuk LPA, dikarenakan penambahan yang melebihi dari 20% untuk LPB dan LPA memberikan gradasi

campuran yang keluar dari batas-batas yang dipersyaratkan.

Tabel 9.
Hasil perhitungan gradasi campuran LPA untuk variasi penambahan % tailing

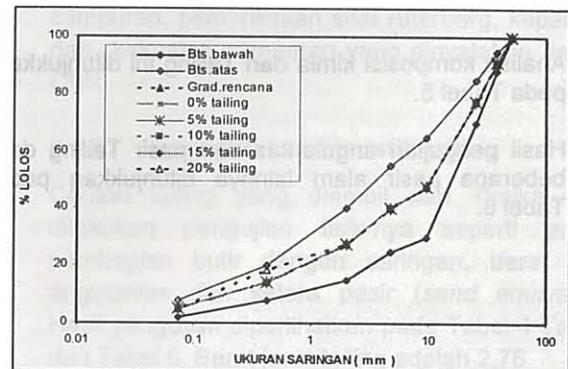
No. Saringan	Spesifikasi		Gradasi Rencana (%)	Gradasi Tailing (%)	% Lovat				
	bts bawah (%)	bts atas (%)			Gradasi Campuran (variasi %Tailing + agregat)				
inci	mm				0%	5%	10%	15%	20%
1.5"	38.1	100	100	100.0	100	100.0	100	100	100
1"	25.4	79	85	82.0	100	82.0	82.0	82.0	82.0
3/8"	9.52	44	58	51.0	100	51.0	51.0	51.00	51.00
# 4	4.76	29	44	36.5	100	36.5	36.5	36.50	36.50
# 10	2.0	17	30	23.5	99.5	23.5	23.5	23.50	23.50
# 40	0.42	7	17	12.0	93	12.0	12.0	12.00	13.95
# 200	0.074	2	8	5.0	20.3	5.0	5.0	5.00	5.00



Gambar 5. Gradasi campuran LPA untuk variasi penambahan % tailing

Tabel 10.
Hasil perhitungan gradasi campuran LPB untuk variasi penambahan % tailing

No. Saringan	Spesifikasi		Gradasi Rencana (%)	Gradasi Tailing (%)	% Lovat				
	bts bawah (%)	bts atas (%)			Gradasi Campuran (variasi %Tailing + agregat)				
inci	mm				0%	5%	10%	15%	20%
2"	50.8	100	100	100	100	100	100	100	100
1.5"	38.1	88	95	91.5	100	91.5	91.5	91.5	91.5
1"	25.4	70	85	77.5	100	77.5	77.5	77.5	77.5
3/8"	9.52	30	65	47.5	100	47.5	47.5	47.5	47.5
# 4	4.8	25	55	40.0	100	40.0	40.0	40.0	40.0
# 10	2.0	15	40	27.5	99.5	27.5	27.5	27.5	27.5
# 40	0.42	8	20	14.0	93	14.0	14.0	14.0	18.6
# 200	0.074	2	8	5.0	20.3	5.0	5.0	5.0	5.0



Gambar 6. Gradasi campuran LPB untuk variasi penambahan % tailing

3.4 Sifat sifat campuran

Sifat-sifat campuran diperiksa dilaboratorium dengan melakukan berbagai pengujian sebagai berikut :

- Sifat sifat campuran butiran halus: batas plastis, batas cair dan plastisitas indeks.
- Kepadatan: kepadatan optimum dan kadar air optimum
- CBR : CBR modified rendaman

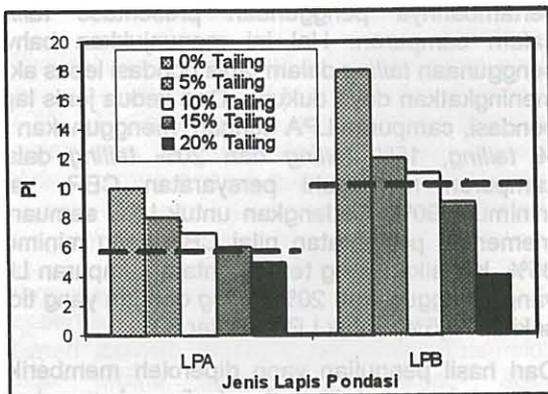
3.4.1 Pengaruh penambahan tailing terhadap sifat sifat Atterberg limit dari campuran agregat halus

Untuk mengetahui pengaruh penambahan tailing terhadap sifat sifat Atterberg limit, dilakukan percobaan terhadap dua macam agregat dasar dengan penambahan tailing yang berbeda beda dari 5% sampai 20%. Hasil percobaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 11 dan Gambar 7.

