

CAMPURAN OPTIMUM TANAH KAPUR WASAY DENGAN SEMEN UNTUK LAPIS FONDASI JALAN

Edriant Yobel Edong Rumissing¹, Cherly Agnes Pattiasina²,
Paravita Sri Wulandari³, Harry Patmadjaja⁴

ABSTRAK : Pemanfaatan material lokal sebagai pengganti material agregat terutama pada struktur lapis fondasi jalan adalah alternatif agar lebih ekonomis. Tanah kapur adalah salah satu material lokal yang banyak terdapat di perbukitan tempat dimana pembangunan jalan Trans Papua dilaksanakan. Penelitian ini bertujuan mengetahui karakteristik tanah kapur Wasay serta campuran dengan kadar semen optimum agar memenuhi target nilai uji kuat tekan bebas yang diisyaratkan pada Spesifikasi Bina Marga 2018. Campuran tanah kapur Wasay dengan kadar semen 0% sampai 8% dengan interval 1% sampai keadaan kadar air optimum atau *Optimum Moisture Content/OMC*. Masa perawatan selama tujuh hari dan setelah masa perawatan, dilakukan perendaman selama empat jam sebelum dilakukan pengujian kuat tekan bebas atau *Unconfined Compression Strength/UCS*. Hasil nilai uji kuat tekan bebas menunjukkan peningkatan nilai kuat tekan bebas seiring meningkatnya kadar semennya. Dari hasil uji kuat tekan bebas, kadar semen optimum ialah sebesar 8% dengan nilai uji kuat tekan bebasnya 28,195 kg/cm², yang memenuhi target nilai uji kuat tekan bebas yang diisyaratkan Spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar 24 kg/cm². Masa perawatan tiga hari, tujuh hari, dan empat belas hari dilakukan pada kadar semen optimum yaitu 8%, dari hasil nilai uji kuat tekan bebas pada masa perawatan tersebut, masa perawatan optimum ialah selama tujuh hari.

KATA KUNCI: tanah kapur Wasay, lapis fondasi jalan tanah semen, uji kuat tekan bebas

1. PENDAHULUAN

Pembangunan jalan merupakan salah satu program pembangunan infrastruktur oleh pemerintah seperti Jalan Trans Papua Barat yang menghubungkan antar kota di Provinsi Papua Barat. Jalan Trans Papua Barat terbagi menjadi dua segmen/ruas yaitu segmen I Sorong - Maybrat -Manokwari (594,81 km) yang menghubungkan dua pusat ekonomi di Papua Barat yakni Kota Sorong dan Manokwari yang dapat ditempuh dengan waktu 14 jam. Sementara segmen II Manokwari-Mameh-Wasior-Batas Provinsi Papua (475,81 km), telah berhasil tembus pada Desember 2017 (Kementrian PUPR, 2018). Keterbatasan dan kesulitan dalam mendapatkan material agregat seringkali ditemui pada pembangunan jalan di daerah pengunungan atau perbukitan seperti di Pulau Papua, sehingga harus ada alternatif material yang dapat menggantikan material agregat terutama pada struktur lapis fondasi jalan. Memanfaatkan material lokal sebagai penggantinya agar lebih ekonomis adalah alternatifnya dan tanah kapur merupakan salah satu material yang sangat berlimpah di Pulau Papua.

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra edriant7@yahoo.com

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra cherlyagnes89@gmail.com

³ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra paravita@petra.ac.id

⁴ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra harryp@petra.ac.id

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik tanah kapur Wasay yang akan digunakan untuk lapis fondasi jalan menggunakan campuran tanah dan semen serta mendapatkan kadar semen optimum untuk campuran tanah kapur Wasay dan semen yang memenuhi syarat kuat tekan bebas untuk lapis fondasi jalan. *Portland Cement Composite* yang digunakan untuk pengujian adalah semen Conch

2. LANDASAN TEORI

Tanah Kapur

Tanah kapur merupakan tanah-tanah di mana terdapat penimbunan liat di horison bawah, liat yang tertimbun di horison bawah ini berasal dari horison di atasnya dan tercuci ke bawah bersama gerakan air perkolasi (Hardjowigeno, 1993).

