PENGUJIAN MATERIAL LOKAL SEBAGAI BAHAN PERKERASAN JALAN DI PULAU TERPENCIL DAN TERLUAR

LOCAL MATERIAL TESTING FOR PAVEMENT MATERIAL ON REMOTE AND OUTMOST ISLAND

Iwan Susanto^{1,*} dan Nono¹

¹Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jalan A.H. Nasution 264 Ujung Berung, Bandung, Indonesia

*E-mail: iwan.susanto@pusjatan.pu.go.id

ARTICLE INFO

Article history

Received date:

29 September 2017

Received in revised form date:

1 February 2018

Accepted date:

1 February 2018

Available online date:

31 May 2018

Abstract

Road infrastructure development in remote and outmost islands such as Mentawai, Aru, and Morotai faced a problem i.e. difficulty in the availability of standard material. The standard material had to be transported from other areas that taking a long time and high cost of transportation. In fact, the three islands had abundant materials. However, there was no study conducted to examine the properties of the local material. The study aim was to find out the physical properties of pavement material that will be the basis of pavement design. The research began with the selection of material, discussion with experts, coordination with involved parties, site observation, and laboratory test. The analysis of testing result used comparative analysis that compared test result to certain standard. Based on the analysis, local material from Mentawai Islands was suitable for foundation layer with cement stabilization 6%. Coral from Aru Island and limestone from Momotai Island could also be utilized for foundation layer. Limestone from Rau Morotai Island utilized for asphalt mixture. Sand from Aru Island and sea sand from Morotai Island could be used for asphalt mixture and concrete cement mixture.

Keywords: Deposit, Foundation layer, Local material, Standard material, Substandard material

Kata kunci:

Deposit
Lapis fondasi
Material lokal
Material standar
Material substandar

Abstrak

Pembangunan infrastruktur jalan di pulau terluar dan terpencil seperti di Kepulauan Mentawai, Aru, dan Morotai mempunyai permasalahan yaitu sulitnya memperoleh material standar. Pulau-pulau tersebut harus mendatangkan material standar dari pulau lain dengan waktu lama dan biaya transpor yang cukup tinggi. Deposit material lokal di tiga pulau tersebut sangat melimpah, tetapi belum ada kajian terhadap karakteristik material lokal di lokasi tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat fisik material lokal, sebagai dasar untuk menentukan layak atau tidak digunakan sebagai bahan perkerasan jalan. Penelitian diawali dengan pemilihan material yang depositnya melimpah, diskusi dengan pakar, koordinasi pihak terkait, observasi lapangan, dan pengujian laboratorium. Analisis pengujian laboratorium menggunakan teknik perbandingan yaitu membandingkan hasil uji terhadap standar tertentu. Berdasarkan hasil analisis, material lokal, dan substandar dari Kepulauan Mentawai dapat dimanfaatkan sebagai lapis fondasi dengan stabilisasi semen 6%. Material batu karang Kepulauan Aru dan batu gamping Momotai Pulau Morotai juga dapat dimanfaatkan sebagai lapis fondasi. Batu gamping dari daerah Rau Pulau Morotai dapat dimanfaatkan sebagai campuran beraspal. Pasir putih Kepulauan Aru dan pasir dari Pulau Morotai dapat dimanfaatkan menjadi bahan campuran beton semen maupun campuran beraspal.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang mempunyai 17.504 pulau, tetapi selama ini proses pembangunan kurang berorientasi pada kondisi geografis kepulauan (Ismail 2007). Konsep pembangunan menggunakan konsep dari negara dengan wilayah kontinental, sehingga tidak cocok untuk pembangunan di pulau-pulau kecil dan terpencil Indonesia (Nono, Gustini, and Susanto 2017).

Kepulauan Mentawai dari total 728,53 km panjang jalan, hanya 33,35 km yang dalam kondisi baik. Sementara, sisanya dalam kondisi rusak sedang sepanjang 60,39 km dan rusak berat 130,52 km, serta 504,11 km ruas dengan kondisi belum tembus.

Kepulauan Aru sebagian besar wilayahnya sangat terisolasi, baik secara internal maupun eksternal. Kondisi medan yang sangat berat menyebabkan hubungan antar kecamatan dan antara kabupaten dengan kabupaten tetangga serta ibukota provinsi hanya mengandalkan transportasi udara dan laut dengan biaya yang cukup tinggi.

Kabupaten Pulau Morotai terletak di sebelah utara Pulau Halmahera dan termasuk dalam wilayah Provinsi Maluku Utara. Morotai sebagai pulau yang terpisah dari induknya yaitu Pulau Maluku, harus memanfaatkan sumber bahan lokal untuk mempermurah biaya pembangunan infrastruktur jalan (Desriantomy and Rahmani 2011).

