

OPTIMASI PEMANFAATAN MATERIAL LOKAL UNTUK LAPIS FONDASI PERKERASAN JALAN (UTILIZATION OPTIMIZATION OF LOCAL MATERIALS FOR ROAD PAVEMENT FOUNDATION LAYERS)

Nyoman Suaryana¹⁾, Silvester Fransisko²⁾

¹⁾Direktorat Jenderal Bina Marga, ²⁾Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
¹⁾Jl. Patimura No.20 Jakarta 12110, ²⁾Jl A.H Nasution No. 264 Bandung 40294
e-mail: ¹⁾nyoman.suaryana@pusjatan.pu.go.id, ²⁾silvester.fransisko@pusjatan.pu.go.id
Diterima: 20 Maret 2019; direvisi: 28 Mei 2019 ; disetujui: 20 Juni 2019

ABSTRAK

Material lokal berupa campuran pasir dan batu atau yang sering dikenal dengan istilah sirtu, termasuk sirtu batu kapur atau batu karang banyak dijumpai di Indonesia yang pada saat ini umumnya tidak dapat digunakan secara langsung untuk lapis fondasi perkerasan jalan karena kualitasnya rendah (substandar). Pemanfaatan material lokal tersebut untuk lapis fondasi perkerasan jalan sangat penting terutama pada daerah-daerah terluar dan terpencil yang tidak mempunyai sumber material berkualitas sesuai yang ditentukan dalam spesifikasi, seperti di perbatasan NTT – Timor Leste, Trans Papua dan Kabupaten Kepulauan Talaud Provinsi Sulawesi Utara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh stabilisasi dengan semen untuk mengoptimalkan kekuatan material lokal substandar. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental melalui pengujian di laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa stabilisasi material lokal substandar dengan semen dapat menghasilkan nilai kekuatan tekan yang cukup tinggi. Nilai kekuatan tekan semakin tinggi sesuai dengan meningkatnya persentase kadar semen yang digunakan. Mengacu pada nilai kekuatan tekan yang dihasilkan (umumnya 24-40 kg/cm²) maka material lokal substandar dapat digunakan untuk lapis fondasi perkerasan jalan, dan untuk pemanfaatan atau penerapannya di lapangan, diperlukan spesifikasi sebagaimana yang direkomendasikan berdasarkan hasil penelitian ini

Kata Kunci: lapis fondasi jalan, material lokal substandar, sirtu, stabilisasi dengan semen, kekuatan tekan

ABSTRACT

Local material in the form of a mixture of sand and stone, including limestone is commonly found in Indonesia which at the moment generally cannot be used directly for pavement foundation because of its low quality (substandard). The use of these local materials for pavement foundation layers is very important, especially in the outermost and remote areas that do not have quality material sources as specified in specifications such as on the NTT - Timor Leste border, Trans Papua and Talaud Islands Regency North Sulawesi Province. This study aims to determine the effect of stabilization with cement to optimize the strength of the local materials. The study was carried out by experimental methods through laboratory testing. The results showed that the stabilization of the local materials with cement can produce a fairly high compressive strength value. The value of compressive strength is higher according to the increasing percentage of cement content used. Referring to the value of the compressive strength produced (in general 24-40 kg/cm²), the local material can be used for the pavement foundation layer, and for the use or application in the field, specifications are needed as recommended by this study.

Key words: pavement foundation layers, substandard local material, sirtu, cement stabilization, compressive strength

PENDAHULUAN

Keberadaan infrastruktur jalan merupakan sarana dan prasarana yang harus disediakan guna menunjang seluruh aktivitas masyarakat. Di beberapa daerah, khususnya di daerah-daerah terluar dan terpencil atau perbatasan, ketersediaan sarana dan prasarana infrastruktur jalan masih sangat terbatas sehingga sulit dijangkau (terisolir) dan sulit untuk berkembang karena tidak memiliki keterkaitan sosial maupun ekonomi dengan wilayah lainnya. Atas dasar itu maka pembangunan infrastruktur jalan di daerah-daerah terluar dan terpencil atau perbatasan merupakan salah satu program prioritas pemerintah saat ini dalam mewujudkan visi dan misinya. Namun dalam perjalanannya dihadapkan berbagai kendala antara lain terbatasnya ketersediaan material jalan berkualitas sesuai spesifikasi. Sehingga di daerah-daerah tersebut, untuk pembangunan infrastruktur jalan membutuhkan biaya yang tinggi karena harus mendatangkan material berkualitas dari daerah-daerah lainnya.

Di daerah-daerah tersebut, sebenarnya tersedia cukup banyak material lokal seperti material berbutir berupa campuran material pasir dan batu (sirtu) dan material batu kapur atau batu karang namun belum dapat dimanfaatkan secara optimal untuk perkerasan jalan oleh karena tidak memenuhi persyaratan spesifikasi atau sering dikenal dengan istilah material lokal substandar. Hal tersebut mendorong berbagai pihak, khususnya Pusat Litbang Jalan dan Jembatan untuk melakukan penelitian atau kajian dalam rangka upaya pemanfaatan material lokal tersebut untuk perkerasan jalan.

Makalah ini menyajikan hasil penelitian laboratorium stabilisasi material lokal dengan semen untuk lapis fondasi. Adapun material lokal yang digunakan dalam penelitian adalah material berbutir berupa campuran pasir dan batu (sirtu), termasuk sirtu batu kapur/karang yang diambil dari beberapa lokasi sumber material di sekitar Perbatasan NTT dengan Timor Leste, Trans Papua, Kabupaten Kepulauan Talaud Provinsi Sulawesi Utara. Selain itu, berdasarkan hasil pengujian laboratorium tersebut disajikan spesifikasi lapis fondasi semen dengan material lokal yang direkomendasikan, khususnya persyaratan material lokal dan kekuatan campuran material lokal dengan semen yang harus dicapai.