Dari gambar tersebut terlihat bahwa penambahan tailing akan menurunkan sifat plastisitas material. Penambahan tailing 20% akan menurunkan plastisitas index sebesar 50% untuk LPA dan 78% untuk LPB. Material LPB dan LPA yang mempunyai sifat plastisitas indeks lebih besar dari yang disyaratkan, bisa diturunkan dengan menambahkan bahan tailing tersebut.

Tabel 11. Hasil pengujian sifat-sifat Atterberg limit LPA dan LPB

Sifat-sifat Campuran	Hasil Pengujian					
	Variasi penambahan % Tailing					Persyaratan
	0%	5%	10%	15%	20%	
Lapis Pondasi Atas (LPA)						
Batas Cair	25	23	22	21	20	0 - 25
Batas Plastis	15	15	15	15	15	-
Indeks Plastisitas	10	8	7	6	5	0 - 6
Lapis Pondasi Bawah (LPB)						
Batas Cair	37	33	31	30	19	0 - 35
Batas Plastis	19	21	20	21	15	-
Indeks Plastisitas	18	12	11	9	4	0 - 10



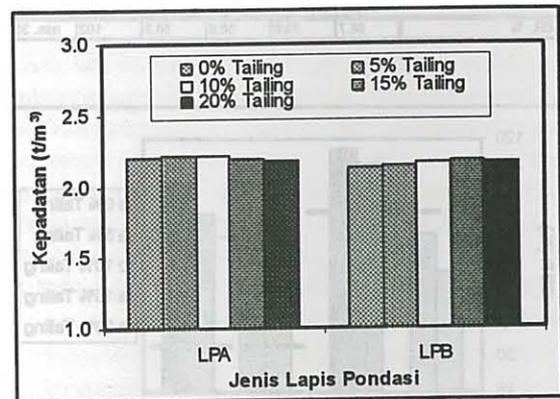
Gambar 7. Pengaruh penambahan tailing pada sifat-sifat Atterberg limit LPA dan LPB

3.4.2 Pengaruh penambahan tailing terhadap kepadatan dan kadar air optimum

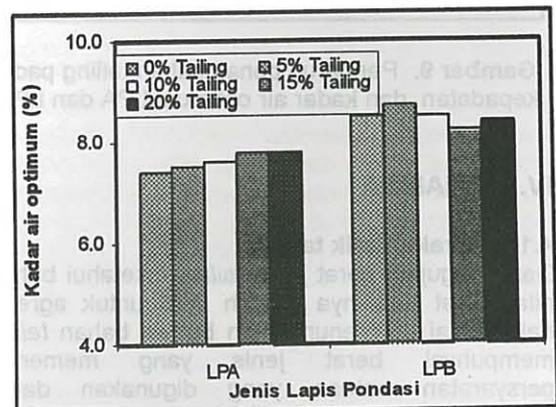
Hasil pengujian kepadatan dan kadar air optimum dengan variasi penambahan tailing antara 5% sampai 20% baik untuk campuran LPA maupun LPB, dapat dilihat pada Tabel 12 dan Gambar 8. Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa peningkatan penambahan % tailing pada campuran LPA dan LPB untuk nilai kepadatan dan kadar air optimum mempunyai nilai yang relatif sama baik untuk LPA maupun untuk LPB, sehingga dapat dikatakan bahwa penambahan tailing tidak berpengaruh banyak terhadap nilai kepadatan dan kadar air optimum.