Klasifikasi tanah menurut metode AASHTO dapat diklasifikasikan ke dalam tujuh kelompok besar, yaitu A-1, sampai A-7. Tanah-tanah yang diklasifikasikan dalam kelompok A-1, A-2 dan A-3 merupakan tanah-tanah berbutir kasar dimana 35% atau kurang butir-butir tersebut melalui ayakan No. 200. Tanah-tanah dimana 35% atau lebih yang melalui ayakan No. 200 diklasifikasikan dalam kelompok A-4, A-5, A-6 dan A-7 (**Tabel 1**).

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Metode AASHTO

| Table 5.1 Classification of Highway Subgrade Materials | | | | | | | |
|--|--|---------|-----------|---------------------------------|---------|---|---------|
| General classification | Granular materials (35% or less of total sample passing No. 200) | | | | | | |
| | A-1 | | A-3 | A-2 | | | |
| Group classification | A-1-a | A-1-b | | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 |
| Sieve analysis (percentage passing) | | | | | | | |
| No. 10 | 50 max. | | | | | | |
| No. 40 | 30 max. | 50 max. | 51 min. | | | | |
| No. 200 | 15 max. | 25 max. | 10 max. | 35 max. | 35 max. | 35 max. | 35 max. |
| Characteristics of fraction passing No. 40 | | | | | | | |
| Liquid limit | | | | 40 max. | 41 min. | 40 max. | 41 min. |
| Plasticity index | 6 max. | | NP | 10 max. | 10 max. | 11 min. | 11 min. |
| Usual types of significant constituent materials | Stone fragments, gravel, and sand | | Fine sand | Silty or clayey gravel and sand | | | |
| General subgrade rating | Excellent to good | | | | | | |
| General classification | Silt-clay materials (more than 35% of total sample passing No. 200) | | | | | | |
| | A-4 | | | A-5 | A-6 | A-7 A-7-5 ^a A-7-6 ^b | |
| Sieve analysis (percentage passing) | | | | | | | |
| No. 10 | | | | | | | |
| No. 40 | | | | | | | |
| No. 200 | | | 36 min. | 36 min. | 36 min. | 36 min. | |
| Characteristics of fraction passing No. 40 | | | | | | | |
| Liquid limit | | | 40 max. | 41 min. | 40 max. | 41 min. | |
| Plasticity index | | | 10 max. | 10 max. | 11 min. | 11 min. | |
| Usual types of significant constituent materials | Silty soils | | | | | Clayey soils | |
| General subgrade rating | Fair to poor | | | | | | |

^aFor A-7-5, $PI \leq LL - 30$

^bFor A-7-6, $PI > LL - 30$

Sumber : Das & Shoban (2012)

Sifat tanah dapat diketahui dari faktor mikroskopik dan faktor makroskopik tanah. Faktor mikroskopik terdiri dari mineralogi tanah dan perilaku kimiawi tanah. Sedangkan faktor makroskopik tanah yang terbentuk karena faktor mikroskopik tanah dapat dilihat dari properti-properti tanah seperti *plasticity index*, gradasi, dan lain-lain. Faktor makroskopik disebabkan oleh berat volume dan plastisitas masing-masing jenis tanah (Terzaghi et al., 1996). *Specific Gravity* (Gs) menurut Bowles (1970), untuk beberapa jenis tanah dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Nilai-Nilai Berat Jenis dari Berbagai Jenis Tanah

| <i>Type of Soil</i> | <i>Specific Gravity (Gs)</i> |
|------------------------|------------------------------|
| Sand | 2.65 - 2.67 |
| Silty Sand | 2.67 - 2.70 |
| Inorganic Clay | 2.70 - 2.80 |
| Soil With Mica or Iron | 2.75 - 3.00 |
| Organic Soils | ≤ 2 |

Sumber: Bowles (1970)

Pengujian Kepadatan

Pada awal proses pemadatan, berat volume tanah kering (γ_d) bertambah seiring dengan ditambahkan kadar air. Pada kadar air nol ($w=0$), berat volume tanah basah (γ_b) sama dengan berat volume tanah kering (γ_d). Ketika kadar air berangsur-angsur ditambah (dengan usaha pemadatan yang sama), berat butiran tanah padat per volume satuan (γ_d) juga bertambah. Berat volume kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air, dan usaha yang diberikan oleh alat penumbuknya. Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari pengujian pemadat standar laboratorium.

