



RESEARCH ON TRAFFIC CONGESTION AND APPROPRIATE TRAFFIC MANAGEMENT COUNTERMEASURES FOR ARTERIAL ROAD

*M. Sjahdanulirwan
Agus Bari Syailendra
Handiyana*

SUMMARY

Research and Development Center for Road Infrastructure undertook a research activities to investigate such a set of strategies or options to reduce traffic congestion in urban and sub urban. The project identified 2 promising unconventional strategies and investigated the key outstanding issues associated with both strategies. This project preformed investigations into the travel efficiency of the strategies. There are obviously many other key variables of concern to engineers contemplating installation of unconventional alternative, such as accident rates, acceptance by the traveling public, right-of-way costs, and construction costs. But the most important factor which engineer concerned is travel time efficiency. However, if an unconventional alternative does not reduce travel times, engineers will not consider it, and the effect on these other variables is unimportant. The effects of some of these other variables can be found in other reference (4) and need to be investigated for Indonesian condition. This paper present the results of fence and median installation and issues to be considered.

RINGKASAN.

Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi telah melakukan aktifitas litbang untuk menyelidiki sejumlah strategi atau opsi untuk mengurangi kemacetan lalu lintas di perkotaan dan sekitar perkotaan.

Studi mengidentifikasi 2 strategi bukan - konvensional yang cukup menjanjikan serta menyelidiki isu isu utama yang terkait dengan strategi tersebut. Studi ini mengarah pada penyelidikan efisiensi perjalanan dari masing-masing strategi. Tentunya ada variable lain yang menjadi perhatian ahli teknik terkait alternatif bukan - konvensional, seperti tingkat kecelakaan, penerimaan pelaku perjalanan, biaya milik jalan dan biaya pembangunan. Namun faktor terpenting yang menjadi perhatian ahli teknik adalah efisiensi waktu perjalanan. Jika alternative bukan – konvensional tidak mengurangi waktu perjalananan, ahli teknik biasanya tidak tertarik, dan tentunya variable lain menjadi tidak penting. Pengaruh variable lain dapat dijumpai pada referensi yang ada (4) dan memang perlu penyelidikan untuk kondisi Indonesia. Makalah ini mengutarakan hasil-hasil penggunaan pagar dan median serta isu-isu yang terkait dengannya.

Background

Traffic congestion is a growing problem in most cities in Indonesia, especially on major urban and suburban arterials. Traffic engineers often face arterials on which:

- Nothing further can be done to relieve congestion with signal phasing, signal coordination, signal actuation, and other conventional operational techniques (at junction);
- Additional through or turn lanes are prohibitively expensive (at link);
- Grade separation at intersection is too costly and is resisted fiercely by local merchants.

There is a great need for a set of lower-cost operational and design strategies to reduce congestion at these locations.

EXPERIMENT DESCRIPTION

The project team conducted two experiments on the efficiency of the strategies:

1. Fence installation along specific major arterial urban road.
2. Median installation on four-legged intersection between a four-lane arterial/toll access and a two-lane side street.

The primary purpose of the experiments was to determine whether the unconventional alternatives

showed promise of more efficient travel within the common ranges of several key variables. The project team could not model very possible combination of volumes and did not attempt to model them all. If the unconventional alternatives showed promise, engineers could create their own models to examine conditions at the specific intersection of interest to them.

Each experiment used KAJI (Kapasitas Jalan Indonesia) 2000, highway capacity software for Indonesia condition only, to compare the applicable unconventional strategies to a conventional design with direct. Kaji 2000 was the best choice for the experiment because of its ability to simulate a link or a junction for planning, designing and doing Operation mode. KAJI was developed by Directorate General of Highways, Ministry of Public Works in association with Sweroad, Sweden.

SIMULATION RESULTS

First Strategy : Fence Installation

The primary purpose of fence installation is to guide pedestrian especially at intersection area or at specific area along road link (traditional market or business center) that may obstruct and decrease road performance. The lengths of fence installation may vary; it depends on how long the road had induced by pedestrian or market activity. For this simulation, engineer installed the fence about 200 meters along the road to protect the road from roadside activity, which could degrade road performance. The road description are : 4 lane undivided, lane width 3 – 3.5 m, volume 900 – 1000 passanger car unit/lane/hour, and v/c ratio 0.7-0.8.

Figures 1 and 2 shows typical of fence installation



Figure 1. Fence Installation on link

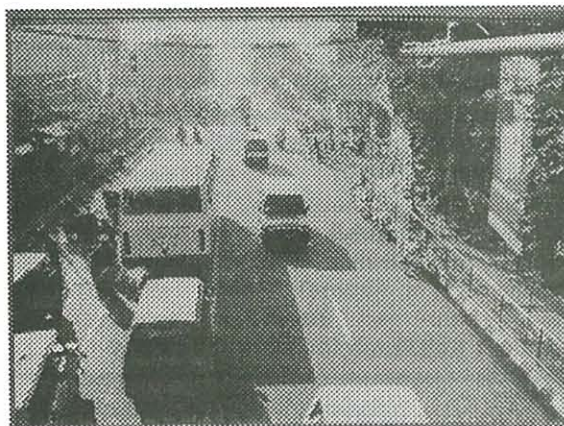


Figure 2. Fence Installation at junction

Kaji showed the result of simulation between existing condition and treatment. Vehicle speed before treatment ran between 15 km/h to 25 km/h. Vehicle speed increasing significantly up to 20 km/h or 35 km/h after treatment. This means the treatment contribute performance increasing up to 40 % effectively. In addition, volume increased to 1000 – 1100 pcu/lane/hour, and v/c ratio increased to 0.8 – 0.85.

Tabel 1 showed, Kaji simulation result for first strategy (fence installation):

Table 1.
Kaji result for first strategy

Before	After
High Side Friction	Low Side Friction
V = 15 km/h to	V = 20 km/h to
V = 25 km/h	V = 35 km/h
Increasing V (Vehicle Speed) = 40 % effectively	

Second strategy : Median Installation

The primary purpose of median installation at specific intersection is to reduce primary conflict by giving appropriate weaving length at major arterial road. At the glance it's seem like oval roundabout with vertical diameter closed to zero.

This strategy was appropriate to solve traffic congestion at intersection where there is no space available for capacity increasing.

The strategy was to install median crossing side street and serving weaving section on major road by giving u-turn where located about 600 meters from center of intersection. The major road is toll access, 4 lane divided, lane width 3,5m, volume 900 – 1000 pcu/lane/hour, and v/c ratio 1 – 2.9 (using 2 lane as 3 lane and shoulder utilization). The side street, however, have a greater volume :

1000 – 1100 pcu/lane/hour, 4 lane divided, lane width 3 m, and v/c ratio 1.9 – 3.6 (again, by utilization of lane width and shoulder). Theoretically, the v/c ratio is not more than 1, but in practice the problems are utilization of shoulder and lane width for vehicle. Figure 4 shows detail installation of strategy.

Table 2 shown, KAJI simulation result for second strategy (median installation) has shown below:

Table 2
Kaji result for second strategy

Before	After
<ul style="list-style-type: none"> With traffic signal (3 phase) KAJI simulation result: average delay at junction = 33 minutes 	<ul style="list-style-type: none"> Without traffic signal, installation median at junction for defining length on arterial road/toll access KAJI simulation result: average delay at junction 19 minutes
Delay reducing = 14 minutes Efficiency increasing 40 %	

Table 2 shows that the efficiency of median installation major road increased. For the low and moderate through volumes, the treatment was the most efficient. At the highest through volume level, the median installation reduced total delay time by 40 percent over the standard configuration. It means total delay reducing approximately 14 minutes.

Figure 3 shows relationship between volume and average delay time, before and after installation.

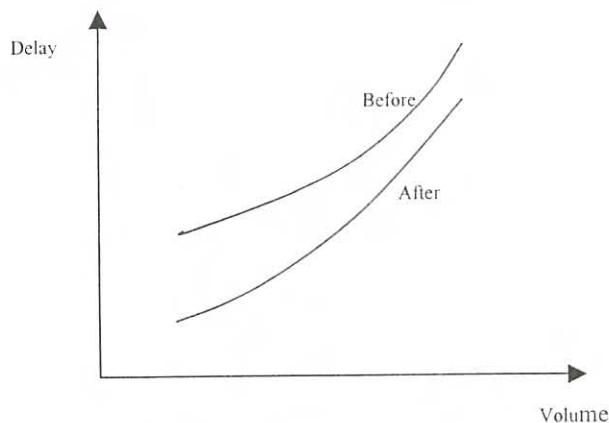


Figure 3 Strategy effectiveness

Figure 4 and 5 shows junction condition before and after installation.