Tabel 12. Hasil pengujian kepadatan dan kadar air optimum LPA dan LPB

Sifat-sifat Campuran	Hasil Pengujian					Persyaratan
	Variasi penambahan % Tailing					
	0%	5%	10%	15%	20%	
Lapis Pondasi Atas (LPA)						
Kepadatan, t/m ³	2.20	2.21	2.22	2.19	2.17	-
Kadar air optimum, %	7.40	7.50	7.60	7.80	7.80	-
Lapis Pondasi Bawah (LPB)						
Kepadatan, t/m ³	2.13	2.14	2.16	2.18	2.17	-
Kadar air optimum, %	8.50	8.7	8.5	8.2	8.4	-



(a)



(b)

Gambar 8. Pengaruh penambahan tailing pada kepadatan dan kadar air optimum LPA dan LPB

3.4.3 Pengaruh penambahan tailing terhadap nilai CBR campuran LPB dan LPA

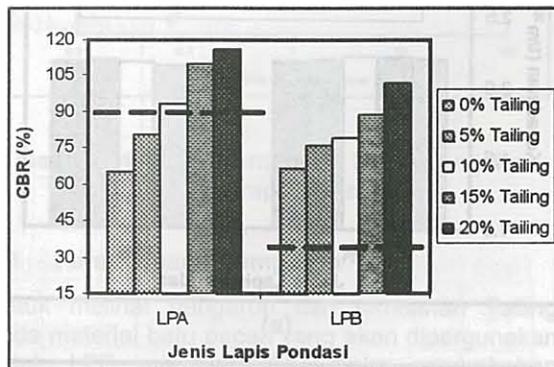
Nilai CBR merupakan salah satu parameter yang sangat penting dalam campuran lapis pondasi, oleh karena itu disini akan dilihat sejauh mana pengaruh penambahan tailing pada nilai CBR untuk campuran LPA dan LPB.

Hasil pengujian ditunjukkan dalam Tabel 13 dan Gambar 9.

Nilai CBR seperti ditunjukkan pada Gambar 9, akan meningkat seiring dengan bertambahnya penggunaan % *tailing* dalam campuran. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *tailing* dalam lapis pondasi lepas akan meningkatkan daya dukung. Kenaikan yang terjadi antara campuran LPA yang menggunakan 20% *tailing* dengan yang tidak sekitar 78,5%, untuk LPB sekitar 53%.

Tabel 11.
Hasil pengujian CBR campuran LPA dan LPB

Sifat-sifat Campuran	Hasil Pengujian					Persyaratan
	Variasi penambahan % Tailing					
	0%	5%	10%	15%	20%	
Lapis Pondasi Atas (LPA)						
CBR, %	65.0	80.6	93.3	110.0	116.0	min. 90
Lapis Pondasi Bawah (LPB)						
CBR, %	66.7	75.6	88.9	88.9	102	min. 35



Gambar 9. Pengaruh penambahan tailing pada kepadatan dan kadar air optimum LPA dan LPB

IV. ANALISA

4.1 Karakteristik tailing

Dari pengujian berat jenis *tailing* diketahui bahwa nilai berat jenis-nya adalah 2,76 untuk agregat halus, nilai ini menunjukkan bahwa bahan *tailing* mempunyai berat jenis yang memenuhi persyaratan batuan yang digunakan dalam campuran yaitu minimum 2,5.

Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan pada Tabel 4 terlihat bahwa *tailing* dapat digunakan dalam campuran untuk lapis pondasi. Penggunaan

tailing dalam campuran untuk Lapis pondasi, *tailing* dapat digunakan sebagai substitusi agregat sedang dan halus.

Dari hasil pengujian angularitas pada Tabel 6, terlihat bahwa semakin tinggi nilai angularitas maka material tersebut semakin baik dari segi *interlocking* antar agregatnya. Pasir *tailing* mempunyai nilai angularitas yang tertinggi dibanding dengan jenis pasir lainnya, hal ini menunjukkan bahwa *tailing* mempunyai sifat *interlocking* yang baik.