Menurut SNI 1742:2008 telah ditetapkan empat pilihan cara uji kepadatan ringan untuk tanah yaitu cara A, cara B, cara C dan cara D. Pengujian kepadatan yang akan dilakukan menggunakan cara A. Sebagaimana dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Cara Uji Kepadatan Ringan untuk Tanah

| Uraian | Cara | | | |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | A | B | C | D |
| Diameter cetakan (mm) | 101,60 | 152,40 | 101,60 | 152,40 |
| Tinggi cetakan (mm) | 116,43 | 116,43 | 116,43 | 116,43 |
| Volume cetakan (cm ³) | 943 | 2124 | 943 | 2124 |
| Massa penumbuk (kg) | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Tinggi jatuh penumbuk (mm) | 305 | 305 | 305 | 305 |
| Jumlah lapis | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Jumlah tumbukan per lapis | 25 | 56 | 25 | 56 |
| Bahan lolos saringan | No. 4 (4,75 mm) | No. 4 (4,75 mm) | 19,00 mm (3/4") | 19,00 mm (3/4") |

Sumber : SNI 1742:2008

Pengujian Kuat Tekan Bebas

Pengujian kuat tekan bebas menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 71,1 mm dan tinggi 142,2 mm. Rasio tinggi terhadap diameter sama dengan 2,00. Metode ini dilakukan untuk material lolos saringan 4,75 mm (SNI 6887:2012).

Setelah menguji kepadatan ringan untuk tanah, dibuat serangkaian benda uji untuk diuji kuat tekannya (*Unconfined Compression Strength/UCS*) di mana benda uji ini dipadatkan sampai dengan kepadatan kering maksimum (*Maksimum Dry Density/MDD*) dan kadar air optimum (*Optimum Moisture Content/OMC*). Setelah perawatan selama tujuh hari seperti SNI 03-6798-2002, ujlilah benda-benda uji ini dengan mengikuti prosedur yang diberikan di SNI 6887:2012. Kadar semen pada campuran yang dipilih memberikan kekuatan sasaran seperti yang disyaratkan yaitu 24 kg/cm².

Stabilisasi Tanah Semen

Penambahan semen telah meningkatkan nilai berat jenis dan menurunkan nilai indeks plastisitas. Sehingga dapat mengurangi potensi pengembangan dan penyusutan tanah (Pirmadona, dkk. 2012). Seiring bertambahnya kadar semen yang digunakan, maka semakin meningkat pula nilai kuat tekan bebas (UCS) dan daya dukung tanah/CBR (Pirmadona, dkk. 2012). Hal tersebut terjadi karena adanya reaksi yang terjadi pada tanah yang distabilisasi menggunakan semen.

Penggunaan lapis fondasi baik lapis fondasi bawah maupun fondasi atas yang distabilisasi semen. Berdasarkan hasil kajian, diperoleh bahwa penggunaan lapis fondasi yang distabilisasi semen memberikan beberapa keuntungan antara lain memiliki koefisien kekuatan relatif yang lebih tinggi sehingga dapat meningkatkan nilai struktur (Nono,2009). Stabilisasi tanah dasar dan lapis fondasi tanah semen harus memenuhi ketentuan yang diberikan pada **Tabel 4**. (Direktorat Jendral Bina Marga, 2018)

Tabel 4. Sifat Kuat Tekan yang Disyaratkan untuk Lapis Fondasi Tanah Semen

| PENGUJIAN | BATAS-BATAS SIFAT (Setelah Perawatan 7 Hari) | | | METODE PENGUJIAN |
|--|---|--------|------|---------------------|
| | Min | Target | Maks | |
| Kuat Tekan Bebas (<i>Unconfined Compressive Strength/UCS</i>) kg/cm ² untuk Lapis Fondasi Tanah Semen | 20 | 24 | 35 | SNI 6887:2012 |