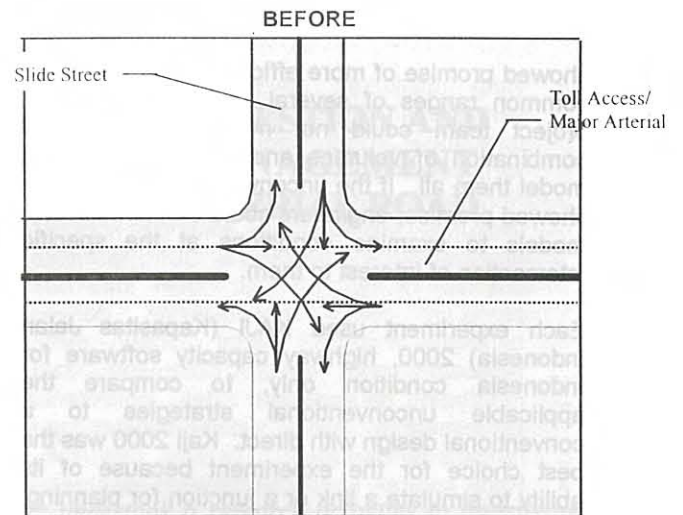


Figure 4. Junction condition before implementation

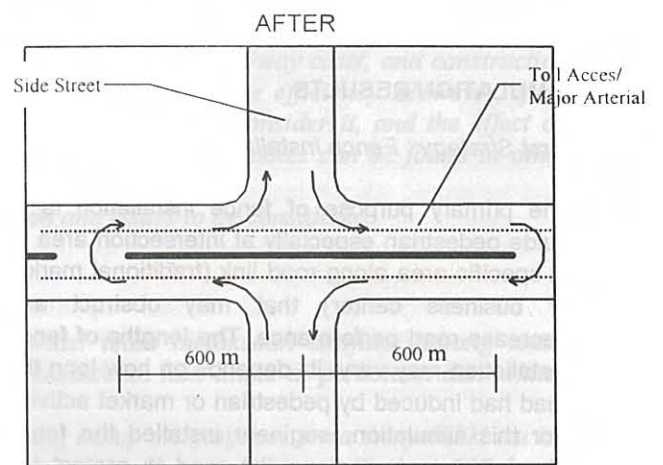


Figure 5 Junction condition after implementation

ISSUES TO BE CONSIDERED

As mentioned above in background, there are several key issues to be considered for both strategies. Key issues should be considered are as follows :

1. Law enforcement
Law enforcement is important to be considered. This is the tool to ensure and to protect road performance and fence effectiveness from roadside activity such as illegal market and others.
2. Safety
Technical specification of countermeasure should consider safety, as important factor should be taken into account. For median installation, the height of median should not obstruct the view of driver.

And for fence design, should not obstruct the view of driver to the other side of the fence, some literature said as 'see through' fencing. This design ensure for driver to anticipate the activity inside the fence, such as child activity, or pedestrian crossing. Fence should be difficult to climb, with top of rail about 1 m above footway level.

CONCLUSIONS

1. The results of the two experiments described above that unconventional alternatives have the potential to provide more efficient travel at some suburban arterial intersections. The experiments with four-legged intersections with median installed provided substantial reductions in travel time and stop, as good as fence installation.
2. Issues need to be considered are: law enforcement, to ensure countermeasure effectiveness, and appropriate countermeasure design to ensure and provide safety.

References

1. Hummer, J.E., and J.L. Bone. Travel Efficiency of Unconventional Suburban Arterial Intersection Designs. In *Transportation Research Record* 1500, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1995, pp.153-161
2. Kusnandar, E. Traffic congestion study in urban area. Research report, Research and Development Center for Road Infrastructure, Bandung, 2003.
3. Kaji Manual, Indonesian Highway Capacity Manual, Directorate General of Highway, Ministry of Public Works, 1997.
4. Towards Safer Roads in Developing Countries, A Guide for Planners and Engineers, Transport and Road Research Laboratory (TRRL) and Overseas Development Administration (ODA), 1st Edition, 1991

Penulis :

1. **Dr. Ir. M. Sjahdanulirwan M.Sc.**, Ahli Peneliti Madya Bidang Teknik Jalan, dan Kepala Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Departemen Pekerjaan Umum.
2. **Ir. Agus Bari Syailendra, M.Sc.**, Peneliti Madya Bidang Transportasi dan Lalu Lintas, dan Kepala Bidang Tata Operasional, Puslitbang Prasarana Transportasi.
3. **Ir. Handiyana**, Staff Balai Teknik Lalu Lintas dan Lingkungan Jalan, Puslitbang Prasarana Transportasi.

Beban lalu lintas atau LER pada lajur rencana merupakan salah satu parameter disain yang bisa berubah-ubah, sangat bergantung pada karakteristik lalu lintas, jenis muatan, dan penegakan hukum.

3.3.1 Ekvivalen Standar Axle

Konstruksi perkerasan jalan akan mengalami penurunan indek permukaan sekecil apapun jika dilintasi kendaraan, sesuai dengan beban yang dilimpahkan melalui roda kendaraan, konfigurasi sumbu, dan bidang kontak antara roda dengan perkerasan jalan, dengan demikian apek dari masing-masing jenis kendaraan terhadap dampak penurunan indek permukaan yang ditimbulkan tidaklah sama. Untuk itulah perlunya ekivalensi ke beban standar.

Beban standar merupakan beban sumbu tunggal/ganda seberat 8,16 ton, jadi angka ekivalen kendaraan adalah angka yang menunjukkan jumlah lintasan dari sumbu tunggal beban standar yang akan menyebabkan penurunan indek permukaan yang sama apabila kendaraan tersebut lewat satu kali. Secara empiris faktor daya rusak kendaraan (Vehicle Damaging Faktor = VDF. Satuan yang digunakan dalam mengukur faktor daya rusak tersebut adalah Equivalent Standar Axke (ESA), formulanya cara Bina Marga adalah sebagai berikut ;

$$\begin{aligned} \text{sumbu tunggal ESA} &= \left[\frac{P}{8,16} \right]^4 \\ \text{sumbu tandem ESA} &= 0,086 \times \left[\frac{P}{8,16} \right]^4 \\ \text{sumbu tripple ESA} &= 0,053 \times \left[\frac{P}{8,16} \right]^4 \end{aligned}$$

dimana P adalah beban sumbu.

Sebagai gambaran perbandingan jika kendaraan ringan/penumpang satu kali lewat akan menimbulkan penurunan indek permukaan sebesar 0,0004 sedangkan jika kendaraan truk bisa menimbulkan penurunan indek permukaan sebesar 5,0264.

3.3.2 Distribusi Lintasan Lalu lintas

Lintasan Ekvivalen Rencana (LER) merupakan parameter disain untuk perkerasan jalan, yang didapat dari volume lalu lintas persatuan waktu dikalikan dengan ekivalennya. Berikut ini koefisien distribusi untuk kendaraan ringan dan berat yang lewat pada lajur rencana ditentukan menurut daftar di Tabel 1. bawah ini.

Tabel 1.
Koefisien distribusi kendaraan

Jumlah Lajur	Kendaraan Ringan		Kendaraan Berat	
	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah
1 lajur	1,00	1,00	1,00	1,00
2 lajur	0,60	0,50	0,70	0,50
3 lajur	0,40	0,40	0,50	0,475
4 lajur	-	0,30	-	0,45
5 lajur	-	0,25	-	0,425
6 lajur	-	0,20	-	0,40

Sumber SKBI-2.3.26. 1987

Untuk jalan 2 lajur 1 arah LER kendaraan ringan 60% dan kendaraan berat 70%.

3.4 Manajemen Lalu Lintas

Tata cara berlalu lintas di jalan raya, menyuplik dari Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 43 Tahun 1993, Tentang Prasarana dan Lalu Lintas jalan, Pasal 61, tersurat Pada jalur yang memiliki dua atau lebih lajur searah, kendaraan yang berkecepatan lebih rendah dari padakendaraan lain harus mengambil lajur sebelah kiri/lambat.

IV. PRESENTASI DATA

4.1 Lokasi Survai

Jalan Pantura adalah jalan arteri sitem primer, membentang di Pulau Jawa yang dimulai dari sebelah barat yaitu kota Merak hingga ke timur yaitu kota Banyuwangi, berfungsi arteri primer dan strategis letaknya menjadi ruas jalan tersebut sebagai tulang punggung kegiatan perekonomian regional dan nasional, mempunyai volume lalu lintas yang tinggi dengan proporsi kendaraan besar/berat jenis truk dan bus cukup tinggi. Dengan kondisi seperti tersebut, menjadikan jalur Pantura sebagai kasus litbang yang perlu diperhatikan, lokasi yang menjadi pengamatan berada pada ruas jalan antara Cikampek sampai dengan Lohbener (Jawa Barat), bertipe jalan 4 lajur 2 arah terbagi (4/2-D).

4.2 Hambatan Samping

Kawasan di daerah jalur Pantura menjadi suatu kawasan terbangun yang pesat, tetapi karena kurang jelasnya peruntukan guna lahan yang dituju dan lemahnya pengawasan menjadikan perkembangan tersebut cenderung tidak terkendali. Fanomena pembangunan yaitu berubahnya peruntukan guna lahan seperti, dari lahan beraktivitas rendah (pertanian) ke lahan beraktivitas tinggi (perumahan atau komersial), perubahan tersebut cukup signifikan dari waktu ke waktu (*Ribbon Development*). Guna lahan beraktivitas tinggi cenderung bisa membangkitkan

lalu lintas yang selanjutnya akan diikuti dengan kegiatan lain seperti pejalan kaki, parkir, pedagang kaki lima, keluar masuk kendaraan (hambatan sampig).