Keberadaan infrastruktur jalan di pulau terluar dan terpencil seperti Kepulauan Mentawai, Aru, dan Pulau Morotai merupakan sarana dan prasarana mutlak yang harus disediakan guna menunjang seluruh aktivitas masyarakat, baik ekonomi, sosial, pendidikan, pariwisata, maupun kesehatan. Namun, kini masih terdapat pulau-pulau kecil di Indonesia yang masih

sulit dijangkau oleh akses perhubungan karena letaknya yang terisolasi dan jauh dari pulau induk. Minimnya jaringan jalan, terbatasnya angkutan perhubungan darat dan laut, hingga tidak tersedianya akses pendidikan, kesehatan, dan kebersihan adalah hal yang menjadi pangkal masalah di perbatasan. Kebutuhan bahan jalan untuk campuran beraspal, campuran beton semen, dan lapis fondasi di seluruh wilayah terus meningkat, sementara ketersediaan akan sumber bahan, khususnya agregat standar semakin terbatas. Bahkan di pulau terluar dan terpencil tidak atau sulit ditemukan material standar sehingga harus mendatangkannya dari daerah atau pulau lain yang memerlukan waktu lama dan biaya transpor yang cukup tinggi (Lake, Conterius, and Daud 2017).

Pada penerapan konsep pembangunan jalan, tuntutan penggunaan material lokal yang memenuhi spesifikasi teknis merupakan tantangan tersendiri dalam menciptakan inovasi-inovasi komposisi modifikasi material lokal dengan material lain di luar wilayah kerja (Mulyono 2007). Namun keterbatasan alat uji mutu di daerah terpencil menjadi kendala untuk mengetahui spesifikasi material lokal (Andriyanto 2005). Agregat merupakan komponen utama lapisan perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat terhadap berat atau 75-85% terhadap volume campuran (Rondonuwu 2013). Pemanfaatan material lokal seperti batu karang, batu gamping, dan pasir laut di pulau terluar dan terpencil seperti di Kepulauan Mentawai, Aru, dan Pulau Morotai dapat digunakan sebagai suatu alternatif untuk mengatasi masalah pembangunan jalan di tiga lokasi tersebut. Pembangunan infrastruktur jalan di tiga lokasi tersebut mempunyai masalah utama yaitu mahal biaya yang dibutuhkan, karena material standar harus didatangkan dari luar pulau dengan menggunakan kapal laut. Sebagai contoh, seluruh bahan

perkerasan jalan di Kepulauan Mentawai, baik bahan pengikat, agregat kasar, dan agregat halus didatangkan dari Kota Padang. Kepulauan Aru dan Pulau Morotai material perkerasan jalan diperoleh dari Kota Palu. Selain biaya yang berlipat dan waktu pengiriman yang lama, juga tidak ada keuntungan finansial bagi masyarakat menjadi kendala dalam pembangunan infrastruktur jalan di tiga lokasi tersebut. Di sisi lain, terdapat deposit yang melimpah berupa batu kapur, batu karang, dan pasir laut di Kepulauan Mentawai, Aru, dan Pulau Morotai. Hal yang menjadi permasalahan adalah material di tiga lokasi tersebut belum diketahui kualitas/mutu bahan, apakah sesuai dengan spesifikasi (material standar) atau di bawah standar (substandar). Menyadari pentingnya peran jalan dan penurunan ketersediaan agregat standar, maka perlu dilakukan penelitian dan pengembangan teknologi pemanfaatan material lokal dan/atau substandar. Material lokal di sini adalah bahan yang terdapat di suatu daerah yang umumnya tidak memenuhi persyaratan standar (substandar) yang sudah baku, sehingga apabila bahan tersebut layak untuk digunakan sebagai bahan jalan, perlu ada kajian yang memungkinkan untuk dibuat suatu acuan yang dibakukan (Widajat 2010). Agregat substandar adalah agregat yang tidak memenuhi sifat yang disyaratkan dalam spesifikasi jalan namun masih dapat dimanfaatkan dengan melakukan modifikasi (Adithya 2016). Terkait hal tersebut, pengembangan teknologi pemanfaatan bahan lokal dan substandar pada penelitian ini mencakup pemanfaatan batu karang atau kapur dan pasir laut, baik untuk lapis permukaan jalan (campuran beraspal dan campuran beton semen) dan fondasi jalan (tanpa dan dengan yang distabilisasi semen) untuk perkerasan jalan dengan lalu lintas rendah.

Kondisi geologi di Kepulauan Mentawai, Aru, dan Pulau Morotai merupakan sumber data yang digunakan untuk mengetahui jenis batuan dan deposit material di tiga lokasi tersebut. Berdasarkan Peta Geologi yang disusun oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, kawasan Kepulauan Mentawai didominasi oleh batuan sedimen yaitu kerikil, kerakal, dan bongkahan hasil dari pelapukan batuan yang telah tua. Jenis formasi batuan yang ada di Kepulauan Mentawai adalah sesuai dengan Tabel 1.