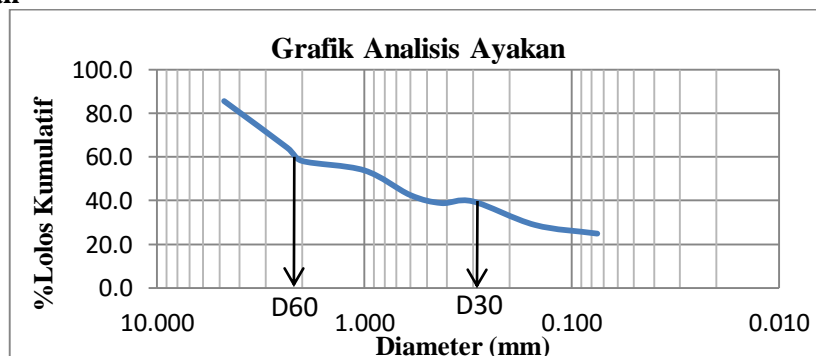
Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

3. METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan penelitian yang dilakukan adalah Studi literatur, persiapan bahan yang terdiri dari semen dan tanah kapur. Tanah kapur yang diuji diambil dari Wasay, Distrik Manokwari Selatan, Manokwari, Papua Barat. *Portland Cement Composite* yang digunakan untuk campuran lapis fondasi jalan adalah semen Conch (SNI 7064:2014). Metode tes yang akan dilakukan pada sampel tanah adalah analisis ayakan menurut AASHTO & UCSC (SNI 03-196-1990), berat jenis (SNI 1964:2008), uji kepadatan tanah ringan atau *proctor test* (SNI 1742:2008) dan uji kuat tekan bebas (SNI 6887:2012). Pada Uji Kuat Tekan Bebas (UCS) yang telah dicampur variasi semen, sampel dalam masa perawatan selama 7(tujuh) hari kemudian diuji kuat tekannya. Lalu nilai hasil uji kuat tekannya dibandingkan dengan nilai kuat tekan lapis fondasi tanah semen yang disyaratkan (**Tabel 3**). Setelah mendapatkan kadar optimum semen, dengan masa perawatan sampel 3 (tiga), 7 (tujuh) dan 14 (empat belas) hari kemudian dianalisis hasil uji kuat tekan bebasnya.

4. HASIL DAN ANALISIS DATA

Analisis Ayakan



Gambar 1. Distribusi Ukuran Butiran Tanah

Tanah kapur Wasay terdiri dari kerikil sebesar 14,6%, pasir 70,3% dan lanau 15,1%. Dari **Gambar 1**, juga dapat ditentukan ukuran butiran tanah dimana masing-masing 60% dan 30% butiran tanah lolos pada ukuran lubang tersebut, adalah D60 sebesar 2.1 mm dan D30 sebesar 1.8 mm.

Berdasarkan klasifikasi tanah menurut metode USCS, tanah kapur Wasay yang terdiri dari pasir 70,3%, lanau 15,1% dan kerikil 14,6%, masuk dalam kategori pasir berlanau atau *silty sand* (SM) dengan indeks plastisitas (PI) < 4%.

Berdasarkan klasifikasi tanah menurut metode AASHTO, tanah kapur Wasay ini termasuk dalam kategori A-2 (Kerikil dan pasir berlanau atau berlempung) dimana lolos ayakan no.200 < 35%.

Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis tanah (*specific Gravity*) adalah 2.67 dan berdasarkan **Tabel 2**, tanah kapur Wasay termasuk tipe tanah *silty sand*. Pada penelitian ini dilakukan tes mineral oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Industri Balai Riset dan Standardisasi Industri.