Beberapa laporan studi yang telah dilakukan oleh Pusat Litbang Prasarana Transportasi mengindikasikan banyaknya segmen jalan dimana pengemudi tidak bisa mengembangkan kecepatan kendaraannya sesuai dengan ketentuan minimal kecepatan di jalan arteri, bahkan pada segmen jalan tertentu sampai dengan kondisi macet lalu lintas,

4.3 Berat Kendaraan

Departemen Perhubungan telah menetapkan beberapa ketentuan teknis angkutan barang jenis truk, bahwa jenis kendaraan truk dikelompokkan dalam klasifikasi, konfigurasi sumbu, dengan muatan sumbu terberat (MST) 8 ton, dimana berat yang diijinsk untuk single adalah 8 ton, untuk tandem 15 ton, dan untuk triple 20 ton. Dengan beban yang diijinkan tersebut maka akan didapat nilai ESA teoritis untuk masing-masing klasifikasi kendaraan.

Beberapa laporan studi empiris yang telah dilakukan oleh Pusat Litbang Prasarana Transportasi di beberapa ruas jalan alternatif dan jalan tol mengindikasikan bahwa jenis kendaraan truk memperlihatkan nilai ESA empiris lebih besar dari nilai ESA teoritis, artinya kendaraan jenis truk yang operasional di lapangan (eksisting) mengalami kelebihan muatan (overloading).

4.4 Distribusi Lalu Lintas Kendaraan Berat

Ditinjau dari aspek muatan dan ukuran yang dimiliki, perbedaan antara jenis kendaraan ringan dengan kendaraan berat secara teoritis jenis kendaraan ringan akan bergerak lebih cepat dari pada jenis kendaraan berat. Secara empiris di lapangan menunjukkan bahwa baik secara visual maupun dari hasil penelitian (Studi kemacetan lalu lintas, Pustran, 2003) jenis kendaraan ringan secara umum lebih cepat.

Ciri-ciri lalu lintas pada jaringan jalan antar kota (sistem primer) yang sangat menonjol di antaranya adalah ;

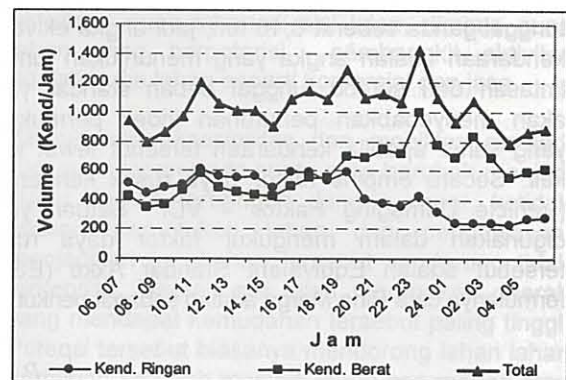
- Volume lalu lintas lebih rendah dari perkotaan
- Kecepatan kendaraan tinggi
- Jenis moda lebih banyak kendaraan dengan tujuan jarak jauh
- Beban muatan kendaraan relatif berat.

Jalan pantura sebagai kasus studi mempunyai tipe jalan empat lajur dua arah terbagi (4/2-D), jadi masing-masing arah mempunya dua lajur yaitu, lajur cepat/kanan dan lajur lambat/kiri, dimana lajur cepat

diperuntukan kendaraan yang relatif lebih cepat atau untuk keperluan menyiapkan.

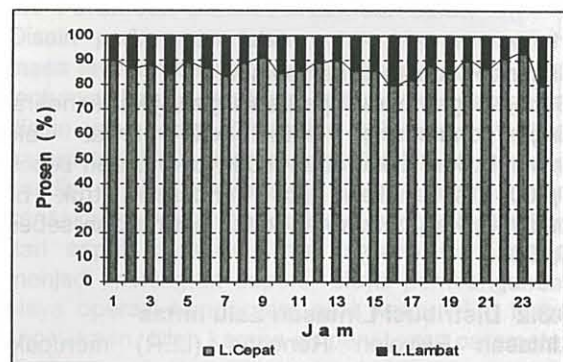
Dalam perencanaan disain perkerasan jalan dimana kendaraan dikelompokkan dalam dua bagian yaitu, kendaraan ringan yang terdiri atas jenis jeep, sedan, pick-up, mini bus sedang, dan kendaraan berat yang terdiri atas jenis truk dan bus besar. Dari hasil pengukuran untuk mengetahui distribusi penggunaan lajur dalam setiap arahnya, klasifikasi jenis kendaraan yang digunakan terdiri atas dua kelas yaitu, kelompok kelas kendaraan ringan dan berat.

Dari hasil pengukuran lalu lintas (traffic counting) dalam variasi 1 x 24 jam, menunjukkan bahwa volume lalu lintas berfluktuasi dalam setiap jamnya, adanya tiga waktu jam puncak volume yaitu, pagi, sore, dan malam, lihat Gambar 1.

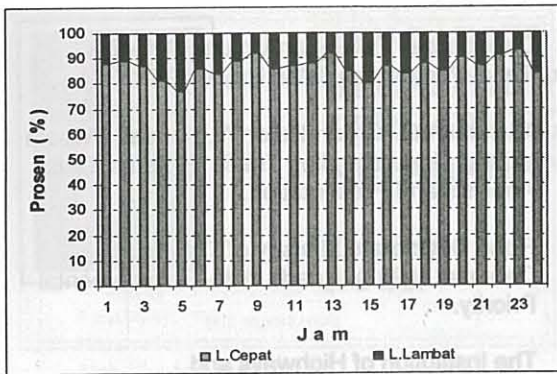


Gambar 1. Fluktuasi volume lalu lintas variasi 1x24 Jam (dua arah)

Data volume lalu lintas terdistribusi atas masing-masing lajur (cepat dan lambat), pada Gambar 2 dan Gambar 3 grafik distribusi lintasan kendaraan berat masing masing arah.

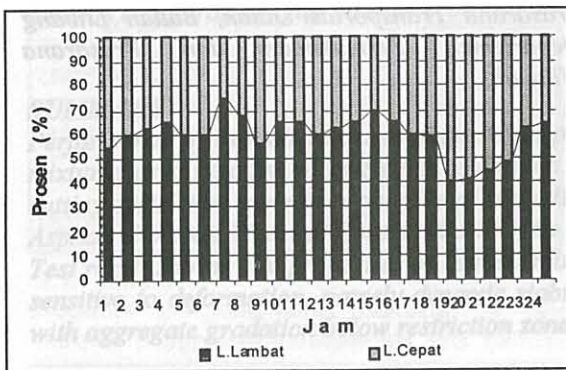


Gambar 2. Distribusi volume kend. Berat (arah ke Pamanukan)

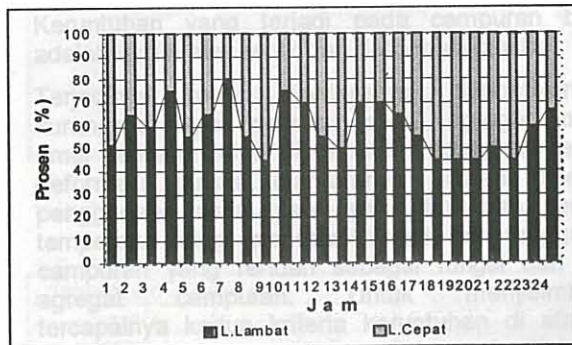


Gambar 3. Distribusi volume kend. Berat (arah ke Cikampek)

Dan pada Gambar 4 dan Gambar 5 distribusi lintasan kendaraan ringan masing masing arah.

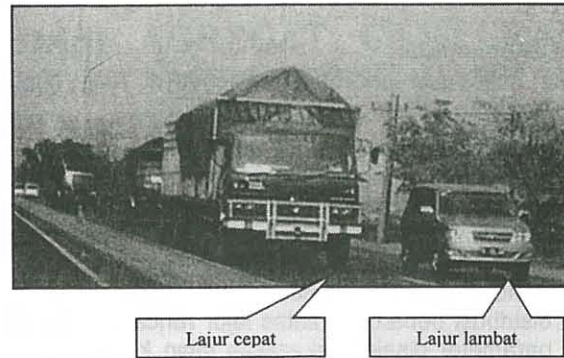


Gambar 4. Distribusi volume kend. ringan (arah ke Pamanukan)



Gambar 5. Distribusi volume kend. ringan (arah ke Cikampek)

Berikut ini pada Gambar 6, ilustrasi dari lintasan kendaraan di jalur Pantura, dimana kendaraan berat berada di lajur cepat dan kendaraan ringan berada di lajur lambat.



Gambar 6. Lajur cepat yang digunakan kend. lambat

V. PEMBAHASAN

Fluktuasi volume lalu lintas dalam variasi 1 x 24 jam, terjadinya tiga waktu puncak yaitu waktu puncak pagi hari yang jatuh berkisar antara jam 11, dan jam puncak sore hari yaitu jatuh berkisar jam 19, dan jam puncak malam yaitu terjadi jatuh berkisar jam 24.

Ditinjau dari aspek distribusi lintasan lalu lintas (cepat dan lambat) dari ke 4 kelompok volume lalu lintas dalam setiap jenis kendaraan baik kendaraan ringan dan kendaraan berat masing-masing arah menunjukkan bahwa, semua volume lalu lintas jenis kendaraan secara statistik "menyebar secara normal". Pada Tabel 2 di bawah ini proporsi rata-rata distribusi lintasan dari masing-masing kelompok jenis kendaraan.