KAJIAN PUSTAKA

Umum

Untuk perkerasan lentur, lapis fondasi adalah lapis material yang dihamparkan di atas lapis tanah dasar dan telah dipadatkan. Lapis fondasi berfungsi sebagai lapis perkerasan yang menerima dan menyebarkan beban lalu lintas ke lapisan di bawahnya dan sebagai bantalan untuk lapis permukaan. Untuk memenuhi fungsinya tersebut maka lapis fondasi harus kuat dan tahan lama, dalam arti material yang digunakan harus yang berkualitas sesuai yang ditentukan dalam spesifikasi.

Material Lokal Substandar dan Metode Pemanfaatannya untuk Lapis Fondasi Perkerasan Jalan

Dalam pekerjaan jalan, istilah material lokal adalah material yang dapat ditemukan dengan mudah dalam jumlah besar di lokasi sekitar pekerjaan jalan tersebut yang masih bersifat alamiah. Material lokal dapat berupa: (1) batuan dasar yang terbuka atau dekat permukaan yang dapat dihancurkan, dan (2) endapan pasir dan batu (kerikil) dengan atau tanpa mengandung material halus. Umumnya material lokal tersebut tidak dapat digunakan sebagai material lapis fondasi disebabkan karena memiliki salah satu sifat atau lebih yang tidak memenuhi persyaratan sebagaimana ditetapkan dalam standar atau spesifikasi, yang sering dikenal dengan istilah material lokal substandar. Akan tetapi oleh karena di beberapa daerah, ketersediaan material berkualitas sesuai yang ditetapkan dalam standar atau spesifikasi sangat terbatas sehingga harus mendatangkan material dari daerah lainnya dan pada akhirnya berdampak pada kebutuhan biaya yang sangat tinggi maka diperlukan upaya agar material lokal substandar tersebut dapat dimanfaatkan secara optimal.

Dua pendekatan atau metode yang umum digunakan untuk pemanfaatan material lokal substandar sebagai material lapis fondasi, yaitu (1) melakukan desain struktural perkerasan sesuai kondisi setempat, misalkan ketersediaan material, kondisi lalu lintas dan cuaca, (2) melakukan perbaikan sifat dan karakteristik kekuatan material (stabilisasi) agar sesuai standar atau spesifikasi. Kombinasi dari kedua metode tersebut juga dapat diterapkan. Dengan desain struktural yang sesuai dan/atau stabilisasi,

banyak material lokal substandar dapat berfungsi secara memadai untuk jalan volume rendah (Gautam, Yuan, and Nazarian 2010). Penggunaan material lokal substandar tersebut harus mampu menghasilkan lapis fondasi berbiaya rendah untuk jalan-jalan lalu lintas yang rendah tetapi beban gandar yang tinggi (Gautam, Yuan, and Nazarian 2010). Dengan desain struktural yang sesuai, penggunaan material alam lokal dapat memainkan peran penting dalam hal penghematan biaya, kinerja perkerasan, manajemen sumber daya dan perlindungan lingkungan (Gautam, Yuan, and Nazarian 2010).

Pemanfaatan Material Lokal Substandar A

Secara umum, metode stabilisasi material lokal dikelompokkan menjadi beberapa kategori, salah satu diantaranya adalah stabilisasi dengan menggunakan bahan kimia atau disingkat menjadi stabilisasi kimia (*chemical stabilization*), yaitu proses pencampuran material lokal dengan bahan kimia, selanjutnya dipadatkan pada kadar air tertentu untuk menghasilkan kepadatan sesuai yang diperlukan. Pada metode ini, penggunaan bahan kimia diharapkan mampu mengubah sifat kimia material lokal untuk menghasilkan suatu material dengan sifat teknik sesuai yang ditentukan.

Menurut Austroads (1989), pemilihan jenis bahan stabilisasi tergantung pada kandungan material halus (lolos ayakan 0,075 mm) dan indeks plastisitas (*PI*) material yang akan distabilisasi. Berdasarkan kedua parameter ini, stabilisasi dengan semen sangat cocok untuk material lolos ayakan 0,075 mm kurang atau sama dengan 25% dan $PI \leq 10$, dan dengan mempertimbangkan faktor lingkungan. Untuk daerah basah, dimana kadar air material perkerasan cukup tinggi, maka sangat penting untuk menjamin bahwa kekuatan basah (kekuatan dalam keadaan basah) dari material yang telah distabilisasi harus masih tetap tinggi.

Stabilisasi Material Lokal dengan Semen

Semen merupakan salah satu jenis bahan stabilisasi yang umum digunakan untuk memperbaiki sifat dan karakteristik material lokal. Selain karena relatif mudah diperoleh (tersedia hampir di setiap daerah), semen juga dapat digunakan untuk hampir semua jenis material lokal, kecuali material tanah organik

dan mengandung sulfat (Kestler 2009) atau material dengan nilai $pH < 5,3$ (ACI 1990).

Beberapa hasil penelitian memperlihatkan bahwa material berbutir kasar dan berbutir halus (lempung) berplastisitas rendah lebih cocok untuk distabilisasi dengan semen (Prusinski and Bhattacharja 1999).