Berdasarkan tes mineral tersebut tanah kapur Wasay yang terdapat pada dataran tinggi, mempunyai warna putih kecoklatan dan mengandung 0,10% Magnesium (Mg), 78,51% Kalsium Karbonat (CaCO₃), 0,16% Magnesium Oksida (MgO) serta 31,46% Kalsium (Ca). Suatu batuan disebut batu kapur (*limestone*) apabila mengandung kalsit (CaCO₃) ≥ 90% (Todingrara dkk, 2016). Sehingga tanah kapur Wasay yang terdiri dari 78,51% CaCO₃, tidak hanya terbentuk dari pelapukan batu kapur (*limestone*) saja melainkan memiliki komposisi senyawa kimia lainnya yang perlu diteliti lebih lanjut.

Pemadatan Tanah

Proses pemadatan tanah pada prinsipnya adalah usaha untuk memperkecil jarak antara butiran tanah (*solid*) dengan jalan mengurangi volume udara yang ada di dalam pori tanah tersebut. Semakin kecil jarak antara butiran tanah semakin banyak jumlah butiran yang ada dalam satu satuan volume tanah, sehingga tanah dikatakan semakin padat. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar air yang optimum (OMC) dalam keadaan kering maksimum (γ_{dmax}). Proses pemadatan dilakukan dengan menggunakan standart *proctor* (ASTM D-698, 1998).

Dari pengujian kepadatan dengan menggunakan standart *proctor* dengan penambahan air sebesar 3% pada setiap siklus didapatkan kadar air optimum adalah 16,5% dan berat isi kering (γ_{dmax}) sebesar 1,72 gr/cm³.

Kuat Tekan Bebas

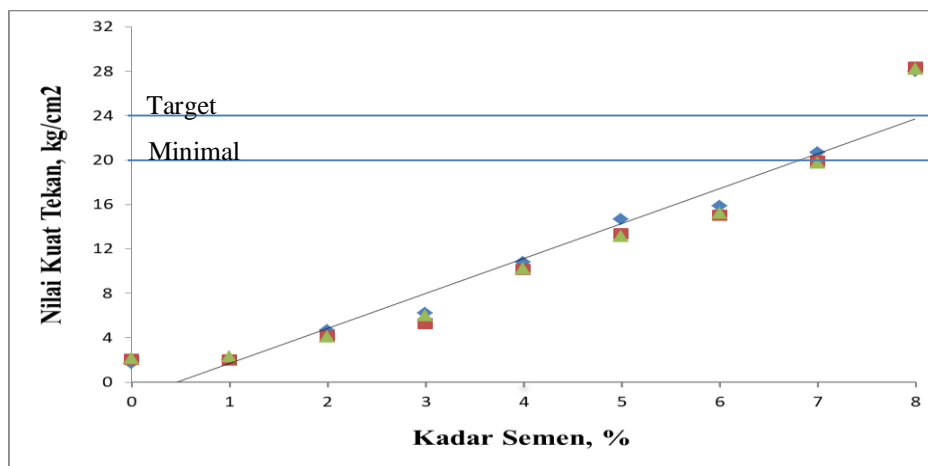
Pengujian kuat tekan bebas dilakukan pada sampel campuran tanah dan semen. Kadar semen yang ditentukan adalah 0% sampai 8% dengan interval 1%. Masa perawatan sampel ialah 7 (tujuh) hari sesuai Spesifikasi Bina Marga 2018. Setelah mendapatkan kadar semen optimum yang mampu memenuhi syarat nilai kuat tekan bebas seperti pada **Tabel 4**, sampel dengan kadar semen optimum lalu diuji dengan masa perawatan 3 (tiga) hari, 7 (tujuh) hari dan 14 (empat belas) hari untuk mendapatkan nilai kuat tekan bebas yang berubah seiring lamanya masa perawatan yang dilakukan.

