

KUAT TEKAN TANAH-SEMEN DENGAN PENAMBAHAN BAHAN STABILISASI KIMIA UNTUK LAPIS PONDASI JALAN

Franky E.P. Lopian^{a*}, Miswar Tumpu^b, Irianto^c, Mansyur^d

^a Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Yapis Papua, Jayapura, Indonesia

^b Magister Manajemen Bencana, Sekolah Pascasarjana, Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia

^c Magister Rekayasa Sipil, Program Pascasarjana, Universitas Yapis Papua, Jayapura, Indonesia

^d Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sembilan belas November, Kolaka, Indonesia

ARTICLE INFO

Keywords:

Stabilisasi tanah semen,
Kuat tekan,
Bahan aditif kimia

ABSTRAK

Banyak permasalahan utama sering muncul dalam pembangunan jalan, terutama di wilayah yang memiliki keterbatasan material lokal seperti daerah Papua. Keterbatasan ini menyebabkan kebutuhan untuk mengimpor material dari luar wilayah, seperti batu pecah yang digunakan sebagai agregat kasar. Dari sudut pandang geoteknik, konstruksi jalan terdiri atas beberapa lapisan perkerasan, meliputi tanah dasar (subgrade), lapisan pondasi bawah, lapisan pondasi atas, serta lapisan permukaan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kuat tekan tanah yang distabilisasi dengan semen melalui penambahan bahan kimia sebagai stabilisator tambahan. Penelitian ini dilakukan di laboratorium dengan menggunakan metode eksperimental. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata kuat tekan dari lima sampel tanah laterit yang dicampur dengan 10% semen dan 2% bahan stabilisasi kimia mencapai 2,39 MPa atau setara dengan 24,40 kg/cm².



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Journal homepage: <https://jurnal.konteks.web.id/index.php/konteks/index>

Article History:

Received mm dd, yyyy || Revised mm dd, yyyy || Accepted mm dd, yyyy || Published mm dd, yyyy

1. PENDAHULUAN

Pada wilayah dengan muka air tanah yang relatif tinggi, program pemeliharaan jalan secara rutin sering kali tidak mampu mencegah terjadinya kerusakan dini pada perkerasan lentur. Kondisi tersebut umumnya disebabkan oleh daya dukung tanah dasar yang lemah di bawah lapisan perkerasan jalan (Rangan et al., 2023; Parea et al., 2023). Daerah dengan kadar air tinggi dapat memengaruhi baik lapisan pondasi bawah maupun pondasi atas, sehingga mengurangi kapasitas dukung tanah dasar serta agregat pondasi (Irianto et al., 2023; Parung et al., 2023). Lemahnya daya dukung pada lapisan pondasi ini disebabkan oleh naiknya butiran halus dari tanah dasar ke lapisan pondasi bawah hingga ke pondasi atas, yang pada akhirnya menurunkan kestabilan lapisan jalan (Maulana et al., 2023). Oleh karena itu, untuk pembangunan jalan baru maupun rehabilitasi jalan lama yang memiliki kapasitas dukung rendah, dibutuhkan alternatif material pondasi selain agregat alami (Rangan et al., 2021).

Tanah laterit banyak dijumpai di wilayah Papua, terutama di daerah Jayapura dan Merauke, sementara batu gamping melimpah di Sorong, Fak-Fak, Manokwari, dan Biak. Tanah laterit memiliki kepekaan tinggi terhadap perubahan cuaca, sehingga membutuhkan perlakuan khusus sebelum digunakan sebagai bahan perkerasan jalan. Lapisan tanah dasar (subgrade) berfungsi menopang struktur perkerasan yang terdiri atas lapisan pondasi bawah (subbase), pondasi atas (base), dan lapisan permukaan (surface course). Ketebalan serta mutu perkerasan sangat bergantung pada sifat tanah dasar; oleh karena itu, pemahaman yang tepat terhadap kondisi subgrade sangat penting untuk menentukan tebal perkerasan jalan yang optimal (Sujit Kumar Dash & Hussain, 2012).