Tabel 2.
Proporsi distribusi kendaraan

Kendaraan	Prosen (%)	
	Lajur Cepat	Lajur Lambat
Ringan	41	59
Berat	81	19

Ini menunjukkan bahwa perubahan perilaku pengemudi dalam menentukan pilihan lajur bukan lagi faktor kebetulan semata, akan tetapi lebih disebabkan oleh faktor kemudahan dan keselamatan bagi dirinya, karena berjalan pada lajur lambat akan selalu behadapan dengan faktor hambatan samping yang mempunyai resiko gangguan. Dengan demikian faktor hambatan samping dapat dikatakan sebagai salah satu faktor yang menyebabkan pengemudi angkutan berat merubah penggunaan lajur dari yang seharusnya berada di lajur lambat ke lajur cepat sebagai suatu keputusan yang permanen.

VI. KESIMPULAN dan SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari urai hasil penelitian tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa ;

1. Pada jalur jalan Pantura telah terjadi perubahan perilaku pengemudi kendaraan berat secara kontinu dan mantap untuk menggunakan lajur cepat/kanan.
2. Perlunya mempertimbangkan lagi komposisi distribusi beban lalu lintas lajur rencana, sebagai parameter disain perkerasan jalan khususnya di jalur jalan Pantura.
3. Faktor hambatan samping yang memberi andil perubahan perilaku pengemudi kendaraan berat memilih lintasan di lajur cepat/kanan.

6.2 Saran

Saran yang bisa disampaikan adalah ;

1. Penelitian ini masih dalam taraf peninjauan karena dilakukan hanya pada segmen jalan tertentu, oleh karena itu penelitian lebih lanjut perlu dilakukan dengan lokasi segmen jalan lebih banyak.

DAFTAR PUSTAKA :

- 1) Departemen Pekerjaan Umum, Petunjuk Tebal Perkerasan Jalan Raya, 1987.
- 2) Michael A.P. Taylor, Peter W. Bonsall, William Young. Understanding Traffic Systems, Data, Analysis and Presentation.
- 3) Road Directorate Ministry of Transport Denmark (1983), Roads With Environmental Priority.
- 4) The Institution of Highways and Transportation UK (1986), Roads and Traffic in Urban Areas.

Penulis :

Ir. Erwin Kusnandar, Ajun Peneliti Muda, Bidang Teknik Lalu Lintas, Pusat Litbang Prasarana Transportasi Jalan, Badan Litbang Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.



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 :

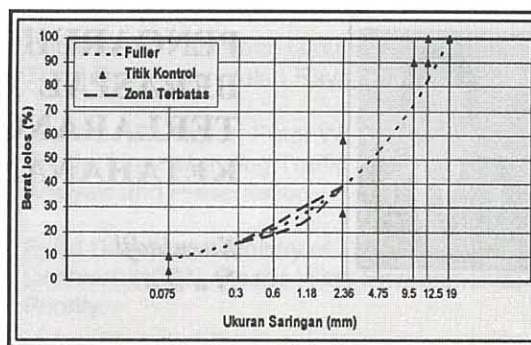
- o Membatasi penggunaan pasir alam yang banyak yang dapat menyebabkan gradasi menjadi bongkok pada rentang 600 μm .
- o Untuk menghindari gradasi jatuh atau berimpit dengan kurva Fuller (garis kepadatan maximum) yang dapat mengakibatkan ketidak cukupan rongga dalam agregat (VMA).

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

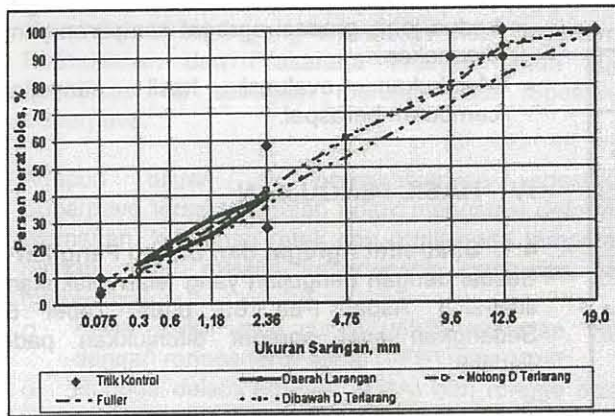
Tabel 6.
Sifat Agregat

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.

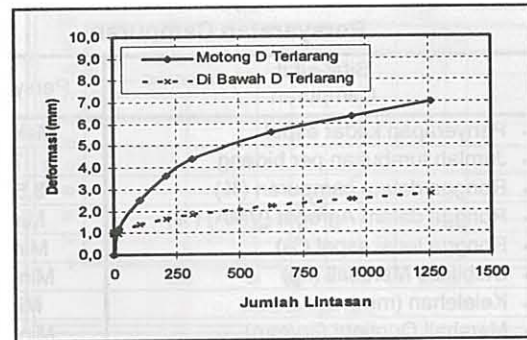


Gambar 2. Gradasi agregat campuran

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 *quartzise* 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

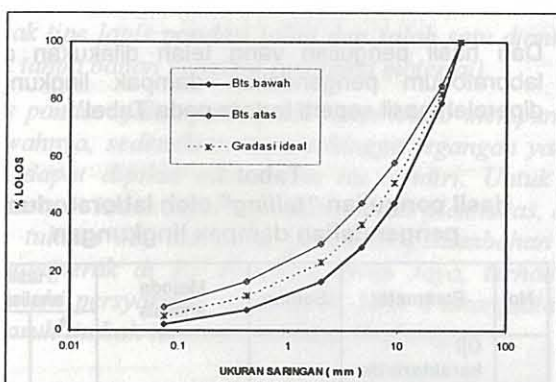
2.2 Lapis pondasi jalan

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.

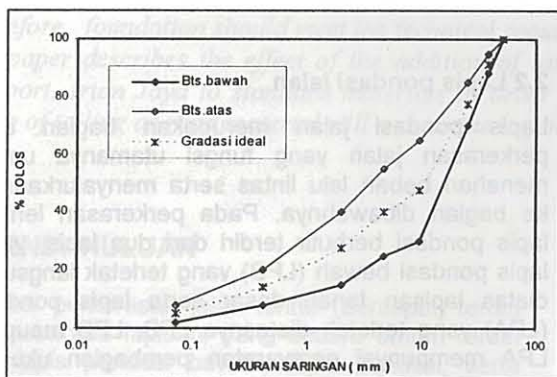
Persyaratan gradasi untuk LPA dan LPB yang dipergunakan di Indonesia oleh Departemen Kimpraswil ialah sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 2 serta digambarkan seperti terlihat pada Gambar 1 untuk gradasi LPA dan Gambar 2 untuk gradasi LPB.

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.

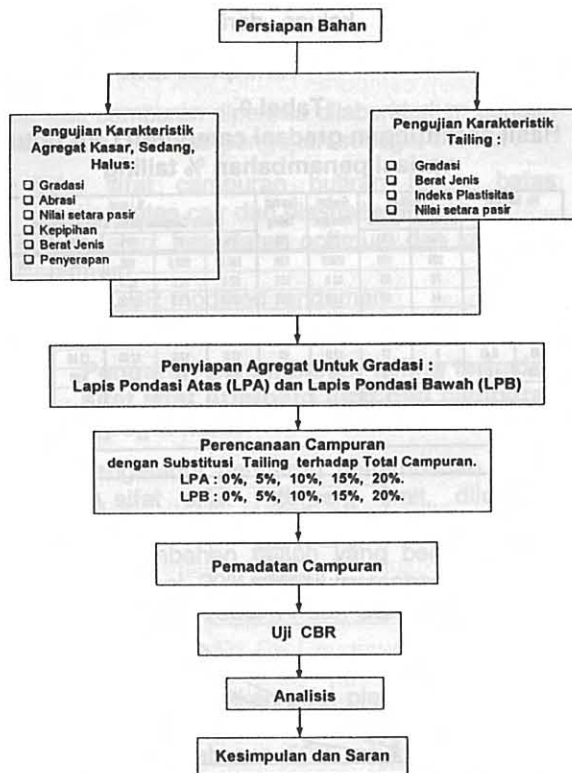
3.2 Percobaan laboratorium

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	

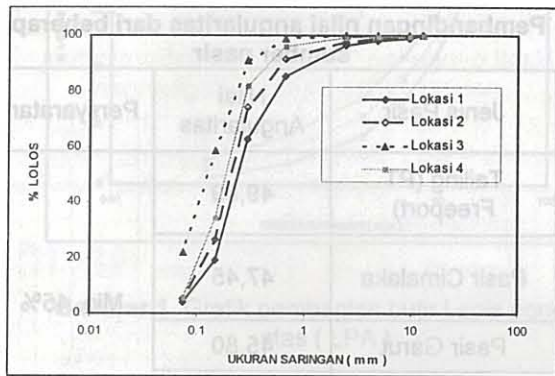
Tabel 7.
Hasil Pengujian Fisik Tailing dari PT. Freeport

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.

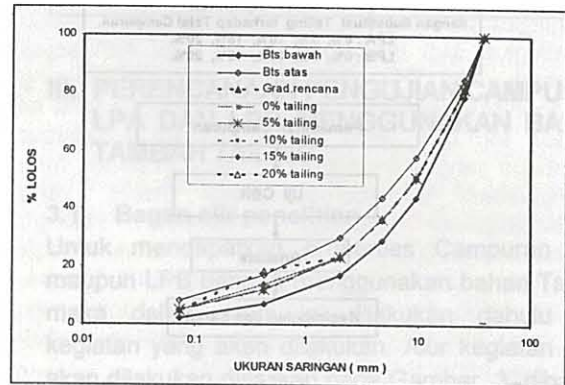
Perhitungan gradasi campuran LPA dan LPB untuk berbagai prosentase tailing diperlihatkan pada Tabel 9 dan Gambar 5 untuk LPB serta Tabel 10 dan Gambar 6 untuk LPA.