Tabel 1. Formasi batuan Kepulauan Mentawai

Formasi	Luas (Ha)	%
Aluvium	2.075,28	1,26
Limestone	6.075,36	3,69
Simatubat	12.968,19	7,88
Batumonga	18.133,17	11,02
Maonai	70.099,64	43,14
Tolopulai	40.781,06	24,78
Ultramafik	13.525,56	8,22

(Peta Geologi Pulau Mentawai, 1990)

Berdasarkan hasil survei deposit material di Kepulauan Mentawai bersumber dari pegunungan yang sangat luas, sesuai Gambar 1.

a. Deposit Sirtu Hitam

b. Deposit Sirtu Kuning

Gambar 1. Deposit material Kepulauan Mentawai

Kepulauan Aru menurut peta geologi tersusun dari tanah dan batuan yang tercatat sebanyak enam jenis formasi batuan secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Formasi batuan Kepulauan Aru

Formasi	Luas (Ha)	%
Aluvium	4.995,48	0,70
Tanah merah	107.993,62	15,15
Wasir	6.895,94	0,97
Mamumbai jambulenga	57.904,15	8,50
Mamumbai	281.488,87	39,49
Koba	250.777,51	35,18

(Pusat Litbang Geologi Aru, 1990)

Berdasarkan hasil survei, deposit batu karang dan pasir sangat melimpah di Kepulauan Aru. Batu karang dan pasir telah dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai fondasi rumah tinggal. Kondisi quari batu karang Kepulauan Aru adalah sesuai dengan Gambar 2.

Gambar 2. Deposit batu karang Kepulauan Aru

Untuk deposit material di Pulau Morotai, formasi batuan yang mendominasi adalah formasi aluvium, formasi batu gamping terumbu, formasi batuan gunung api holosin, formasi bacan, dan formasi weda. Komposisi material di Pulau Morotai adalah sesuai dengan Tabel 3.

Tabel 3. Formasi batuan Pulau Morotai

Formasi	Luas (Ha)	%
Aluvium	17.551,11	7,49
Batu gamping terumbu	34.727,04	14,81
Batuan gunung api holosin	248,23	0,11
Formasi bacan	83.345,66	35,55
Formasi weda	98.566,78	42,04

(Peta Geologi Pulau Morotai, 1980)

Formasi weda mendominasi di Pulau Aru. Formasi tersebut merupakan batu sedimen yang terdiri atas batu pasir, napal, tufa, konglomerat, dan batu gamping. Berdasarkan hasil survei lapangan diperoleh quari batu gamping sesuai dengan Gambar 3.

Gambar 3. Quari batu gamping Pulau Morotai

Pemanfaatan batu kapur, batu karang, dan pasir laut sebagai bahan perkerasan jalan telah banyak dilakukan di Indonesia. Syarat bahan lokal dapat dimanfaatkan sebagai bahan perkerasan jalan adalah mempunyai sifat-sifat fisik yang setara dengan standar (berdasarkan hasil uji laboratorium) dan deposit material yang melimpah (Jansen, Elisabeth, and Manoppo 2012). Sebagai contoh adalah pemanfaatan batu karang sebagai bahan jalan yang telah dilakukan uji coba di lapangan, yaitu digunakan sebagai lapis fondasi dan lapis permukaan beraspal di Sumba Barat Daya. Pemanfaatan pasir laut Kainama sebagai latasir juga merupakan contoh pemanfaatan material lokal sebagai bahan perkerasan jalan (Yamin 2012).

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3 tentang Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan, bahwa spesifikasi bahan material jalan, baik agregat halus maupun kasar, sebagai lapis fondasi, campuran beraspal, dan campuran beton semen harus mempunyai kriteria yang telah ditentukan (Bina Marga

Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat 2015).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat-sifat fisik material di Kepulauan Mentawai, Aru, dan Pulau Morotai sebagai bahan perkerasan jalan yang nantinya akan menjadi dasar perancangan campuran beton semen maupun campuran beraspal di lokasi tersebut.

METODE

Penelitian pemanfaatan material lokal di Kepulauan Mentawai, Aru, dan Pulau Morotai ini menggunakan metode studi kasus. Tahapan penelitian yang dilakukan meliputi studi literatur, diskusi, koordinasi, survei, dan analisis pengujian laboratorium.

Studi literatur dari berbagai sumber, yang terdiri atas penelitian terkait dan standar material perkerasan jalan, akan menjadi salah satu dasar bahan kajian pada penelitian ini. Bahan kajian tersebut akan digunakan sebagai literatur dalam penyusunan naskah ilmiah tentang teknologi pemanfaatan bahan lokal dan substandar untuk perkerasan jalan dengan lalu lintas rendah.

Diskusi dengan narasumber dilakukan untuk memperoleh informasi dalam pemanfaatan material lokal. Narasumber merupakan personel yang berkompetensi di bidang teknologi bahan dan perkerasan jalan.

Koordinasi dengan instansi terkait dilakukan untuk mengetahui deposit material lokal perkerasan jalan di Kepulauan Mentawai, Aru, dan Pulau Morotai. Instansi yang terkait antara lain Dinas Pekerjaan Umum dan Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional setempat.

Survei pendahuluan dilakukan untuk mengetahui kondisi eksisting jalan, deposit material, dan kondisi lalu lintas di Kepulauan Mentawai, Aru, dan Morotai.