Penelitian mengenai stabilisasi tanah dengan bahan pengikat telah dilakukan oleh berbagai peneliti. Dash dan Hussain (2012) meneliti stabilisasi tanah menggunakan kapur (CaO) dan menemukan bahwa kuat tekan bebas tanah mengembang meningkat hingga 2200 kPa pada kadar kapur optimum 9%. Horpibulsuk et al. (2005) melakukan uji kuat tekan bebas pada tanah liat jenuh air yang dicampur semen, dan menunjukkan bahwa kadar semen 8–33% dapat menghasilkan kuat tekan 1900–2200 kPa pada umur 28 hari. Selanjutnya, Portelinha et al. (2012) meneliti pencampuran kapur dan semen pada tanah laterit, dan hasilnya menunjukkan peningkatan kuat tekan dari 300 kPa

menjadi 1100 kPa setelah 7 hari pada kadar semen 3%.

Studi lain oleh Consoli et al. (2001) menggunakan fly ash dan kapur karbida untuk menstabilkan tanah berpasir lanauan non-plastik, yang menunjukkan peningkatan kekuatan tekan signifikan setelah 90 hari akibat reaksi pozzolan. Sementara itu, Horpibulsuk et al. (2003) menjelaskan hubungan antara kadar air dan kuat tekan menggunakan hukum Abrams pada tanah liat bercampur semen berkadar air tinggi. Yi et al. (2014) meneliti kombinasi GGBS, MgO, kapur, dan semen Portland, dan menemukan bahwa campuran dengan MgO 2–20% menghasilkan kuat tekan empat kali lipat lebih tinggi dibandingkan semen Portland setelah 28 hari. Latifi et al. (2015) memanfaatkan bahan aditif cair TX-85 pada tanah laterit tropis dan memperoleh peningkatan kuat tekan bebas hingga empat kali lipat dibandingkan tanah tanpa stabilisasi cair.

Penelitian oleh Tang et al. (2007) menambahkan serat polipropilena (PP) pada tanah liat yang distabilisasi semen, dan menunjukkan peningkatan kuat tekan dari 0,2 MPa menjadi 0,64 MPa pada umur 28 hari. Sementara itu, Paul dan Gnanendran (2013) menggunakan fly ash dan slag sebagai bahan pozzolan untuk menstabilisasi material granular, menghasilkan kuat tekan hingga 4,2 MPa pada 28 hari. Sejalan dengan berbagai penelitian tersebut, Rangan et al. (2024) dan Tumpu & Mabui (2022) menegaskan bahwa penambahan bahan kimia seperti silikat terlarut atau kapur terhidrasi dapat meningkatkan kekuatan ikatan tanah-semen secara signifikan, sedangkan Mansyur et al. (2021) menyoroti pentingnya pemanfaatan sumber daya lokal seperti air laut dan bahan tambahan alami untuk pembangunan yang berkelanjutan.

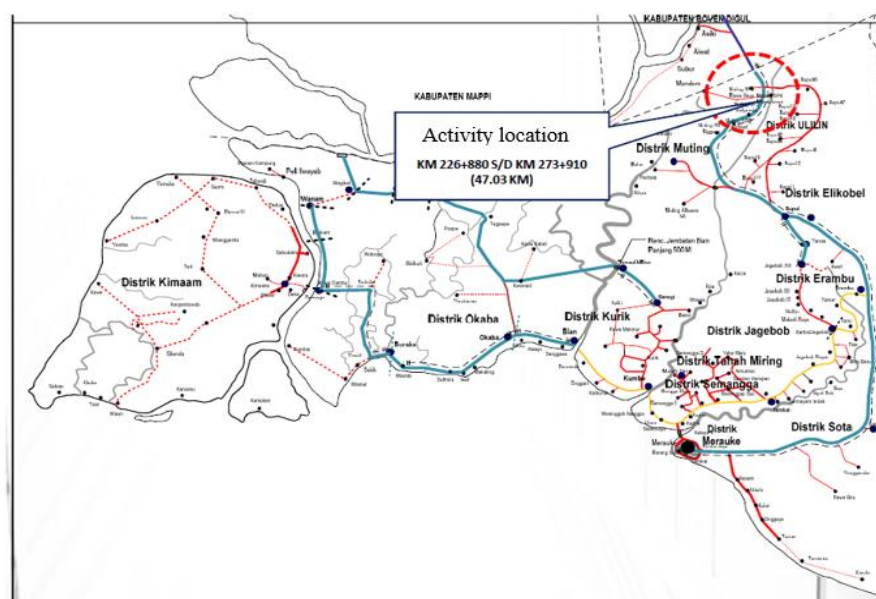
Berdasarkan kajian-kajian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji nilai kuat tekan tanah-semen dengan penambahan bahan aditif kimia sebagai stabilisator, dengan studi kasus pada proyek preservasi jalan Muting–Bupul, Papua (2018). Penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif solusi terhadap keterbatasan material lokal di Papua sekaligus mendukung pengembangan teknik stabilisasi tanah berkelanjutan di daerah tropis Indonesia.