Sesuai Muhunthan dan Sariosseiri (2008), baik untuk material berbutir kasar maupun material berbutir halus, kekuatan tekan bebas (*unconfined compressive strength, UCS*) meningkat sesuai meningkatnya persentase kadar semen. Peningkatan *UCS* (dalam psi) bervariasi dari 40 kali kadar semen untuk material berbutir halus, dan sampai 150 kali kadar semen untuk material berbutir kasar. Selain itu, *UCS* meningkat sesuai meningkatnya *curing time*. Untuk material berbutir kasar, peningkatan *curing time* mampu meningkatkan *UCS* secara cukup signifikan. Sesuai Muhunthan dan Sariosseiri (2008), untuk material yang menurut USCS diklasifikasikan sebagai lanau berplastisitas rendah (ML), pasir-lanau bergradasi buruk (SP-SM) dan lanau-lempung berplastisitas rendah (ML-CL), stabilisasi dengan semen mampu meningkatkan *UCS*, baik untuk benda uji tanpa direndam dalam air (*unsoaked samples*) maupun setelah direndam dalam air (*soaked samples*). Fransisko dan Nono (2017) menunjukkan bahwa stabilisasi material lokal dari Dagemon dan Agham Kabupaten Mappi Provinsi Papua yang diklasifikasikan sebagai material pasir halus (A-2-4/SM) dapat meningkatkan *UCS* dan *CBR* (*California Bearing Ratio*). Masih menurut Fransisko dan Nono (2017), stabilisasi material sirtu batu kapur dari Ayamaru, Kambuaya, Kumurkek, Patah Hati dan Moswaren Kabupaten Maybrat Provinsi Papua dengan semen, dapat meningkatkan *UCS*.

Dengan stabilisasi menggunakan semen, material-material lokal batu kapur di Texas (Abilene, Brownwood, El Paso, Lubbock dan San Angelo) dapat digunakan sebagai material lapis fondasi (Gautam, Yuan, and Nazarian 2010).

Kriteria utama untuk menilai kualitas material lapis fondasi perkerasan lentur yang distabilisasi dengan semen adalah kekuatan tekan. Bina Marga (2018) menetapkan persyaratan kekuatan tekan untuk lapis fondasi agregat semen (*Cement Treated Base, CTB* dan *Surface Treatment Stabilized Base, STSB*),

masing-masing sebesar 45-55 kg/cm² dan 35-45 kg/cm². Menurut Halsted, Luhr, and Adaska (2006), material yang digunakan untuk lapis fondasi semen CTB tidak boleh mengandung akar, tanah penutup, atau bahan apa pun yang merusak reaksi dengan semen, dan diproses sedemikian rupa sehingga 100% melewati ayakan 3 inci (75 mm), setidaknya 95% melewati ayakan 2 inci (50 mm) dan 55% melewati ayakan No. 4 (4,75 mm), dan dengan kekuatan tekan CTB pada umur 7 hari antara 21-55 kg/cm² (2,1-5,5 MPa). Untuk jalan lalu lintas

ringan (*light traffic*), Ingles and Metcalf (1972) merekomendasikan nilai kekuatan tekan berada pada kisaran 7 kg/cm² dan 14 kg/cm².

Dalam rangka menentukan jumlah semen yang diperlukan untuk menghasilkan kekuatan tekan sesuai persyaratan, diperlukan desain (pengujian atau percobaan) di laboratorium dengan perkiraan awal kadar semen direkomendasikan mengacu pada Tabel 1 (PCA 1992).

Tabel 1. Perkiraan persentase kadar semen yang diperlukan

| Klasifikasi Tanah sesuai AASHTO | Rentang Umum Kadar Semen, % terhadap Berat Kering Tanah | Perkiraan Kadar Semen untuk Pengujian Pematatan |
|---------------------------------|---|---|
| A-1.a | 3-8 | 5 |
| A-1.b | 5-8 | 6 |
| A-2 | 5-9 | 7 |
| A-3 | 7-11 | 9 |
| A-4 | 7-12 | 10 |
| A-5 | 8-13 | 10 |
| A-6 | 9-15 | 12 |
| A-7 | 10-16 | 13 |

HIPOTESIS

Stabilisasi material lokal dengan semen dapat mengoptimalkan kekuatan tekan yang cukup tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai material lapis fondasi perkerasan jalan.