Nilai uji kuat tekan bebas yang dihasilkan dari campuran tanah kapur Wasay dengan semen terdapat pada **Tabel 5** yang dihasilkan setelah masa perawatan tujuh hari. Sampel dibalut plastik agar menjaga kadar air optimumnya

Tabel 5. Kadar Semen dan Nilai Kuat Tekan Bebas

| Kadar Semen | Nilai Kuat Tekan Bebas |
|-------------|---------------------------|
| 0% | 2,067 kg/cm ² |
| 1% | 2,075 kg/cm ² |
| 2% | 4,283 kg/cm ² |
| 3% | 5,814 kg/cm ² |
| 4% | 10,331 kg/cm ² |
| 5% | 13,721 kg/cm ² |
| 6% | 15,1 kg/cm ² |
| 7% | 19,989 kg/cm ² |
| 8% | 28,195 kg/cm ² |

Pada saat regangan 7,894% mulai menunjukkan puncak nilai uji kuat tekan bebas variasi kadar semen sampai dengan regangan 13,157%. Kadar semen 0%, 1%, 2%, dan 3% menunjukkan penurunan yang tidak langsung signifikan seiring besarnya regangan yang terjadi. Berbeda dengan kadar semen 4% sampai 8% yang memiliki nilai uji tekan bebas mulai dari 10,331 kg/cm², menunjukkan penurunan yang langsung signifikan seiring besarnya regangan yang terjadi.



Gambar 2. Grafik Peningkatan Nilai Kuat Tekan Bebas dengan Kadar Semen

Menurut Kezdi (1790), proses sementasi pada tanah akan menyebabkan penggumpalan yang merekat antar partikel, rongga-rongga pori yang ada sebagian akan dikelilingi bahan sementasi yang lebih keras dan lebih sulit untuk ditembus air. Meningkatnya perubahan besar kadar semen, mempengaruhi juga peningkatan nilai kuat tekan bebas yang terjadi, seperti pada **Gambar 2**.

Dari hasil pengujian, kadar semen 7% dengan nilai uji kuat tekan bebas sebesar 19,989 kg/cm², hampir mencapai nilai minimum nilai kuat tekan bebas yang diisyaratkan Spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar 20 kg/cm². Target nilai uji kuat tekan yang diisyaratkan hanya dipenuhi oleh kadar semen 8% sebesar 28,195 kg/cm².

Peningkatan nilai uji kuat tekan bebasnya bila dibandingkan dengan nilai kuat tekan bebas tanah tanpa semen (semen 0%) yang diuji tanpa perendaman empat jam setelah tujuh hari masa perawatan sangat signifikan. Penambahan semen dalam meningkatkan nilai uji kuat tekan bebas sangat signifikan. Misalnya pada kadar semen 4%, dapat meningkatkan sampai hampir empat kali lipat nilai kuat tekan bebasnya. Seiring besarnya penambahan kadar semen, semakin besar juga peningkatan nilai uji kuat tekan bebasnya seperti kadar semen 8%, yang mencapai 12,6 kali lipat dari nilai uji kuat tekan bebas

tanah kapur Wasay tanpa semen. Kadar semen 8% yang ialah kadar semen optimum dilakukan pengujian kuat tekan bebas dengan masa perawatan 7 (tujuh) hari dan 14 (empat belas) hari.

Peningkatan nilai uji kuat tekan bebas seiring bertambahnya masa perawatan secara signifikan terjadi pada masa perawatan 3 (tiga) hari ke masa perawatan 7 (tujuh) hari sebesar 87,5%. Kadar semen 8% pada masa perawatan 3 (tiga) hari menghasilkan nilai uji kuat tekan bebas sebesar 15,037 kg/cm² dan pada masa perawatan 7 (tujuh) hari sebesar 28,195 kg/cm². Sedangkan peningkatan nilai uji kuat tekan bebas pada masa perawatan 7 (tujuh) hari dibanding masa perawatan 14 (empat belas) hari, hanya sebesar 1,344% dimana masa perawatan empat belas hari menghasilkan nilai uji kuat tekan bebas sebesar 28,574 kg/cm².