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

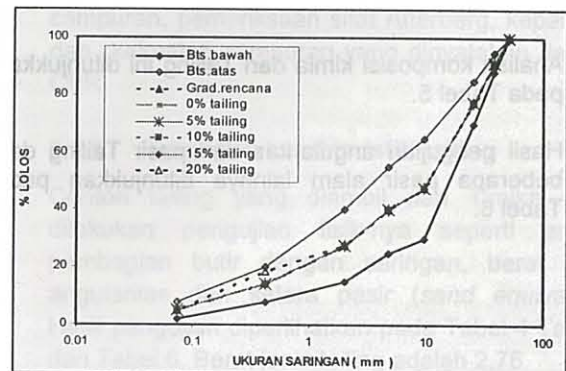
No. Saringan	Spesifikasi		Gradasi Rencana (%)	Gradasi Tailing (%)	% Lovat				
	bts bawah (%)	bts atas (%)			Gradasi Campuran (variasi %Tailing + agregat)				
inci	mm				0%	5%	10%	15%	20%
1.5"	38.1	100	100	100.0	100	100.0	100	100	100
1"	25.4	79	85	82.0	100	82.0	82.0	82.0	82.0
3/8"	9.52	44	58	51.0	100	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

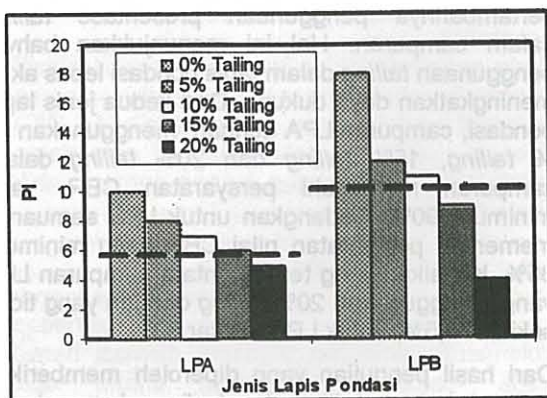
3.4.1 Pengaruh penambahan tailing terhadap sifat sifat Atterberg limit dari campuran agregat halus

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



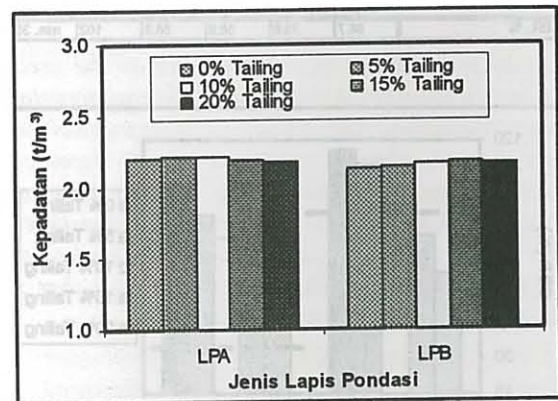
Gambar 7. Pengaruh penambahan tailing pada sifat-sifat Atterberg limit LPA dan LPB

3.4.2 Pengaruh penambahan tailing terhadap kepadatan dan kadar air optimum

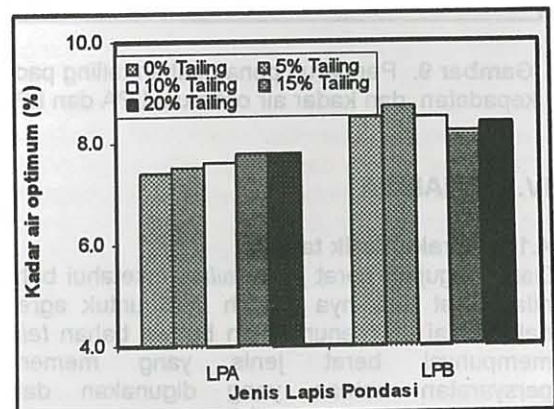
Hasil pengujian kepadatan dan kadar air optimum dengan variasi penambahan tailing antara 5% sampai 20% baik untuk campuran LPA maupun LPB, dapat dilihat pada Tabel 12 dan Gambar 8. Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa peningkatan penambahan % tailing pada campuran LPA dan LPB untuk nilai kepadatan 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					
	Variasi penambahan % Tailing					Persyaratan
	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

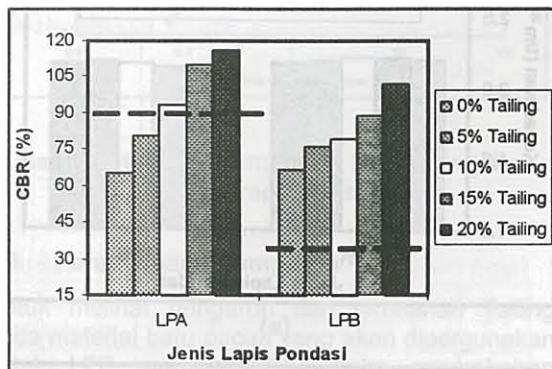
Nilai CBR merupakan salah satu parameter yang sangat penting dalam campuran lapis pondasi, oleh karena itu disini akan dilihat sejauh mana pengaruh penambahan tailing pada nilai CBR untuk campuran LPA dan LPB.

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 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.*



PENGARUH TINGKAT KEPADATAN TERHADAP VOLUMETRIK CAMPURAN BETON ASPAL DENGAN ANALISIS JALUR

Madi Hermadi

N o n o

RINGKASAN

Kinerja campuran beraspal selain tergantung pada sifat bahan yang digunakan juga tergantung pada besaran volumetrik yang direncanakan. Besaran volumetrik ini dapat tercapai apabila tidak terjadi penyimpangan tingkat kepadatan. Ada beberapa hal yang mengakibatkan tingkat kepadatan campuran tidak tercapai, yaitu diantaranya: proporsi kadar aspal tidak tepat, temperatur pemadatan rendah, terjadi segregasi dan jumlah lintasan pemadatan tidak sesuai serta alat pemadat tidak sesuai ketentuan. Pada tulisan ini, penulis telah mengevaluasi pengaruh penyimpangan tingkat kepadatan terhadap besaran volumetrik campuran skala laboratorium dan untuk menganalisa data digunakan Path Analysis (analisis jalur) menggunakan program SPSS. Hasil pengujian menunjukkan bahwa menurunnya tingkat kepadatan mengakibatkan rongga dalam campuran (VIM) dan rongga dalam agregat (VMA) meningkat. Sedangkan pengaruhnya terhadap rongga terisi aspal (VFB) adalah menurun dengan signifikan. Hal tersebut, menunjukkan bahwa dengan meningkatnya VIM dan VMA serta menurunnya VFB kinerja campuran beraspal menjadi rendah sehingga rentan terhadap terjadinya pelepasan butir dan retak.

SUMMARY

Performance of asphalt mixtures depend on the used of material properties level and design volumetric. To achieving volumetric of asphalt mixtures appropriate with design is depend on level of compaction. Many factors caused the decreasing of compaction level are asphalt content, compaction temperature, segregation, number of passing and type of compactor. This paper is based on research on the effect of compaction level to volumetric of asphalt mixture at laboratory scale and for data analysis used Path Analysis by SPSS program. Test result shown that the decreasing of compaction level on asphalt mixture caused the increasing of void in mix (VIM) and void in mineral aggregate (VMA) and the decreasing of void filled bitumen (VFB). These are illustrated that performance of asphalt mixtures is low so sensitive to raveling and cracking.

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Volumetrik campuran beton aspal sangat menentukan kinerja campuran beraspal. Yang dimaksud besaran volumetrik campuran beraspal antara lain rongga dalam campuran (VIM), rongga di antara agregat (VMA) dan rongga terisi aspal (VFB). Perubahan besaran volumetrik campuran beraspal tersebut berpengaruh langsung terhadap kinerja campuran (SHRP, 1994). Berkaitan dengan hal-hal tersebut lembaga penelitian Asphalt Institute, yaitu SHRP, telah mengembangkan penentuan kinerja campuran beraspal dengan hanya mempertimbangkan besaran volumetrik campurannya saja dan bukan besaran stabilitas atau parameter Marshall lainnya.

Besaran volumetrik campuran beraspal yang direncanakan dapat terjadi penyimpangan terutama

jika pemadatan yang kurang optimal, baik selama pelaksanaan pemadatan di laboratorium ataupun di lapangan pada saat konstruksi.

Pada penelitian ini, akan dicoba mengevaluasi pengaruh penyimpangan volumetrik campuran beraspal untuk lapis permukaan (AC-WC) sebagai akibat pelaksanaan pemadatan campuran beraspal yang kurang optimal untuk skala di laboratorium.