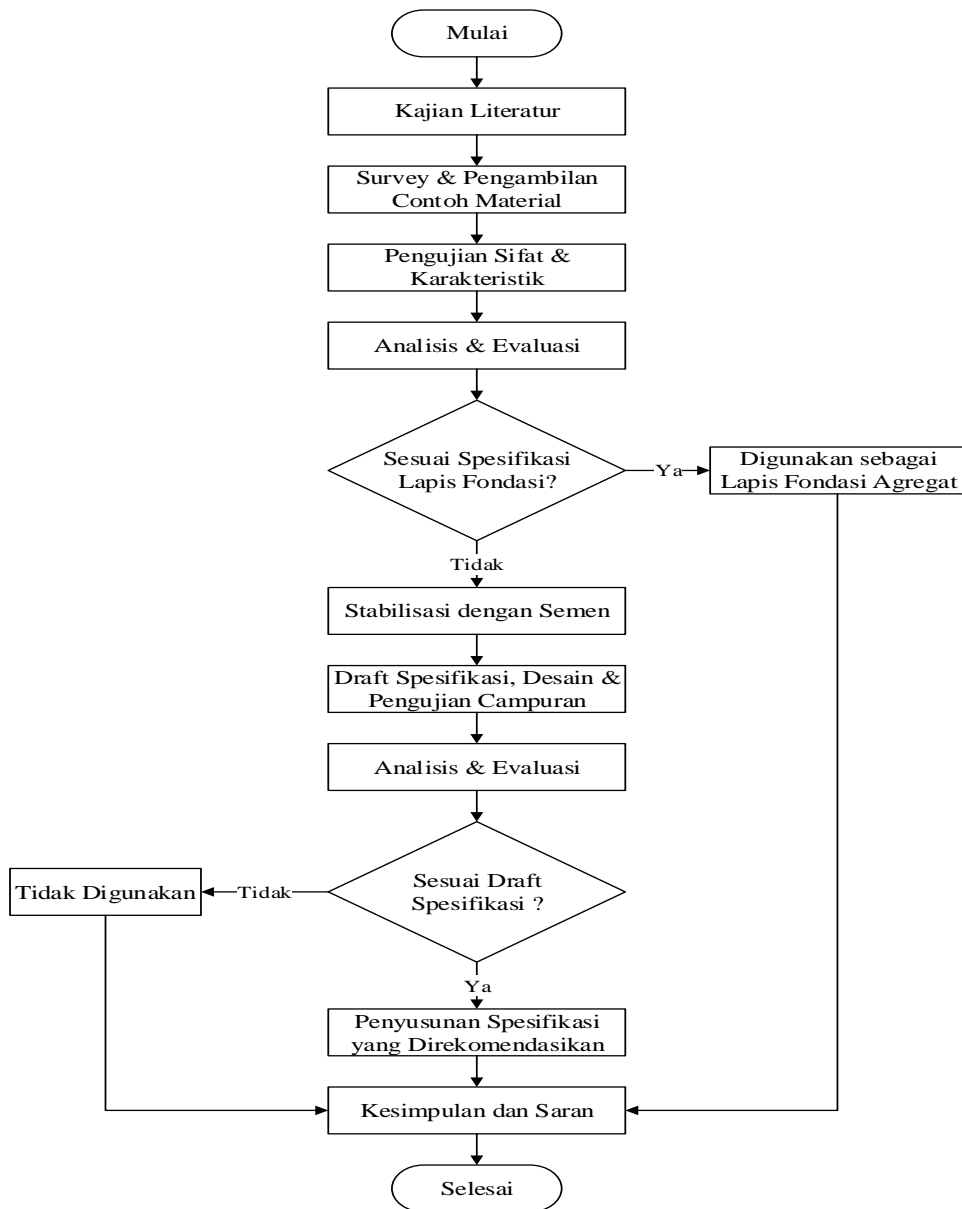
METODOLOGI

Penelitian stabilisasi material lokal dengan semen ini menggunakan metode eksperimen, lihat Gambar 1, meliputi studi literatur, pengambilan contoh material dan dilanjutkan dengan pengujian sifat dan karakteristik material lokal di laboratorium. Hasil pengujian dianalisis untuk menentukan apakah material lokal dapat digunakan sebagai material lapis fondasi perkerasan jalan, yaitu dengan membandingkan sifat dan karakteristik material lokal dengan persyaratan Spesifikasi Umum 2018 Seksi 5.1. Apabila tidak memenuhi persyaratan maka dilakukan stabilisasi menggunakan semen. Untuk stabilisasi dengan semen, pertama-tama ditetapkan kriteria kekuatan tekan yang harus dicapai, dalam hal ini adalah sebesar 25-40 kg/cm² (lebih tinggi dari persyaratan kekuatan lapis fondasi tanah semen dan lebih rendah dari kekuatan lapis fondasi agregat semen sebagaimana ditetapkan dalam

Spesifikasi Umum 2018), selanjutnya dilakukan desain campuran dan pengujian karakteristik kekuatan (pematatan dan kekuatan tekan).

Pengujian pematatan dilakukan dengan cara uji kepadatan berat (*modified proctor*) sesuai dengan SNI 1743-2008 metode D (menggunakan material pengganti untuk material tertahan ayakan 19,0 mm), dan untuk pengujian kekuatan tekan, benda uji dipersiapkan sesuai SNI 1743-2008 metode D dan dipadatkan di dalam cetakan silinder berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm menggunakan alat penumbuk dengan berat 4,5 kg. Pematatan dilakukan dalam 5 lapis dengan jumlah tumbukan per lapis 145 kali. Setelah pematatan, benda uji dirawat (*cured*) selama 7 hari, selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan sesuai SNI 1974:2011.

Hasil pengujian dianalisis untuk menentukan pengaruh semen terhadap kekuatan tekan dan dibandingkan dengan kriteria kekuatan tekan yang telah ditetapkan. Apabila memenuhi persyaratan, kriteria kekuatan tekan yang telah ditetapkan sebelumnya direkomendasikan untuk digunakan dan dilengkapi dengan persyaratan material dan lain-lain yang diperlukan.



Gambar 1. Bagan alir kegiatan penelitian

HASIL DAN ANALISIS

Lokasi Sumber Material

Dalam penelitian ini, material yang digunakan adalah material berupa campuran pasir dan batu (sirtu), termasuk sirtu batu kapur yang berasal dari beberapa lokasi di sekitar

perbatasan NTT – Timor Leste, Trans Papua Kabupaten Boven Digoel Provinsi Papua dan Kabupaten Sorong Provinsi Papua Barat, dan dari Miangas dan Karakelang Kabupaten Kepulauan Talaud Provinsi Sulawesi Utara. Lokasi dan jenis material ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Lokasi sumber dan jenis material