Pada masa perawatan 7 (tujuh) hari, kadar semen 8% telah memasuki masa puncak pengikatan antara semen dan tanah kapur Wasay, karena nilai uji kuat tekan bebas mulai konstan pada masa perawatan 7 (tujuh) hari ke masa perawatan 14 (empat belas) hari. Sehingga masa perawatan optimum adalah selama 7 (tujuh) hari, sama seperti yang diinstruksikan dalam Spesifikasi Bina Marga 2018, dan peningkatan nilai uji kuat tekan bebas juga dipengaruhi oleh sifat reaksi kimia semen pada masa perawatan sampel.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan klasifikasi tanah menurut metode USCS, tanah kapur Wasay masuk dalam kategori pasir berlanau atau *silty sand* (SM) dengan indeks plastisitas (PI) < 4%. Klasifikasi tanah berdasarkan metode AASHTO, tanah kapur Wasay termasuk dalam kategori A-2 yaitu kerikil dan pasir berlanau atau berlempung. Berdasarkan hasil pengujian berat jenis tanah, tanah kapur Wasay merupakan tipe tanah pasir berlanau atau *silty sand*. Dari hasil pengujian kepadatan tanah ringan menggunakan standart *proctor*, tanah kapur Wasay mempunyai kadar air optimum sebesar 16,5% dan berat isi kering sebesar 1,72 gr/cm³.

Nilai uji kuat tekan bebas mengalami peningkatan seiring meningkatnya kadar semen pada campuran semen dan tanah kapur Wasay. Variasi kadar semen dari 0% sampai 8% dengan interval 1% menunjukkan nilai uji kuat tekan bebas yang terus meningkat. Sehingga diperoleh kadar optimum semen yaitu 8% dengan nilai uji kuat tekan bebasnya sebesar 28,195 kg/cm², Sebagaimana yang memenuhi nilai uji kuat tekan bebas yang diisyaratkan Spesifikasi Bina Marga 2018. Peningkatan nilai uji kuat tekan bebas juga terjadi seiring lamanya masa perawatan, dengan masa perawatan optimum 7 (tujuh) hari.

6. DAFTAR REFERENSI

- ASTM D 698. (1998). *Soil and Rock*. United States: Association of Standard Testing Materials.
- Biro Komunikasi Publik Kementrian PUPR. (2018, Februari 28). *Jalan Trans Papua Barat 1.070 Km Tersambung*. Retrieved Februari 02, 2019, from PU-net Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia: <https://www.pu.go.id/berita/view/15371/jalan-trans-papua-barat-1-070-km-tersambung>.
- Bowles, J. E. (1970). *Engineering Properties of Soil and Their Measurement*. McGraw-Hill, Incorporated. New York.
- Das, M. B., & Shoban, K. (2012). *Principles of Geotechnical Engineering 8th Edition, SI*. Cengage Learning. Stamford.
- Direktorat Jendral Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum Bina Marga*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jendral Bina Marga.
- Hardjowigeno, S. (1993). *Ilmu Tanah*. Akademika Pressindo. Jakarta
- Kezdi, A., (1979), "*Stabilization Earth Roads*", Elvesier Scientific Publishing Company, New York.
- Nono. (2009, Agustus). *Kajian Penggunaan Lapis Pondasi Agregat yang Distabilisasi Semen*. 26(2).

- Pirmadona, S., Muhardy, & Kurniawandy, A. (2012). *Stabilitas Tanah Plastisitas Rendah dengan Semen*. Jom FTeknik, II(2).
- SNI 03-6798-2002 (2002). *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Kuat Tekan dan Lentur Tanah Semen di Laboratorium*. Badan Standarisasi Nasional
- SNI 1742:2008 (2008). *Cara Uji Kepadatan Ringan untuk Tanah*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 6887:2012 (2012). *Metode Uji Kuat Tekan Silinder Campuran Tanah-Semen*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 7064:2014 (2014). *Semen Portland Komposit*. Badan Standarisasi Nasional.
- Terzaghi, Peck, & Mesri (1996), *Soil Mechanics In Engineering Practice*. John Wiley & Sons. Canada.
- Todingrara, Y. T., M. W. Tjaronge., T. Harianto., & Ramli, M. (2016, September). Studi Karakteristik Mikro Struktur dan Tegangan pada Material Berbasis Olahan Kapur. *Publikasi Ilmiah S3 Teknik Sipil Unhas*, p. 55.