Pengujian laboratorium dilakukan terhadap sampel uji yang diambil dari tiga lokasi studi. Untuk memastikan pengambilan sampel mewakili keseluruhan material, maka dilakukan uji homogenitas. Pengambilan material uji dilakukan di beberapa titik yang berbeda dari quari material yang sama sehingga terwakili. Untuk material lokal yang lokasinya tidak dalam satu quari, tetapi memiliki visual fisik sama, dilakukan pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk memastikan bahwa material tersebut adalah sama. Uji SEM menggunakan alat yaitu Quanta SEM 650 merek Oxford. Hasil pengujian SEM akan diperoleh unsur penyusun dari material (Purnomo et al. 2015). Unsur penyusun tersebut dapat menjadi bukti bahwa material yang diambil adalah sejenis. Hasil pengujian SEM akan memberikan informasi apakah sampel uji yang diambil dari beberapa titik tersebut sama. Material yang diuji SEM adalah material dari sirtu kuning dan sirtu hitam dari Kepulauan Mentawai. Sementara material dari Pulau Morotai dan Kepulauan Aru karena lokasi quari ada dalam satu lokasi maka tidak dilakukan uji SEM.

Pengujian laboratorium lainnya yang dilakukan yaitu: 1) uji analisis saringan menggunakan satu set saringan, pengering oven, spliter, dan timbangan, 2) uji abrasi menggunakan mesin Los Angeles, 3) uji berat jenis dan penyerapan menggunakan timbangan, piknometer, keranjang kawat, wadah air, dan pengering oven, 4) Sand Ekivalen menggunakan alat gelas ukur, pipa siphon, beban penguji, tabung penakar, arlogi baca, pengocok, alat pengaduk, dan pengering oven, 5) uji angularitas menggunakan silinder pengukur, corong, pan, spatula logam, dan timbangan, 6) uji gumpalan lempung menggunakan ayakan, pan, oven, dan timbangan, 7) uji kadar garam menggunakan alat pelarut NaCl, 8) uji kuat tekan bebas (UCS) menggunakan

alat jack CBR, dial, stopwatch, mold, dan alat penumbuk. Pengujian material lokal selain uji kadar garam dilakukan di Laboratorium Agregat dan Aspal, Balai Litbang Perkerasan Jalan, Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Bandung. Untuk pengujian kadar garam dilaksanakan di Balai Besar Bahan dan Barang Teknik, Badan Litbang Industri, Bandung. Waktu pengujian dilaksanakan pada bulan Januari sampai dengan Juni 2017.

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium akan dilakukan analisis untuk mengetahui secara intensif sifat-sifat fisik, jenis, dan karakteristik dari material lokal tersebut. Hasil analisis akan memberikan rekomendasi pemanfaatan material lokal sebagai bahan perkerasan jalan untuk campuran beton, campuran beraspal, atau lapis pondasi. Hasil pengujian akan dibandingkan dengan standar yang berlaku sesuai dengan jenis material lokal.

Pemanfaatan batu karang sebagai lapis pondasi jalan akan mengacu pada persyaratan spesifikasi SNI 8158:2015 Spesifikasi Lapis Pondasi Agregat dan Campuran Beraspal Panas Menggunakan Batukarang Kristalin (BSN 8158 2015). Spesifikasi stabilisasi untuk perkuatan lapis pondasi dapat mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3 seksi 5.5 (Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat 2015).

Pemanfaatan pasir laut sebagai material campuran beraspal dapat mengacu pada SNI 8157:2015 (BSN 8157 2015). Sementara, pemanfaatan material lokal sebagai material campuran beton mengacu pada Seksi 5.3 tentang Perkerasan Beton Semen, Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Tahun 2010 Revisi 3 (Bina

Marga Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Rakyat 2015).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sumber Bahan Lokal

Berdasarkan survei lapangan dan diskusi dengan instansi terkait di lokasi studi, diperoleh material lokal dengan deposit yang melimpah yaitu sebagai berikut.

- Bahan yang diambil dari Kepulauan Mentawai adalah terdiri atas sirtu kuning dan hitam dari Simaobuk, sesuai Gambar 4.

a. Sirtu kuning

b. Sirtu hitam

Gambar 4. Material dari Kepulauan Mentawai

- Bahan dari Dobo, Kepulauan Aru terdiri atas batu karang dan pasir laut putih, sesuai dengan Gambar 5.

a. Batu Karang, Pantai Wangel

b. Pasir Laut Putih, Pantai Durjela

Gambar 5. Material dari Dobo, Kepulauan Aru

- Bahan dari Pulau Morotai, terdiri atas batu gamping dari Momojiu dan Pulau Rau serta pasir laut dari Bere-bere dan Sebatai, sesuai dengan Gambar 6.

Gambar 6. Material dari Pulau Morotai

Pengujian SEM

Untuk memastikan bahwa sirtu kuning dan sirtu hitam yang diperoleh dari bukit yang berbeda merupakan satu jenis, dilakukan uji SEM. Berdasarkan hasil uji SEM, morfologi dan komposisi unsur atau senyawa 2 sampel (duplo) yang dianalisis menunjukkan keseragaman, sehingga material tersebut adalah sejenis. Komposisi unsur yang terkandung adalah sesuai dengan Tabel 4.