1.2. Pembatasan Masalah

Pada penelitian ini untuk mengetahui pengaruh kurang optimalnya pemadatan terhadap volumetrik campuran beraspal dibatasi hanya pada campuran beraspal untuk lapis permukaan (AC-WC) dengan menggunakan agregat yang bersumber dari Tomo dan aspal yang digunakan adalah aspal keras Pen 60 ex Pertamina.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi besarnya pengaruh penyimpangan pemadatan, sehingga terjadi variasi tingkat kepadatan, terhadap penyimpangan besaran volumetrik campuran beraspal (VIM, VMA dan VFB).

II. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Campuran beraspal

Secara umum campuran beraspal panas didefinisikan sebagai kombinasi antara agregat yang dicampur merata dan dilapis dengan aspal keras. Untuk mengeringkan agregat dan mencairkan aspal agar mudah dicampur dan dipadatkan dengan baik maka sebelum pencampuran bahan tersebut harus dipanaskan.

Berdasarkan definisi di atas, ada tiga faktor utama yang mempengaruhi kinerja campuran beraspal, yaitu mutu aspal; mutu agregat; dan mutu campuran (sifat volumetrik dan sifat mekanis campuran).

Ke tiga faktor tersebut merupakan syarat utama yang harus dipenuhi agar diperoleh suatu campuran beraspal panas yang awet, kuat, memiliki kelenturan yang cukup, tahan terhadap retak, kedap air dan mudah dalam pelaksanaannya (TAI, 1985).

Berdasarkan TAI Manual Series 2, 1993, bahwa kinerja campuran beraspal tergantung dari rongga dalam campuran (VIM) dan Stabilitas Marshall. Kedua parameter tersebut akan mempengaruhi kinerja campuran beraspal. Pengaruh variasi besarnya rongga dalam campuran dan Stabilitas Marshall adalah sebagai berikut:

- o Bila VIM rendah dan Stabilitas cukup

Kinerja campuran beraspal kurang baik atau tidak stabil sehingga setelah melayani lalu lintas pada periode waktu tertentu atau mengalami pemadatan tambahan oleh lalu lintas maka akan terjadi deformasi plastis atau sungkur.

- o Bila VIM tinggi dan Stabilitas rendah

Rongga dalam campuran tinggi mengakibatkan campuran memiliki permeabilitas tinggi. Apabila permeabilitas tinggi maka sirkulasi udara dan air terjadi pada campuran beraspal tersebut. Hal demikian dapat mengakibatkan aspal lebih cepat mengalami penuaan sehingga pada campuran tersebut kemungkinan terjadi pelepasan butir atau retak.

Ada beberapa hal yang kemungkinan dapat mempengaruhi tingkat kepadatan sehingga volumetrik campuran beraspal tidak sesuai dengan rencana, diantaranya adalah :

- o Proporsi kadar aspal yang tidak sesuai dengan rencana.

- o Temperatur pemadatan rendah.
- o Lintasan pemadatan atau jumlah tumbukan tidak sesuai ketentuan.
- o Alat pemadat tidak sesuai dengan yang ditetapkan.
- o Terjadinya segregasi.

Untuk mengatasi terjadinya perbedaan kepadatan dilaboratorium misalnya saat pembuatan formula campuran rancangan, maka untuk benda uji yang telah dipadatkan tingginya melebihi 1,5 mm dari 63,5 mm (untuk berat benda uji 1.200 gram) maka tidak boleh digunakan (BS 594, 1973).

SHRP telah melakukan penelitian campuran beraspal untuk mengontrol kinerja campuran yaitu dengan mengutamakan besaran volumetrik dan penggunaan bahan sesuai dengan kondisi lapangan (temperatur dan lalu lintas). Adapun hasil penelitian SHRP ini dikenal dengan Spesifikasi Superpave. Tujuan dari pembuatan spesifikasi tersebut adalah untuk mengatasi deformasi permanen, deformasi plastis, kelelahan retak dan retak pada temperatur rendah, yaitu melalui karakteristik campuran yang mempunyai :

- o Kadar aspal yang cukup untuk keawetan;
- 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
- o Persyaratan gradasi agregat gabungan dibatasi dengan titik control dan tidak boleh memotong daerah hitam atau daerah larangan (restriction zone). Untuk membuat gradasi agregat gabungan berpedoman pada kurva Fuller (untuk kepadatan tertinggi dengan nilai $n = 0,45$) dan untuk memperoleh rongga yang cukup maka gradasi yang direncanakan harus sejauh mungkin dari kurva Fuller.

2.2. Spesifikasi Yang Diacu

Pada penelian ini semua persyaratan mengacu pada spesifikasi Kimpraswil (Divisi 6.3 Buku III tahun 2003).

Adapun persyaratan aspal dan agregat masing-masing ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Sedangkan persyaratan gradasi agregat gabungan untuk AC-Wearing Course sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 1.

Tabel 1.
Persyaratan sifat fisik aspal

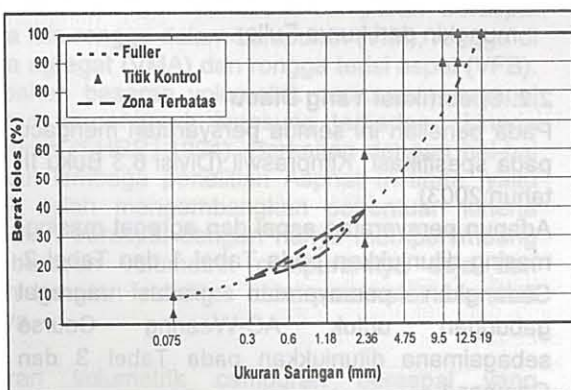
JENIS PENGUJIAN	PERSYARATAN ASPAL PEN 60
• Penetrasi, 0,1 mm	60-79
• Titik lembek, °C	48-58
• Daktilitas, cm	min. 100
• Kelarutan dlm C ₂ HCl ₃ , %	min. 99
• Titik nyala, °C	min. 200
• Kehilangan berat, %	maks. 0,8
• Penetrasi stlh keh. brt., %	min. 54
• Daktilitas stlh keh. brt., cm	min. 50
• Berat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

Tabel 2.
Persyaratan Agregat

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

Tabel 3.
Persyaratan Gradasai

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		



Gambar 1. Contoh gradasi AC-WC

Persyaratan campuran mengacu pada persyaratan campuran untuk Laston dengan bahan pengikat aspal keras Pen 60. Spesifikasi ditunjukkan pada Tabel 4.

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

Penyimpangan tingkat kepadatan campuran beraspal mempengaruhi besaran volumetrik campuran yang dapat mengurangi kinerja campuran beraspal.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Umum

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

Bahan pengikat yang digunakan adalah aspal keras Pen 60 ex Pertamina yang diperoleh dari pemasok. Sedangkan agregat yang digunakan pada penelitian ini berasal dari mesin pemecah batu yang berada di Tomo Kabupaten Sumedang.

Dalam rangka pengkajian di atas, dilakukan pembuatan campuran beraspal dengan 8 (delapan) variasi gradasi dan pengujian yang digunakan adalah alat Marshall dan PRD.

3.2. Tahapan Penelitian

Untuk mendapatkan tujuan penelitian telah dilakukan tahap-tahap kegiatan sebagai berikut

- Melakukan pengujian mutu agregat dan bahan pengikat.
- Pembuatan campuran beraspal. dengan 4 (empat) variasi gradasi diatas kurva Fuller dan di atas aerah hitam (restriction zone) dan 4 (empat) variasi gradasi lagi memotong kurva Fuller dan di bawah daerah hitam.

- Melakukan pengujian Marshall dan PRD untuk menentukan kadar aspal optimum dan besaran volumetrik serta parameter Marshall lainnya.
- Pada kadar aspal optimum untuk masing-masing variasi gradasi dibuatkan benda uji dengan beberapa variasi tingkat kepadatan. Selanjutnya untuk masing-masing benda uji yang dibuat dengan tingkat kepadatan yang diperoleh pada setiap gradasi, dihitung besaran volumetriknya
- Sebagai tahapan kegiatan akhir dari penelitian ini adalah melakukan analisa data terhadap pengaruh tingkat kepadatan dengan besaran volumetrik campuran beraspal. Metoda analisa yang digunakan adalah secara statistik dengan menggunakan analisis jalur (path analysis).

Tabel 6.
Sifat Agregat

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian Agregat			
		Kasar 1	Kasar 2	Sedang	A.Batu
1.	Berat Jenis				
	Curah	2,575	2,597	2,539	2,591
	Jenuh	2,638	2,659	2,616	2,662
	Semu	2,750	2,770	2,752	2,789
	Penyerapan, %	2,482	2,611	2,824	2,733
2.	Abrasi	29,07	29,76	-	-
3.	Setara Pasir	-	-	-	51
4.	Pipih dan Lonjuong				
5.	Kelekatkan terh.aspal	95+	95+	-	-

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.

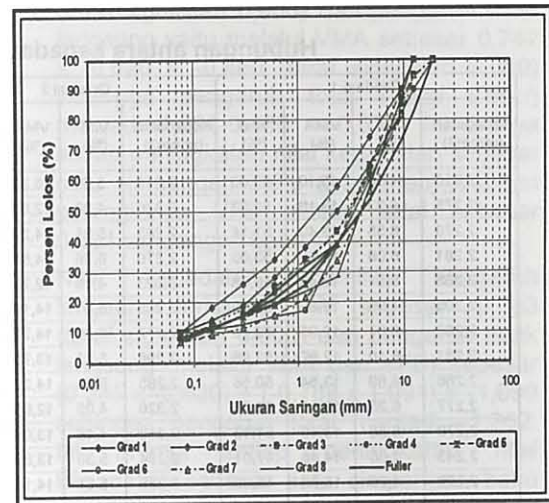
Dari Tabel 5 dan Tabel 6 terlihat bahwa agregat dan bahan pengikat yang digunakan memenuhi persyaratan Spesifikasi Kimpraswil (buku III-2003).