2. MATERIAL DAN METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui kerja sama dengan Laboratorium Balai Pelaksanaan Jalan Nasional (BPJN) Wilayah Jayapura, Abepura, Papua. Kegiatan penelitian dilakukan selama tiga bulan, mencakup tahap pengambilan sampel tanah, pengujian karakteristik fisik dan mekanik tanah, serta pelaksanaan uji kuat tekan bebas di laboratorium. Lokasi studi kasus berada pada Proyek Rehabilitasi dan Preservasi Jalan Muting–Bupul Tahun 2018, yang merupakan salah satu proyek peningkatan infrastruktur jalan nasional di wilayah selatan Papua. Wilayah Muting–Bupul dipilih sebagai lokasi penelitian karena memiliki karakteristik tanah laterit dengan plastisitas tinggi yang umum dijumpai di daerah tropis Papua, sehingga menimbulkan tantangan dalam pekerjaan konstruksi jalan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi peningkatan daya dukung tanah laterit melalui proses stabilisasi menggunakan semen dan bahan kimia tambahan (chemical additive stabilizer), sebagai upaya untuk meningkatkan mutu lapisan pondasi tanah dasar pada proyek jalan di wilayah tersebut. Gambar 1 memperlihatkan lokasi penelitian yang menjadi fokus kegiatan ini.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Tahapan Pengujian dan Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, tanah laterit digunakan sebagai bahan utama. Tahap awal dilakukan karakterisasi terhadap sifat fisik dan mekanik tanah tersebut untuk menilai kelayakannya digunakan dalam proses stabilisasi tanah dengan semen dan bahan kimia tambahan. Sampel tanah laterit diperoleh dari Proyek Rehabilitasi dan Preservasi Jalan Muting–Bupul Tahun 2018. Sifat fisik tanah kemudian diuji di laboratorium, dan hasil pengujian disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Berdasarkan hasil uji analisis saringan (sieve analysis), tanah dapat diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7 menurut sistem klasifikasi tanah AASHTO, apabila persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 (0,075 mm) lebih besar dari 76,03%. Tanah tersebut termasuk dalam kelompok A-5 apabila batas cair (Liquid Limit, LL) lebih besar dari 41%. Nilai indeks plastisitas (Plasticity Index, PI) sebesar 21,79% menunjukkan bahwa tanah ini berada pada kisaran A-5 (PI < 10%) dan A-7 (PI > 11%). Lebih lanjut, tanah dikelompokkan menjadi dua subkelas yaitu A-7-6 (PL < 30%) dan A-7-5 (PL > 30%). Dengan nilai batas plastis (Plastic Limit, PL) sebesar 24,31% (< 30%), maka tanah laterit yang digunakan dalam penelitian ini termasuk dalam kelompok A-7-5.

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2006) dalam Buku 7: Pekerjaan Pondasi Jalan (Lapisan Tanah Kapur), tanah dengan klasifikasi A-7-5 tergolong sebagai tanah lempung berplastisitas tinggi yang memiliki sifat ekspansif. Jenis tanah ini umumnya memerlukan perlakuan stabilisasi untuk meningkatkan daya dukung dan kestabilannya. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan stabilisasi tanah menggunakan semen dengan tambahan bahan kimia aditif untuk memperbaiki kekuatan tekan bebas dan sifat mekanik tanah dasar laterit yang digunakan sebagai lapisan pondasi jalan.