Tabel 4. Komposisi unsur terkandung

Unsur Terkandung pada Sirtu Kuning		Unsur Terkandung pada Sirtu Hitam	
O	: 52.08	O	: 44.14
Na	: 1.17	Na	: 1.80
Mg	: 2.87	Mg	: 3.44
Al	: 8.40	Al	: 5.60
Si	: 17.19	Si	: 16.88
K	: 0.42	K	: 0.51
Ca	: 2.56	Ca	: 3.64
Ti	: 0.42	Ti	: 0.73
Fe	: 14.67	Fe	: 16.06
Ta	: 0.22	Ta	: 7.20

Morfologi dari Sirtu Kuning dan Sirtu Hitam hasil foto alat SEM adalah sesuai dengan Gambar 7.

Gambar 7. Hasil foto 100 µm sirtu kuning (a) dan sirtu hitam (b)

Sifat Fisik Material Lokal

Sifat bahan lokal dari Kepulauan Mentawai, Aru, dan Pulau Morotai, sesuai hasil pengujian di laboratorium adalah sebagai berikut.

Bahan dari Kepulauan Mentawai

Hasil pengujian laboratorium terhadap sirtu kuning dan sirtu hitam adalah seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Sifat fisik material Kepulauan Mentawai

Pengujian	Jenis Material		Standar*
	A	B	
Abrasi, %	20,40	61,97	Maks.40%
BJ Bulk	2,64	2,71	>2,5
BJ Apperant	2,85	2,79	>2,5
Absorsi, %	2,77	0,91	≤3%
Lolos no.200, %	15,52	10,61	≤2%

Keterangan :

A: Sirtu Kuning, B: Sirtu Hitam, * : Standar campuran aspal spesifikasi umum Bina Marga 2010 Revisi 3 Divisi 6.

Nilai abrasi memperlihatkan bahwa sirtu kuning merupakan agregat keras karena nilai abrasi adalah 20, 40%. Persyaratan lain, seperti berat jenis dan penyerapan memenuhi, tetapi persyaratan lolos saringan 200 melebihi standar. Terlalu tinggi kadar material lolos 200 dalam campuran akan mengakibatkan campuran menjadi getas (*brittle*) dan mudah retak (*crack*) ketika menerima beban lalu lintas (Wardahni 2017). Untuk sirtu hitam, nilai abrasi dan lolos saringan no. 200 melebihi

nilai standar. Berdasarkan data di atas, baik sirtu kuning maupun sirtu hitam tidak laik digunakan sebagai bahan campuran beraspal. Namun, hasil uji analisis saringan sirtu kuning dan sirtu hitam, apabila dibandingkan dengan SNI 8158:2015, memiliki gradasi memenuhi persyaratan gradasi batu karang lapis fondasi kelas A dan kelas B, sehingga agregat tersebut masih memungkinkan untuk dimanfaatkan

sebagai lapis fondasi. Perbandingan hasil uji analisis saringan dengan gradasi batu karang adalah sesuai dengan Gambar 8.

Hasil uji kuat tekan bebas dengan pemeraman tujuh hari pada sirtu kuning dan sirtu hitam diperoleh nilai 2,65 kg/cm² dan 2,14 kg/cm². Untuk meningkatkan nilai kuat tekan bebas, dilakukan stabilisasi dengan semen, sehingga sirtu kuning dan

Gambar 8. Gradasi sirtu kuning dan hitam Kepulauan Mentawai

sirtu hitam dapat dimanfaatkan sebagai lapis fondasi baik lapis fondasi atas maupun lapis fondasi bawah. Stabilisasi adalah proses memperbaiki sifat fisik dan mekanik material sehingga memenuhi persyaratan teknis tertentu (Andriyani, Yuliet, and Fernandez 2012).

Kuat tekan bebas stabilisasi dengan semen yang disyaratkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3 seksi 5.5 sebagai acuan untuk lapis fondasi agregat semen *Cement Treated Subbase* (CTSB) adalah 35 kg/cm² - 45 kg/cm². Pengujian dilakukan dengan membuat dua benda uji (duplo), berat material sirtu kuning dan sirtu hitam yang digunakan dalam satu benda uji adalah 1200 gram menggunakan kadar air optimum. Nilai

persentase semen diambil dari berat material kering. Adapun hasil pengujian kuat tekan bebas sirtu kuning dan sirtu hitam, baik tanpa semen maupun distabilisasi semen adalah seperti disajikan pada Tabel 6 dan Gambar 9. Pada Tabel 6 dan Gambar 9 dapat dilihat bahwa kebutuhan semen yang paling efektif untuk mencapai target kuat tekan bebas antara 35 kg/cm² - 45 kg/cm² adalah 6%.