| No. | Lokasi | | | Jenis Material |
|-----|---------------------------------|------------------------------|------|--|
| | Kabupaten/Provinsi | Nama | Kode | |
| 1 | Malaka/NTT | Babulu | BBL | Campuran pasir dan batu (sirtu) kali |
| 2 | Belu/NTT | Loo Keu | LKU | Campuran pasir dan batu (sirtu), batu kapur |
| 3 | Boven Digoel/Papua | Ruas | MTM | Campuran pasir dan batu (sirtu) |
| | | Merauke – Tanah Merah KM 373 | | |
| 4 | Boven Digoel/Papua | Wet, Tanah Merah | WTM | Campuran pasir dan batu (sirtu) |
| 5 | Sorong/Papua Barat | Bengkete KM 40 | BKT | Campuran pasir dan batu (sirtu) |
| 6 | Sorong/Papua Barat | Dela KM 84 | DLA | Campuran pasir dan batu (sirtu) |
| 7 | Kepulauan Talaud/Sulawesi Utara | Miangas | MGS | Campuran pasir dan batu (sirtu) |
| 8 | Kepulauan Talaud/Sulawesi Utara | Beo, Karakelang | BEO | Campuran pasir dan batu (sirtu), batu kapur |
| 9 | Kepulauan Talaud/Sulawesi Utara | Bulude, Karakelang | BLD | Campuran pasir dan batu (sirtu), batu kapur/karang |
| 10 | Kepulauan Talaud/Sulawesi Utara | Mamahan, Karakelang | MMH | Campuran pasir dan batu (sirtu), batu kapur/karang |

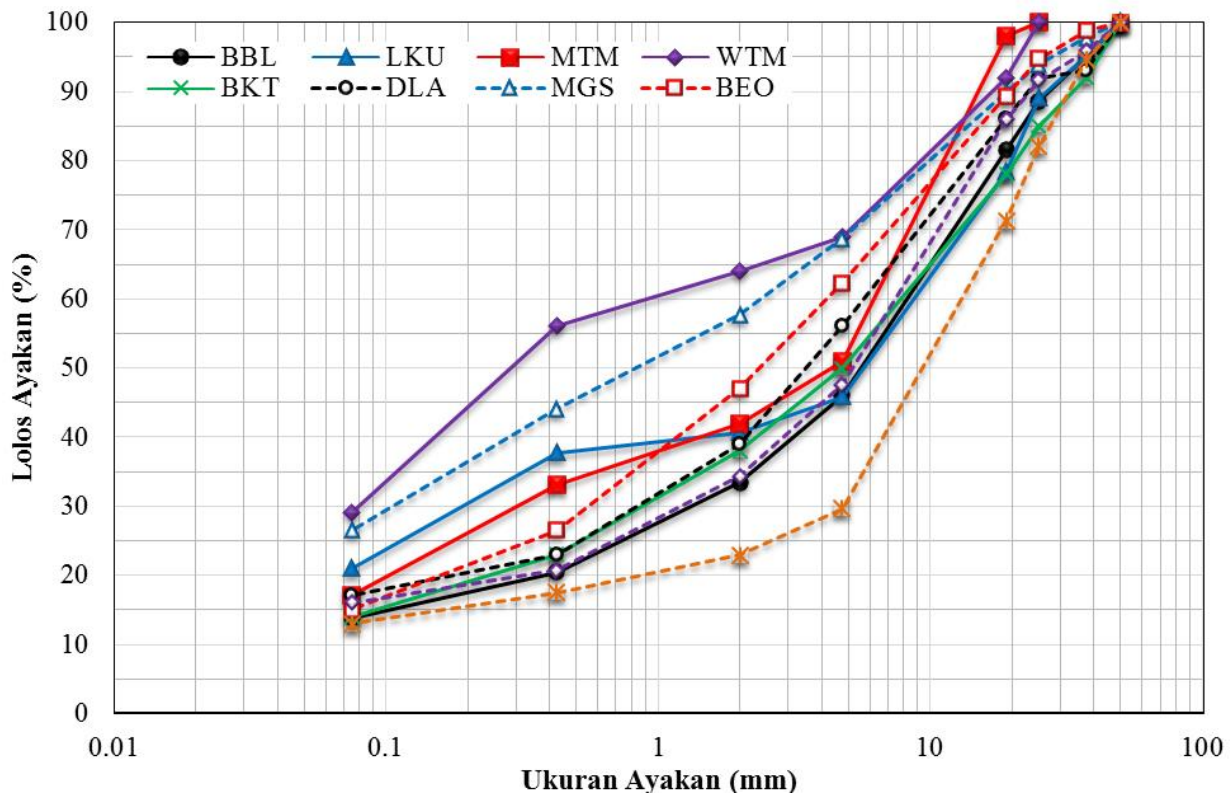
Sifat dan Karakteristik Kekuatan/Daya Dukung Material Lokal

Hasil pengujian laboratorium sifat dan karakteristik kekuatan atau daya dukung material, mencakup batas cair (*LL*), batas plastis (*PL*) dan *PI*, gradasi, karakteristik pemadatan dan *CBR* setelah direndam selama 4 hari (*soaked CBR*) ditunjukkan pada Tabel 3. Gradasi (distribusi ukuran butir) material ditunjukkan pada Gambar 2. Mengacu pada klasifikasi sesuai AASHTO M-145-87(1990), material-material lokal yang digunakan termasuk kelompok material berbutir kasar dengan jumlah material

halus (lolos ayakan 0,074 mm) kurang dari 35% dan dengan sifat plastisitas material lolos ayakan 0,425 mm yang rendah ($PI < 15\%$) sampai non plastis. Dibandingkan dengan persyaratan Spesifikasi Umum 2018 Seksi 5.1, material-material lokal tersebut dikategorikan sebagai material lokal substandar, antara lain disebabkan sifat plastisitas (*PI*), material halus (lolos ayakan 0,075 mm) dan/atau *soaked CBR* tidak memenuhi persyaratan, dengan demikian material-material tersebut tidak dapat digunakan secara langsung sebagai material lapis fondasi.