Dalam pembuatan rancangan campuran, gradasi agregat gabungan yang digunakan adalah didasarkan atas berat pada setiap ukuran saringan (by size) atau tidak berdasarkan penggabungan dengan formula tertentu untuk masing-masing fraksi agregat.

Variasi gradasi yang digunakan adalah sebagai mana ditunjukkan pada Gambar 2.

Tabel 5.
Sifat-sifat Aspal Pen 60

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
✓ Penetrasi pada 25°C, 100 gr, 5 detik, 0,1 mm	63
✓ Titik lembek, °C	48,5
✓ Daktilitas pada 25°C, 5 cm/menit, Cm	> 140
✓ Kelarutan dalam C ₂ HCL ₃ , %	99,87
✓ Titik nyala (COC), °C	310
✓ Berat jenis, gr/ml	1,032
✓ Kehilangan berat (TFOT), %	0,092
✓ Penetrasi setelah TFOT, % asli	87,3
✓ Daktilitas setelah TFOT, Cm	> 140
✓ Titik lembek setelah TFOT, °C	50,1
✓ Temperatur pencampuran, °C	161
✓ Temperatur pemadatan, °C	148



Gambar 2. Gradasi agregat gabungan

4.2. Sifat campuran

Sifat campuran yang diperoleh berdasarkan hasil pengujian dengan alat Marshall dan PRD, yaitu pada kadar aspal optimum ditunjukkan pada Tabel 7. Sedangkan besaran volumetrik campuran, yaitu rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam agregat (VMA) dan rongga terisi aspal (VFB) ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 7.
Sifat Campuran

NO	SIFAT CAMPURAN	HASIL PENGUJIAN							
		Grad 1	Grad 2	Grad 3	Grad 4	Grad 5	Grad 6	Grad 7	Grad 8
1.	Kadar Aspal, (%)	6,25	6,25	6,17	5,80	6,45	6,35	6,35	6,25
2.	Kepadatan, (t/m ³)	2,310	2,311	2,305	2,309	2,289	2,280	2,280	2,296
3.	VFB (%)	69,00	70,0	71,0	71,0	68,0	69,0	70,5	70,0
4.	VMA (%)	15,10	16,3	16,8	17,8	16,5	17,0	17,4	15,4
5.	VIM Marshall (%)	4,6	5,0	4,9	5,1	5,2	5,1	5,2	4,8
6.	VIM PRD (%)	3,0	2,6	2,9	2,9	2,9	2,7	2,8	2,9
7.	Stabilitas, (kg)	1330	1450	1450	1470	1390	1210	1220	1320
8.	Pelelehan, (mm)	3,9	3,3	3,9	3,4	4,0	3,7	3,6	3,8
9.	MQ (kg/mm)	341	439	372	432	348	327	339	347
10.	Stabilitas Sisa (%)	91,10	88,26	87,92	84,48	93,81	86,67	83,33	96,67

Tabel 8.
Hubungan antara kepadatan dan volumetrik campuran beraspal

Gradasi 1				Gradasi 2				Gradasi 3				Gradasi 4			
Kepadatan (gr/cm ³)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Kepadatan (gr/cm ³)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Kepadatan (gr/cm ³)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Kepadatan (gr/cm ³)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)
2,310	4,60	15,10	69,00	2,311	5,00	16,30	70,00	2,305	4,90	16,80	71,00	2,309	5,10	17,80	71,00
2,275	6,33	13,19	52,03	2,320	4,30	12,88	66,64	2,303	5,09	13,68	62,78	2,291	5,62	15,47	63,65
2,270	6,55	13,40	51,14	2,283	5,81	14,29	59,37	2,293	5,53	14,09	60,75	2,268	6,53	16,30	59,93
2,281	6,08	12,95	53,06	2,270	6,36	14,81	57,05	2,290	5,64	14,19	60,28	2,261	6,85	16,60	58,70
2,268	6,64	13,48	50,78	2,323	4,18	12,77	67,26	2,312	4,72	13,33	64,60	2,278	6,14	15,94	61,49
2,308	4,96	11,89	58,25	2,288	5,61	14,10	60,25	2,295	5,45	14,01	61,12	2,268	6,56	16,32	59,84
2,282	6,07	12,95	53,10	2,272	6,26	14,72	57,44	2,296	5,41	13,98	61,29	2,300	5,21	15,09	65,45
2,281	6,10	12,97	52,98	2,298	5,21	13,73	62,06	2,280	6,08	14,60	58,38	2,297	5,34	15,21	64,88
2,266	6,69	13,54	50,56	2,285	5,73	14,22	59,69	2,305	5,02	13,61	63,13	2,304	5,05	14,94	66,19
2,277	6,25	13,11	52,36	2,326	4,05	12,65	67,98	2,268	6,56	15,06	56,40	2,277	6,19	15,99	61,27
2,270	6,55	13,40	51,13	2,316	4,46	13,03	65,76	2,232	8,03	16,43	51,11	2,284	5,89	15,71	62,51
2,243	7,66	14,46	47,01	2,294	5,38	13,89	61,25	2,233	7,98	16,38	51,27	2,246	7,47	17,17	56,47
2,228	8,26	15,03	45,06	2,288	5,61	14,11	60,21	2,288	5,74	14,28	59,83	2,275	6,26	16,05	61,02
2,255	7,17	14,00	48,74	2,289	5,59	14,08	60,33	2,252	7,21	15,66	53,94	2,290	5,66	15,50	63,47
2,264	6,79	13,63	50,18	2,295	5,32	13,83	61,56	2,270	6,48	14,98	56,73	2,276	6,21	16,01	61,18
2,250	7,38	14,19	48,00	2,286	5,69	14,18	59,86	2,330	4,00	12,66	68,39	2,274	6,28	16,07	60,91
2,254	7,20	14,02	48,65	2,288	5,62	14,11	60,19	2,325	4,22	12,87	67,20	2,249	7,35	17,06	56,89

Tabel 8.
Hubungan antara kepadatan dan volumetrik campuran beraspal (lanjutan)

Gradasi 5				Gradasi 6				Gradasi 7				Gradasi 8			
Kepadatan (gr/cm ³)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Kepadatan (gr/cm ³)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Kepadatan (gr/cm ³)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Kepadatan (gr/cm ³)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)
2,289	5,20	16,50	68,00	2,280	5,10	17,00	69,00	2,280	5,20	17,40	70,50	2,296	4,80	15,40	70,00
2,270	8,04	13,49	40,43	2,254	6,86	14,99	54,28	2,219	8,01	16,52	51,55	2,239	7,43	14,47	48,64
2,265	8,24	13,68	39,80	2,265	6,40	14,56	56,07	2,207	8,52	17,00	49,89	2,275	5,96	13,07	54,41
2,268	8,10	13,55	40,22	2,285	5,56	13,78	59,63	2,200	8,81	17,27	49,00	2,258	6,66	13,74	51,52
2,288	7,29	12,76	42,91	2,281	5,76	13,96	58,76	2,192	9,11	17,56	48,09	2,255	6,76	13,84	51,11
2,252	8,74	14,17	38,32	2,275	6,01	14,20	57,69	2,232	7,48	16,03	53,34	2,275	5,96	13,07	54,42
2,271	8,00	13,45	40,55	2,295	5,15	13,40	61,52	2,193	9,07	17,52	48,21	2,230	7,81	14,83	47,33
2,251	8,81	14,24	38,12	2,294	5,19	13,43	61,34	2,209	8,44	16,92	50,15	2,260	6,59	13,67	51,80
2,270	8,04	13,49	40,41	2,222	8,19	16,25	49,59	2,221	7,94	16,46	51,78	2,258	6,64	13,72	51,60
2,220	10,05	15,44	34,90	2,285	5,59	13,81	59,51	2,188	9,27	17,70	47,63	2,241	7,35	14,40	48,92
2,301	6,77	12,26	44,79	2,285	5,56	13,78	59,65	2,191	9,14	17,58	48,01	2,249	7,04	14,10	50,07
2,262	8,33	13,78	39,51	2,277	5,89	14,09	58,18	2,209	8,42	16,91	50,19	2,262	6,48	13,57	52,23
2,283	7,51	12,98	42,14	2,291	5,33	13,56	60,72	2,201	8,75	17,22	49,16	2,289	5,39	12,53	57,01
2,265	8,21	13,66	39,88	2,305	4,77	13,04	63,41	2,192	9,13	17,57	48,05	2,258	6,64	13,72	51,61
2,263	8,31	13,75	39,59	2,257	6,76	14,90	54,66	2,202	8,70	17,17	49,33	2,283	5,64	12,77	55,82
2,251	8,78	14,20	38,22	2,283	5,66	13,87	59,19	2,186	9,36	17,79	47,38	2,259	6,61	13,69	51,72
2,302	6,72	12,22	44,97	2,274	6,02	14,21	57,64	2,223	7,83	16,36	52,13	2,262	6,48	13,57	52,23

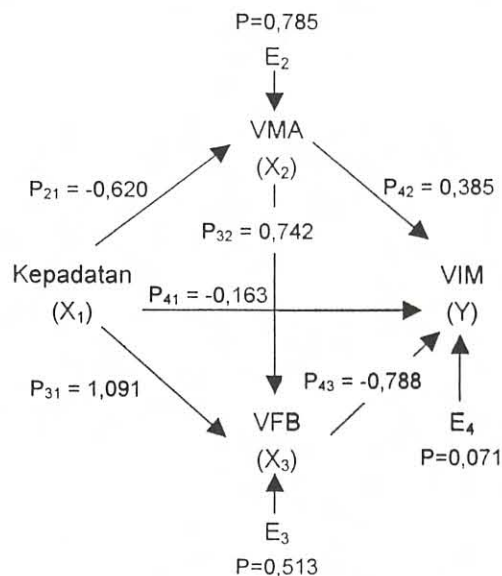
V. PEMBAHASAN

Analisa korelasi parsial dari kepadatan, VMA, VFB dan VIM pada Tabel 8 disajikan pada Tabel 9 berikut.