Tabel 6. Persentase semen efektif

% Semen	Kuat Tekan Bebas (kg/cm ²)	
	Sirtu Kuning	Sirtu Hitam
0	2,65	2,14
3	26,09	26,45
6	45,16	48,11

Gambar 9. Grafik stabilisasi semen sirtu kuning dan hitam Kepulauan Mentawai

Bahan dari Kepulauan Aru

Batu karang yang diambil dari Dobo Kepulauan Aru berupa bongkahan dan dipecah menggunakan alat pemecah batu (*stone crusher*) di laboratorium. Berdasarkan hasil pemecahan diperoleh nilai sesuai Tabel 7.

Tabel 7. Pengujian sifat fisik batu karang, Dobo, Kepulauan Aru

Pengujian	Batu Karang, Pantai Wangel	Standar*
Abrasi	43,3 %	Maks.40%
Agregat Kasar		
- Berat jenis	2,72	>2,5
- Absorsi, %	3 %	≤3%
Agregat Halus		
- Berat jenis	1,59	>2,5
- Absorsi, %	14,49%	≤3%
Lolos no.200	11,46%	≤2%

Keterangan :

* : Standar campuran aspal spesifikasi umum Bina Marga 2010 Revisi 3 Divisi 6

Berdasarkan hasil perbandingan tersebut, terlihat batu karang Pantai Wangel tidak layak digunakan sebagai agregat pada campuran beraspal. Berat jenis agregat halus batu karang Wangel < 2,5, agregat dengan berat jenis yang kecil mempunyai volume yang besar sehingga dengan berat

yang sama membutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak (Toruan 2013). Namun, apabila digunakan sebagai lapis fondasi, nilai abrasi yang hasil uji masih masuk ke dalam persyaratan pada SNI 8158:2015 yaitu maksimal 50%. Nilai abrasi adalah nilai yang menunjukkan daya tahan agregat kasar terhadap penghancuran (degradasi) akibat dari beban mekanis, semakin tinggi nilai abrasi agregat maka daya tahan agregat rendah (Arifin, Kasan, and Pradani 2007).

Untuk hasil pengujian pasir laut putih, Pantai Wangel akan dibandingkan dengan spesifikasi dari SNI 8157:2015 tentang pemanfaatan pasir laut. Hasil pengujian sifat fisik pasir laut putih adalah sesuai dengan Tabel 8.

Tabel 8. Pengujian sifat fisik pasir laut putih, Pantai Durjela

Pengujian	Pasir Laut Putih, Pantai Durjela	Standar*
Sand Ekuivalen	97,60%	Min.50%
Angularitas	48%	Min.45%
Gumpalan Lempung	0,76%	Maks. 1%
Lolos no 200	11,46%	Maks.12%
Kadar Garam	0,021%	Maks.2%

Keterangan :

* : Standar campuran aspal dalam SNI 8157:2015

Berdasarkan data tersebut, terlihat pasir laut yang diperoleh dapat digunakan untuk bahan campuran beraspal. Standar agregat halus untuk campuran perkerasan beton adalah Seksi 5.3 tentang Perkerasan Beton Semen, Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Tahun 2010 Revisi 3. Berdasarkan hasil uji berat isi lepas terhadap pasir putih yaitu $1,9 \text{ gr/cm}^3$ (syarat minimum $1,2 \text{ gr/cm}^3$) dan penyerapan 2,52% (maksimum 5%). Berdasarkan hal tersebut, selain dapat digunakan sebagai campuran beraspal, pasir putih dari Pantai Durjela juga dapat dimanfaatkan sebagai campuran beton.

Bahan dari Pulau Morotai

Bahan batu gamping yang diambil dari Momojiu dan Rau adalah berupa bongkahan dan dipecah menggunakan alat pemecah batu (stone crusher) di laboratorium. Hasil pengujian untuk batu gamping Momojiu dan batu gamping Rau adalah sesuai dengan Tabel 9.

Tabel 9. Pengujian sifat fisik batu gamping, Morotai

Pengujian	Gamping, Momojiu	Gamping, Rau	A	B
Abrasi	45,6%	28,86%	Maks. 40%	Maks. 40%
Agr. Kasar				
- Berat Jenis	2,20	2,51	>2,5	>2,1
- Absorsi, %	4,04%	2,82%	≤3%	≤2,5%
Agr. Halus				
- Berat Jenis	2,64	2,57	>2,5	>2,1
- Absorsi, %	0,91%	2,15	≤3%	≤2,5%
Lolos no 200	0,55%	1,00%	≤2%	-

Keterangan :

A: Standar campuran aspal spesifikasi umum Bina Marga 2010 Revisi 3 Divisi 6.

B: Standar campuran beton semen spesifikasi umum Bina Marga 2010 Revisi 3 Divisi 5

Berdasarkan hasil perbandingan dengan spesifikasi untuk campuran beraspal di Tabel 9, terlihat material batu gamping dari Momojiu tidak layak digunakan sebagai campuran beraspal, karena nilai abrasi dan absorsi agregat kasar melebihi standar. Selain itu, walau depositnya melimpah, batu gamping Momojiu juga tidak dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran beton, karena penyerapan agregat kasar lebih dari 2,5%. Penyerapan yang tinggi akan menyebabkan agregat banyak menyerap air dan semen sehingga berpengaruh terhadap kekuatan campuran. Batu gamping dari Rau layak untuk digunakan sebagai agregat pada campuran beraspal. Sementara, untuk campuran beton, batu gamping Rau tidak dapat dimanfaatkan karena nilai penyerapan 2,82% melebihi persyaratan yaitu $\leq 2,5\%$.