Tabel 3. Hasil pengujian laboratorium sifat dan karakteristik material

| No. | Lokasi | Batas Atterberg | | | Gradasi, % | | | Klasifikasi AASHTO | OMC, % | MDD, g/cm ³ | Soaked CBR, % |
|-----|--------|-----------------|-------|-------|------------|-------|----------------|--------------------|--------|------------------------|---------------|
| | | LL, % | PL, % | PI, % | Kerikil | Pasir | Material halus | | | | |
| 1 | BBL | | NP | | 54 | 32 | 14 | A-1-a | 6,85 | 2,162 | 36 |
| 2 | LKU | 28 | 16 | 12 | 54 | 25 | 21 | A-2-6 | 8,50 | 2,000 | 34 |
| 3 | MTM | 26 | 18 | 8 | 49 | 34 | 17 | A-2-4 | | | |
| 4 | WTM | | NP | | 31 | 40 | 29 | A-2-4 | | | |
| 5 | BKT | | NP | | 50 | 36 | 14 | A-1-a | 11,90 | 1,943 | 74 |
| 6 | DLA | 33 | 21 | 12 | 44 | 39 | 17 | A-2-6 | 8,70 | 2,086 | 73 |
| 7 | MGS | | NP | | 31 | 42 | 27 | A-2-4 | 16,50 | 1,753 | 12 |
| 8 | BEO | 29 | 24 | 5 | 38 | 47 | 15 | A-2-4 | | | |
| 9 | BLD | | NP | | 52 | 32 | 16 | A-1-b | | | |
| 10 | MMH | | NP | | 70 | 17 | 13 | A-1-a | | | |



Gambar 2. Gradasi material

Karakteristik Kekuatan Stabilisasi Material Lokal dengan Semen

Karakteristik kekuatan stabilisasi material lokal dengan semen dinyatakan dengan karakteristik pemadatan (*Optimum Moisture Content, OMC* dan *Maximum Dry Density, MDD*) dan kekuatan tekan. Karakteristik pemadatan stabilisasi material lokal dengan semen digunakan sebagai acuan dalam mempersiapkan atau memadatkan contoh uji kekuatan tekan. Untuk pengujian pemadatan tersebut, material dipersiapkan dan diuji sesuai SNI 1743:2008 Metode D (menggunakan material pengganti untuk material tertahan ayakan 19,0 mm (3/4 in). Semen yang digunakan adalah jenis *Portland Composite Cement (PCC)*. Pengujian pemadatan hanya dilakukan untuk campuran dengan kadar semen sesuai perkiraan awal, lihat Tabel 1. Hasil pengujian pemadatan ditunjukkan pada Tabel 4.

Pengujian kekuatan tekan dilakukan pada campuran dengan persentase kadar semen (*PCC*) yang bervariasi 3%-9% terhadap berat kering

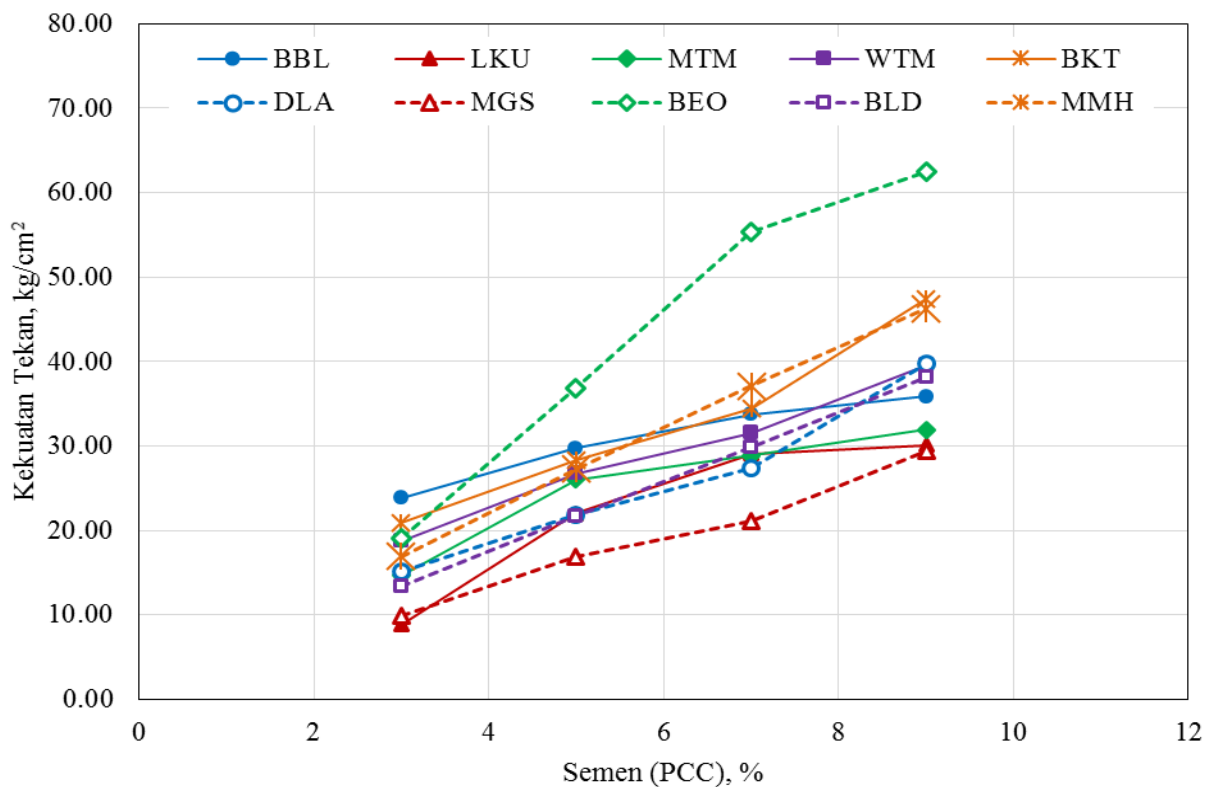
oven material. Untuk pengujian kekuatan tekan tersebut, campuran dipadatkan pada kadar air optimum sesuai hasil pengujian pemadatan campuran dengan kadar semen sesuai perkiraan awal, di dalam sebuah cetakan silinder berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm menggunakan alat penumbuk berat 4,5 kg dan tinggi jatuh bebas 45 cm. Pemadatan dilakukan dalam 5 lapis dengan jumlah tumbukan per lapis sebanyak 145 kali. Pengujian kekuatan tekan dilakukan setelah benda uji diperam (*cured*) selama 7 hari dalam ruangan lembab. Hasil pengujian kuat tekan ditunjukkan pada Tabel 5. Terlihat bahwa stabilisasi material lokal dengan 3% semen dapat menghasilkan kuat tekan yang bervariasi sesuai jenis material lokal yang tersedia, yaitu sekitar 8,85 kg/cm³ untuk material lokal LKU sampai 23,85 kg/cm³ untuk material lokal BBL. Untuk setiap jenis material lokal, kekuatan tekan meningkat sesuai meningkatnya persentase kadar semen. Pengaruh semen terhadap kekuatan tekan diilustrasikan pada Gambar 3.