4.2 Perencanaan campuran

Untuk melihat pengaruh penambahan tailing pada material batu pecah yang akan dipergunakan untuk LPB maupun LPA, maka penambahan Tailing dilakukan dengan berbagai variasi mulai dari 5% sampai 20% , dengan interval setiap 5%. Penambahan Tailing pada campuran lapis pondasi baik itu LPA maupun LPB dibatasi sampai 20%, hal ini disebabkan penambahan tailing yang melebihi 20% pada campuran LPA dan LPB memberikan gradasi campuran yang keluar dari batas-batas yang disyaratkan, seperti ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.

4.3 Karakteristik campuran

Gambar 7, menggambarkan nilai PI yang terus menurun seiring dengan meningkatnya penggunaan % *tailing*, hal ini menunjukkan bahwa *tailing* dapat menurunkan nilai plastisitas tanah. Penambahan tailing 20% akan menurunkan plastisitas index sebesar 50% untuk LPA dan 78% untuk LPB

Dari Gambar 8, nilai kadar air optimum dan kepadatan campuran dengan atau tanpa tailing mempunyai nilai yang relatif sama baik untuk LPA maupun untuk LPB.

Untuk nilai CBR seperti ditunjukkan pada Gambar 9, nilai CBR meningkat seiring dengan bertambahnya penggunaan prosentase *tailing* dalam campuran. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *tailing* dalam lapis pondasi lepas akan meningkatkan daya dukung. Dari kedua jenis lapis pondasi, campuran LPA dengan menggunakan 10 % *tailing*, 15% *tailing* dan 20% *tailing* dalam campuran memenuhi persyaratan CBR, yaitu minimum 90%. Sedangkan untuk LPB semuanya memenuhi persyaratan nilai CBR yaitu minimum 35%. Kenaikan yang terjadi antara campuran LPA yang menggunakan 20% *tailing* dengan yang tidak sekitar 78,5%, untuk LPB sekitar 53%.

Dari hasil pengujian yang diperoleh memberikan indikasi bahwa *tailing* dapat digunakan sebagai substitusi agregat untuk lapis pondasi lepas, yang memberikan nilai CBR yang jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan lapis pondasi yang tidak menggunakan *tailing*.

V. KESIMPULAN

Dari hasil percobaan sebagaimana diuraikan sebelumnya dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- a. *Tailing* mempunyai berat jenis yang memenuhi persyaratan batuan, yaitu sekitar 2,76, nilai angularitas yang tinggi sekitar 49.9 dan dari distribusi butirannya *tailing* dapat dapat digunakan sebagai substitusi agregat sedang dan halus untuk LPA dan LPB.
- b. Penambahan *tailing* yang melebihi dari 20% untuk LPB dan LPA memberikan gradasi campuran yang keluar dari batas-batas yang dipersyaratkan.
- c. *Tailing* dapat menurunkan nilai plastisitas tanah. Penambahan *tailing* 20% akan menurunkan plastisitas index sebesar 50% untuk LPA dan 78% untuk LPB.
- d. *Tailing* dapat digunakan sebagai substitusi agregat untuk lapis pondasi lepas, yang memberikan nilai CBR yang jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan lapis pondasi yang tidak menggunakan *tailing*, yaitu sekira 78,5% untuk LPA dan 53% untuk LPB pada penggunaan 20% *tailing* dalam campuran.
- e. *Tailing* dapat ditambahkan pada bahan LPA dan LPB, sehingga bahan yang semula tidak memenuhi persyaratan menjadi memenuhi persyaratan yang ditentukan.

DAFTAR PUSTAKA

SNI-03-6388-2000 *Spesifikasi Agregat Lapis Pondasi Bawah. Lapis Pondasi Atas. dan Lapis Permukaan*

Suraatmadja D, Munaf DR, Lationo B, 1998. *Copper Tailing Sebagai Bahan Substitusi Parsial Semen Untuk Material Beton.*

Direktorat Prasarana Wilayah, 2003. *Spesifikasi Umum Pembangunan Jalan, Divisi 5 Perkerasan Berbutir*

Penulis :

- **Ir. Neni Kusnianti**, Staf Balai Bahan dan Perkerasan Jalan, Pada Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang Departemen Kimpraswil.
- **DR. Ir. Furqon Affandi**, MSc. Ahli Peneliti Madya, serta Kepala Balai Bahan dan Perkerasan Jalan, Pada Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang Departemen Kimpraswil.