Hasil pengujian terhadap sifat fisik pasir laut hitam Bere-bere dan Sebatai menunjukkan bahwa kedua pasir tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran beraspal. Hasil pengujian sifat fisik kedua pasir tersebut adalah sesuai dengan Tabel 10. Kandungan garam yang rendah yaitu 0,077% dan 0,042% sangat penting dalam pemanfaatan pasir laut ini. Kandungan garam pada material jalan akan menurunkan nilai stabilitas pada campuran beraspal (Muaya, Kaseke, and Manoppo 2015), pada campuran beton kandungan garam akan menyebabkan korosif pada tulangan serta mempengaruhi daya ikat karena menyerap air dari udara sehingga selalu dalam kondisi basah (Ramang, Sina, and Irpan 2014).

Pasir laut hitam Bere-bere dan Sebatai juga dapat dimanfaatkan sebagai campuran beton semen, dengan hasil uji penyerapan masing-masing adalah 1,3% dan 2,8% (syarat, maksimum 5%). Hasil uji berat isi lepas yaitu $1,3 \text{ gr/cm}^3$ dan $1,5 \text{ gr/cm}^3$ (syarat, minimum $1,2 \text{ gr/cm}^3$).

Tabel 10. Pengujian sifat fisik pasir laut hitam, Bere-bere dan Sebatai

Pengujian	Pasir Laut Bere-bere	Pasir Laut Sebatai	Standar*
Sand Ekuivalen	90,40	89,10	Min.50%
Angularitas	54,15	51,50	Min.45%
Gumpalan Lempung	0,52	0,11	Maks.1%
Lolos no 200	7,63	1,03	Maks.12%
Kadar Garam	0,077	0,042	Maks.2%

Keterangan :

* : Standar campuran aspal dalam SNI 8157:2015

Hasil Analisis

Berdasarkan pengujian laboratorium material lokal dari Kepulauan Mentawai, Aru, dan Pulau Morotai dapat disimpulkan bahwa material tersebut bisa dimanfaatkan sebagai bahan perkerasan jalan. Sirtu kuning dan sirtu hitam dari Kepulauan Mentawai, batu karang dari Kepulauan Aru, serta batu gamping Momojiu Morotai dapat dimanfaatkan sebagai bahan lapis fondasi jalan. Batu gamping Rau, Pulau Morotai dapat dimanfaatkan sebagai campuran aspal. Pasir putih Aru, pasir hitam Bere-bere dan pasir hitam Sabatai dapat dimanfaatkan sebagai campuran beraspal dan campuran beton semen. Jenis pemanfaatan material dari Kepulauan Mentawai, Aru, dan Pulau Morotai adalah sesuai dengan Tabel 10.

Tabel 11. Rekapitulasi hasil analisis

Material	Pemanfaatan
Kepulauan Mentawai	
Sirtu Kuning	Lapis fondasi, dengan stabilisasi semen 6%
Sirtu Hitam	Lapis fondasi, dengan stabilisasi semen 6%
Kepulauan Aru	
Batu Karang	Lapis fondasi
Pasir Laut	Campuran beraspal dan campuran beton semen
Pulau Morotai	
Batu Gamping Momojiu	Lapis fondasi
Batu Gamping Rau	Campuran beraspal
Pasir Laut Bere-bere	Campuran beraspal dan campuran beton semen
Pasir Laut Sabatai	Campuran beraspal dan campuran beton semen

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa material lokal yang bisa dimanfaatkan untuk pembangunan jalan di Kepulauan Mentawai adalah sirtu kuning dan sirtu hitam masing-masing untuk lapis fondasi dengan stabilisasi semen 6%; untuk Kepulauan Aru adalah batu karang untuk lapis fondasi dan pasir laut untuk campuran beraspal dan campuran beton semen; dan, Pulau Morotai adalah batu gamping Momojiu untuk lapis fondasi, batu gamping Rau untuk campuran beraspal, pasir laut Bere-bere untuk campuran beraspal dan campuran beton semen, dan pasir laut Sabatai untuk campuran beraspal dan campuran beton semen.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan agar berbagai material lokal di pulau-pulau terpencil dan terluar yang disajikan dalam kesimpulan dapat digunakan untuk mencukupi sebagian kebutuhan pembangunan jalan di tempat masing-masing. Meskipun demikian, seyogyanya perlu dilakukan suatu *pilot project* kecil sebelum direalisasikan secara luas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami tujukan kepada Balai Litbang Perkerasan Jalan, Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yang telah membiayai penelitian ini