Tabel 9.
Hasil Analisa Korelasi Parsial

	Kepadatan	VMA	VFB
VMA :			
➤ Pearson Correlation	-0,620		
➤ Sig (2-tailed)	0,000		
➤ N	136		
VFB :			
➤ Pearson Correlation	0,630	0,066	
➤ Sig (2-tailed)	0,000	0,444	
➤ N	136	136	
VIM :			
➤ Pearson Correlation	-0,898	0,434	-0,865
➤ Sig (2-tailed)	0,000	0,000	0,000
➤ N	136	136	136

Hasil analisa korelasi parsial pada Tabel 9 menunjukkan bahwa kepadatan memiliki pengaruh nyata sebesar -0,620 terhadap VMA, sebesar 0,630 terhadap VFB dan sebesar -0,898 terhadap VIM. VMA memiliki pengaruh nyata sebesar 0,434 terhadap VIM sedangkan terhadap VFB pengaruhnya tidak nyata. FVB memiliki pengaruh nyata sebesar -0,865 terhadap VIM. Besarnya masing-masing pengaruh ini sebenarnya masih mengandung pengaruh palsu (*Spurious*) atau pengaruh yang disebabkan oleh faktor penyebab yang sama sehingga untuk mendekomposisi pengaruh tersebut dilakukan analisis jalur (*Path Analysis*) dengan model dan hasil analisis sebagaimana disajikan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Model Hubungan Pengaruh Kepadatan terhadap Volumetrik Campuran

Dari Gambar 3 di atas dapat diketahui pengaruh masing-masing variabel yang terdiri dari pengaruh langsung (*Direct Effect*), pengaruh tidak langsung (*Indirect Effect*), pengaruh palsu (*Spurious*) dan pengaruh yang tidak dapat dianalisis. Pengaruh-pengaruh tersebut yaitu sebagai berikut :

- Nilai kepadatan memiliki pengaruh langsung terhadap VMA sebesar -0,620 dengan signifikan karena memiliki taraf signifikan 0,000 atau lebih kecil dari batas maksimum 0,01. Ini artinya secara signifikan setiap peningkatan nilai kepadatan sebesar satu simpangan baku akan menyebabkan penurunan VMA sebesar 0,620 simpangan baku.
- Nilai kepadatan memiliki pengaruh langsung terhadap VFB sebesar 1,091 (taraf signifikan 0,000) dan pengaruh tidak langsung yaitu melalui VMA sebesar $0,742 \times -0,620 = -0,460$ (taraf signifikan 0,000) sehingga pengaruh total (*Total Effect*) menjadi $1,091 - 0,460 = 0,631$. Ini artinya setiap peningkatan nilai kepadatan sebesar satu simpangan baku akan menyebabkan peningkatan VFB secara total sebesar 0,631 simpangan baku.
- Nilai kepadatan memiliki pengaruh langsung terhadap VIM sebesar -0,163 (taraf signifikan 0,000) dan pengaruh tidak langsung (melalui VMA dan VFB) sebesar $(0,385 \times -0,620) + (-0,788 \times 1,091) = -1,099$ sehingga pengaruh total menjadi -1,262. Ini artinya setiap peningkatan nilai kepadatan sebesar satu simpangan baku akan menyebabkan penurunan VIM secara total sebesar 1,262 simpangan baku.
- Nilai VMA memiliki pengaruh langsung terhadap VFB sebesar 0,742 (taraf signifikan 0,000) dan pengaruh palsu (*Spurious*) sebesar $1,091 \times -0,620 = -0,676$. Sehingga pengaruh total tetap 0,742. Ini artinya setiap peningkatan nilai VMA sebesar satu simpangan baku akan menyebabkan peningkatan VFB secara total sebesar 0,742 simpangan baku.
- Nilai VMA memiliki pengaruh langsung terhadap VIM sebesar 0,385 (taraf signifikan 0,000), pengaruh tidak langsung (melalui VFB) sebesar $-0,788 \times 0,742 = -0,585$ dan pengaruh palsu sebesar $(-0,163 \times -0,620) + (-0,788 \times 1,091 \times -0,620) = 0,432$. Dengan demikian maka pengaruh total sebesar $0,385 - 0,585 = -0,200$. Ini artinya setiap peningkatan nilai VMA sebesar satu simpangan baku akan menyebabkan penurunan VIM secara total sebesar 0,200 simpangan baku.
- Nilai VFB memiliki pengaruh langsung terhadap VIM sebesar -0,788 (taraf

signifikan 0,000) dan pengaruh palsu sebesar $(0,385 \times 0,742) + (-0,163 \times 1,091) + (0,385 \times -0,620 \times 1,091) = -0,152$. Dengan demikian maka pengaruh total sebesar -0,788. Ini artinya setiap peningkatan nilai VFB sebesar satu simpangan baku akan menyebabkan penurunan VIM secara total sebesar 0,788 simpangan baku.

- g) Pengaruh yang tidak teranalisis adalah terhadap VMA sebesar 0,785 simpangan baku, terhadap VFB sebesar 0,513 simpangan baku dan terhadap VIM sebesar 0,071 simpangan baku.

Dengan adanya pengaruh yang signifikan antara kepadatan dengan volumetrik campuran maka penyimpangan tingkat kepadatan campuran akan merubah volumetrik campuran beraspal. Makin tinggi penyimpangan kepadatan (kepadatan makin rendah) menyebabkan VIM dan VMA makin tinggi namun VFB makin rendah. VIM tinggi dapat menyebabkan penetrasi air dan udara ke dalam campuran lebih tinggi sehingga campuran mudah mengalami penuaan (akibat oksidasi) dan pada saat hujan air akan terperangkap diantara rongga yang tersedia serta pada saat beban lalu-lintas akan terjadi pemompaan yang kemungkinan terjadinya pelepasan butir atau retak.

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium dan analisa data dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

- Sifat bahan yang digunakan pada pengkajian ini, baik aspal Pen 60 maupun agregat kasar, sedang dan agregat halus memenuhi persyaratan.
- Sifat campuran beraspal untuk ke delapan variasi gradasi memenuhi persyaratan campuran Laston lapis permukaan (AC-WC).
- Dari hasil analisis data dengan menggunakan analisis jalur dapat diketahui bahwa secara signifikan Kepadatan memiliki pengaruh total terhadap VMA sebesar -0,620, terhadap VFB sebesar 0,631 dan terhadap VIM sebesar -1,262. Secara signifikan VMA memiliki pengaruh total terhadap VFB sebesar 0,742 dan terhadap VIM sebesar -0,200. Secara signifikan VFB memiliki pengaruh total terhadap VIM sebesar -0,788.

- Dengan adanya pengaruh yang signifikan antara kepadatan dengan volumetrik campuran maka tampak penyimpangan tingkat kepadatan campuran akan merubah volumetrik campuran beraspal yang selanjutnya akan berpengaruh pula pada potensi kerusakan berupa penuaan, deformasi, retak atau lepas-lepas pada perkerasan jalan.

DAFTAR PUSTAKA

- British Standard Specification (1973). Rolled Asphalt (hot process) for roads and Other Paved Areas, BS 594. United Kingdom.
- Kimpraswil (2004). Spesifikasi Campuran Beraspal Panas, Seksi 6.3 Buku 3, Jakarta.
- NAPA Research and Education Foundation (1996). Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction, Second Edition, Lanham, Maryland.
- SHRP (1994). Superior Performing Asphalt Pavements (Superpave): The Product of the SHRP Asphalt Research Program, SHRP-A-410. National Research Council, Washington DC.
- The Asphalt Institute's (1985). The Asphalt Institute Handbooks, Manual Series No. 4. The Asphalt Institute. USA
- The Asphalt Institute's (1994). Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Others Hot Mix Types, Manual Series No. 2. Second Edition, USA.
- The Asphalt Institute's (1994). Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Others Hot Mix Types, Manual. USA.
- Soehartono I, 2003, "Analisis Jalur (*Path Analysis*) dengan SPSS", Lemlit Unpas Press, Bandung.

Penulis :

- *Drs. Madi Hermadi, SSI, Ajun Peneliti Madya bidang Prasarana Transportasi di Puslitbang Prasarana Transportasi.*
- *Ir. Nono, MEng Sc, Ajun Peneliti Muda, Pusat Litbang Prasarana Transportasi*