Tabel 4. Hasil pengujian pematatan stabilisasi dengan semen

| No. | Lokasi | Klasifikasi AASHTO | PCC (%) sesuai Perkiraan Awal | OMC, % | MDD, g/cm ³ |
|-----|--------|--------------------|-------------------------------|--------|------------------------|
| 1 | BBL | A-1-a | 5 | 6,80 | 2,175 |
| 2 | LKU | A-2-6 | 7 | 7,80 | 2,027 |
| 3 | MTM | A-2-4 | 7 | 8,20 | 2,088 |
| 4 | WTM | A-2-4 | 7 | 9,90 | 1,970 |
| 5 | BKT | A-1-a | 5 | 10,40 | 1,965 |
| 6 | DLA | A-2-6 | 7 | 9,40 | 2,055 |
| 7 | MGS | A-2-4 | 7 | 17,60 | 1,738 |
| 8 | BEO | A-2-4 | 7 | 10,20 | 2,012 |
| 9 | BLD | A-1-b | 6 | 9,60 | 2,000 |
| 10 | MMH | A-1-a | 5 | 9,60 | 2,008 |

Tabel 5. Hasil pengujian kekuatan tekan dengan stabilisasi semen

| No. | Lokasi | Klasifikasi AASHTO | Kekuatan Tekan (Umur 7 hari), kg/cm ² | | | |
|-----|--------|--------------------|--|--------|--------|--------|
| | | | 3% PCC | 5% PCC | 7% PCC | 9% PCC |
| 1 | BBL | A-1-a | 23,85 | 29,75 | 33,75 | 35,85 |
| 2 | LKU | A-2-6 | 8,85 | 22,00 | 29,05 | 30,10 |
| 3 | MTM | A-2-4 | 14,65 | 26,05 | 28,85 | 31,90 |
| 4 | WTM | A-2-4 | 18,75 | 26,75 | 31,55 | 39,60 |
| 5 | BKT | A-1-a | 20,95 | 28,30 | 34,50 | 47,45 |
| 6 | DLA | A-2-6 | 15,15 | 21,80 | 27,35 | 39,70 |
| 7 | MGS | A-2-4 | 9,90 | 16,85 | 21,05 | 29,35 |
| 8 | BEO | A-2-4 | 19,00 | 36,90 | 55,40 | 62,45 |
| 9 | BLD | A-1-b | 13,45 | 21,65 | 29,85 | 38,10 |
| 10 | MMH | A-1-a | 16,90 | 27,30 | 37,10 | 46,30 |



Gambar 3. Pengaruh semen terhadap kekuatan tekan

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian sebagaimana diuraikan sebelumnya, material-material lokal yang digunakan dikategorikan sebagai material lokal substandar, antara lain disebabkan bentuk butir, sifat plastisitas, gradasi dan/atau *soaked CBR* material tidak memenuhi persyaratan lapis fondasi agregat sebagaimana ditetapkan dalam Spesifikasi Umum 2018 Seksi 5.1.

Stabilisasi material-material lokal substandar dengan semen dapat menghasilkan kekuatan tekan yang cukup tinggi. Kekuatan tekan meningkat sesuai meningkatnya persentase kadar semen yang digunakan. Berdasarkan hasil pengujian kekuatan tekan tersebut, stabilisasi dengan semen untuk pemanfaatan material lokal sebagai material

lapis fondasi dapat diterapkan, dapat menghasilkan kekuatan tekan yang umumnya sesuai kriteria yang telah ditetapkan sebelumnya, yaitu sebesar 24-40 kg/cm², masing-masing pada rentang kadar semen seperti ditunjukkan pada Tabel 6.