DAFTAR ACUAN

- Adithya, Astrierez Prery. 2016. "Evaluasi Karakteristik Modulus Resilien dan Deformasi Permanen Campuran Beton Beraspal (AC - Binder Course) Menggunakan Campuran Agregat Berabrasi Tinggi." *Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil* 23 (2): 223–32.
- Andriyani, Rina Yuliet, and Franky Leo Fernandez. 2012. "Pengaruh Penggunaan Semen sebagai Bahan Stabilisasi pada Tanah Lempung Daerah Lambung Bukit terhadap Nilai Cbr Tanah." *Jurnal Rekayasa Sipil* 8 (1): 29–44.
- Andriyanto. 2005. "Mengapa Pembangunan Infrastruktur Jalan Lebih Banyak Mengandung Masalah daripada Pembangunan Gedung." *Majalah Teknik Jalan dan Transportasi*, No.103, Tahun XXIV.
- Arifin, Syamsul, Muh Kasan, and Novita Pradani. 2007. "Pengaruh Nilai Abrasi Agregat terhadap Karakteristik Beton Aspal." *Smartek* 5 (1): 1–11.
- Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2015. "Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Tahun 2010 Revisi 3." Jakarta.
- BSN 8157. 2015. "SNI 8157-2015 Spesifikasi Pasir Laut untuk Campuran Beraspal." Jakarta.
- BSN 8158. 2015. "SNI 8158-2015 Spesifikasi Lapis Pondasi Agregat dan Campuran Beraspal Panas Menggunakan Batukarang Kristalin." In . Jakarta.
- Desriantomy, and Hudan Rahmani. 2011. "Kajian Penggunaan Batu Riam dari Desa Gunung Karasik Kabupaten Barito Timur pada Campuran Laston Lapis Aus." *Jurnal Teknologi Berkerlanjutan I* (1): 1–9.
- Ismail, Muhammad Rizal. 2007. "Kajian Pengembangan Wilayah Pulau-Pulau Kecil di Kabupaten Halmahera Utara." IPB (Bogor Agricultural University).
- Jansen, Freddy, Lintong Elisabeth, and Mecky Manoppo. 2012. "Karang Gunung sebagai Agregat Alternatif pada Campuran Aspal Panas." *Jurnal Ilmiah Media Engineering* 2 (1): 11–25.
- Lake, Aloysius G, Yos Conterius, and Deasi D A A Daud. 2017. "Kajian Material Lokal Guna Mendapatkan Bahan Timbunan Pilihan untuk Diterapkan pada Ruas Jalan Perbatasan TTU-Timor Leste." *Jurnal Teknik Sipil (Juteks)* 2: 82–92.
- Muaya, George Stefen, Oscar H Kaseke, and Mecky R E Manoppo. 2015. "Pengaruh Terendamnya Perkerasan Aspal oleh Air Laut yang Ditinjau terhadap Karakteristik Marshall." *Jurnal Sipil Statik* 3 (8): 562–70.
- Mulyono, Agus Taufik. 2007. "Model Monitoring dan Evaluasi Pemberlakuan Standar Mutu Perkerasan Jalan Berbasis Pendekatan Sistemik."
- Nono, Fitria Gustini, and Iwan Susanto. 2017. "Pemanfaatan Bahan Lokal dan Sub-Standar dari Kepulauan

- Mentawai, Aru, dan Morotai untuk Bahan Perkerasan Jalan.” Bandung.
- Purnomo, Tito Wahyu, Penentuan Struktur, Komposisi Kimia, Lapisan Tipis, Sn Se, and Hasil Preparasi. 2015. “Penentuan Struktur Kristal Dan Komposisi Kimia Lapisan Tipis Sn Hasil Preparasi Teknik Evaporasi untuk Aplikasi Sel Surya.” *Widyanuklida* 15 (1): 22–27.
- Ramang, Ruslan, Dantje AT Sina, and Muhammad Irpan. 2014. “Studi Kelayakan Teknis Penggunaan Pasir Laut Alor Kecil terhadap Kualitas Beton yang Dihasilkan.” *Jurnal Teknik Sipil Udayana III* (2): 111–24.
- Rondonuwu, Fernando. 2013. “Pengaruh Sifat Fisik Agregat terhadap Rongga dalam Campuran Beraspal Panas.” *Jurnal Sipil Statik* 1 (3): 1–6.
- Toruan, Armin L. 2013. “Pengaruh Porositas Agregat terhadap Berat Jenis Maksimum Campuran.” *Jurnal Sipil Statik* 1 (3): 190–95.
- Wardahni, Tri U. 2017. “Pengaruh Perubahan Ratio antara Partikel Lolos terhadap Kriteria Marshall pada Campuran.” *Jurnal Sipil Statik* 5 (1): 1–10.
- Widajat, Djoko. 2010. “Laporan Akhir Teknologi Pemanfaatan Bahan Lokal dan Substandar.” Bandung.
- Yamin, Anwar. 2012. *Pemanfaatan dan Kinerja Agregat Substandart sebagai Bahan Kontruksi Jalan*. Bandung: Zipbooks.