Dengan mempertimbangkan sifat dan karakteristik material lokal dan karakteristik kekuatan tekan stabilisasi dengan semen yang dapat dicapai maupun berdasarkan hasil kajian literatur maka ditetapkan kriteria atau spesifikasi untuk pemanfaatan material lokal tersebut sebagai material lapis fondasi perkerasan jalan, khususnya sifat material lokal dan rentang kadar semen yang diperlukan, dan kekuatan yang harus dicapai, lihat Tabel 7.

Tabel 6. Rentang kadar semen yang diperlukan untuk menghasilkan kekuatan tekan sesuai yang ditetapkan

| No. | Lokasi | Klasifikasi AASHTO | Kriteria Kekuatan Tekan, kg/cm ² | Rentang Kadar Semen (PCC), % |
|-----|--------|--------------------|---|------------------------------|
| 1 | BBL | A-1-a | 24-40 | 3,10-9,00 |
| 2 | LKU | A-2-6 | 24-40 | 5,45-9,00 |
| 3 | MTM | A-2-4 | 24-40 | 4,85-9,00 |
| 4 | WTM | A-2-4 | 24-40 | 4,50-9,00 |
| 5 | BKT | A-1-a | 24-40 | 4,10-7,80 |
| 6 | DLA | A-2-6 | 24-40 | 6,00-9,00 |
| 7 | MGS | A-2-4 | 24-40 | 7,60-9,00 |
| 8 | BEO | A-2-4 | 24-40 | 3,55-5,10 |
| 9 | BLD | A-1-b | 24-40 | 5,60-9,00 |
| 10 | MMH | A-1-a | 24-40 | 4,40-7,65 |

Tabel 7. Rekomendasi persyaratan sifat material dan kekuatan tekan lapis fondasi semen dengan material alam lokal

| No. | Sifat Material Lokal dan Kekuatan Lapis Fondasi Semen dengan Material Alam Lokal | Persyaratan |
|-----|--|--------------------------|
| 1 | Indeks plastisitas material alam lokal (<i>PI</i>) | ≤ 15% |
| 2 | Ukuran butir maksimum material alam lokal | 37,5 mm |
| 3 | Lolos ayakan 0,075 mm (No. 200) material alam lokal | ≤ 35% |
| 4 | Kekuatan tekan lapis fondasi semen dengan material alam lokal | 25-40 kg/cm ² |

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pada lapis fondasi perkerasan lentur, material lokal umumnya dikategorikan sebagai material substandar, antara lain karena bentuk butir, sifat plastisitas, gradasi dan/atau *soaked CBR* tidak memenuhi persyaratan sebagaimana ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Seksi 5.1.

Stabilisasi material lokal dengan semen dapat menghasilkan kekuatan tekan yang optimal. Kekuatan tekan yang dihasilkan semakin tinggi sesuai meningkatnya persentase

kadar semen yang digunakan. Kriteria kekuatan tekan 24-40 kg/cm² pada umumnya dapat dicapai dengan rentang kadar semen dari 3-9 %.

Saran

Perlu dikembangkan pedoman yang mencakup metoda perencanaan dan pelaksanaan untuk lapis fondasi material lokal dengan stabilisasi semen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami tujukan kepada Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yang telah memfasilitasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute (ACI). 1990. "State-of-the-Art Report on Soil Cement." *ACI Material Journal* 87 (4).
<https://www.wsdot.wa.gov/research/reports/.../715.1.pdf>.
- Austroroads. 1998. *Guide to Stabilisation in Roadworks*. Sydney: Austroroads Incorporated.
- Direktorat Jenderal Bina Marga (DJBMM). 2018. *Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*. Indonesia.
- Fransisko, S. dan Nono. 2017. *Pemanfaatan Material Lokal Kabupaten Merauke dan Mappi Provinsi Papua, dan Kabupaten Maybrat Provinsi Papua Barat*. Naskah Ilmiah. Editor Nyoman Suaryana. Cetakan Pertama. Puslitbang Jalan dan Jembatan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Bandung. ISBN: 978-602-51604-0-0
- Gautam, B., Yuan, D. and Nazarian, S. 2010. *Optimum Use of Local Material for Roadway Base and Subbase*. In: CD-ROM of the 89th TRB Annual Meeting.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=20C02B33B680CE607A86C6FC91159F5E?doi=10.1.1.630.617&rep=rep1&type=pdf>.
- Halsted, E.G., Luhr, R.D. and Adaska, S.W. 2006. *Guide to Cement-Treated Base (CTB)*. Washington DC: TRB
<http://secement.org/wp-content/uploads/2017/04/EB236.pdf>
- Ingles, O.G. and Metcalf, J.B. 1973. *Soil Stabilization: Principles and Practice*. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd.
- Kestler, M.A. (2009). *Stabilization Selection Guide for Aggregate- and Native-Surfaced Low-Volume Roads*. National Technology and Development Program of the Forest Services. U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration (FHWA).
<https://www.fs.fed.us/t-d/pubs/pdf/08771805.pdf>.
- Muhunthan, Balasingam and Farid Sariosseiri. 2008. "Interpretation of Geotechnical Properties of Cement Treated Soils." Washington DC.
[https://www.wsdot.wa.gov/research/reports/full reports/71 5.1 .pdf](https://www.wsdot.wa.gov/research/reports/full%20reports/71%205.1.pdf).
- Portland Cement Association (PCA). 1992. *Soil-cement Laboratory Handbook*. EB052.07S. Stokie, Illinois, USA.
- Prusinski, Jan and Sankar Bhattacharja. 1999. "Effectiveness of Portland Cement and Lime in Stabilizing Clay Soils." In *Seventh International Conference on Low-Volume Roads*, 1652:215–27. Washington DC: Transportation Research Board (TRB).
<https://doi.org/https://doi.org/10.3141/1652-28>.