Tabel 1. Sifat fisik tanah laterit

No.	Sifat fisik	Hasil pemeriksaan
1	Berat jenis	2,58
2	Analisa saringan	>30% pass no.200
3	Batas-batas Atterberg	
	a. Batas cair	46,10%
	b. Batas plastis	24,31%
	c. Indeks plastisitas (PI)	21,79%
4	Klasifikasi tanah	A-7-5
	Karakteristik mekanik	
1	Pemadatan	
	a. γ_{dry}	1,60 gr/cm ³
	b. W_{opt}	2164%
2	Kuat tekan	0,44 MPa

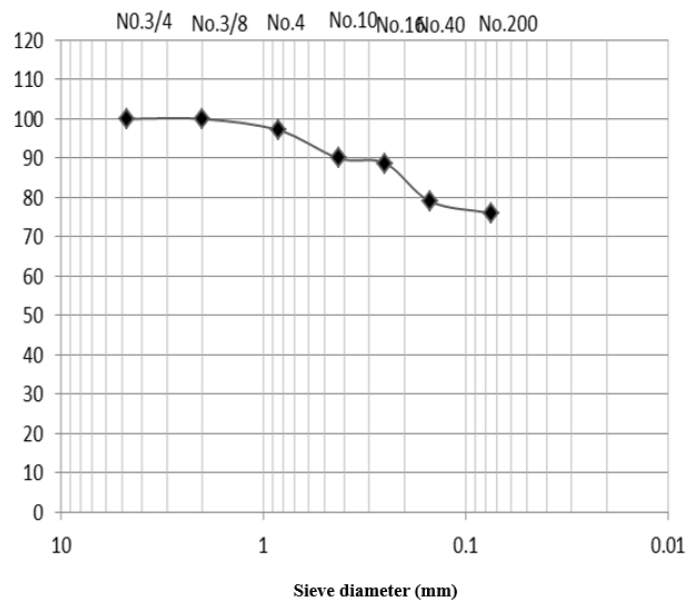
Tabel 2. Karakteristik kimia tanah laterit

Senyawa kimia	Kandungan (%)
SiO ₂	73,74
Al ₂ O ₃	17,49
Fe ₂ O ₃	5,61
TiO ₂	1,82
MgO	0,70
ZrO ₂	0,23
K ₂ O	0,14
SO ₃	0,10
Cl	0,05

Untuk mengetahui kandungan kimia yang terdapat pada tanah laterit dari wilayah Merauke–Mindiptana, dilakukan analisis karakteristik kimia tanah tersebut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komposisi utama tanah laterit ini terdiri atas Fe₂O₃ sebesar 5,61%, Al₂O₃ sebesar 17,49%, dan SiO₂ sebesar 73,74%. Tanah jenis ini termasuk dalam kelompok tanah lempung (clay soil) yang memiliki butiran sangat halus, mudah dibentuk, serta memiliki gaya adhesi yang tinggi antar partikelnya.

Hasil analisis saringan (sieve analysis) ditunjukkan pada Gambar 2, yang memperlihatkan bahwa lebih dari 76,03% butiran tanah lolos saringan No. 200 (0,075 mm), menandakan bahwa tanah ini memiliki ukuran butir halus yang dominan. Berdasarkan klasifikasi AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials),

tanah tersebut termasuk dalam kelompok A-7-5, yaitu tanah lempung dengan plastisitas tinggi. Dalam penentuan klasifikasi tanah dengan ukuran butir lebih besar dari 0,075 mm, batas Atterberg (Atterberg limits) menjadi parameter utama yang lebih berpengaruh dibandingkan dengan gradasi tanah.



Gambar 2. Grafik Analisa saringan

Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6887-2002. Dalam metode ini, pengukuran kuat tekan dilakukan dengan memberikan beban tekan secara kontinu dan monoton pada benda uji di antara dua batang penekan dengan laju pembebanan yang konstan, hingga benda uji mengalami tegangan tekan maksimum. Benda uji berbentuk silinder ditempatkan dalam posisi tegak (vertikal) selama proses pengujian kuat tekan berlangsung. Akibat adanya tegangan tekan yang terus meningkat, benda uji akan mengalami keruntuhan (collapse) atau kehancuran diri (self-destruct).

Kuat tekan didefinisikan sebagai tegangan tekan maksimum yang menyebabkan benda uji mengalami keruntuhan atau disintegrasi. Setelah benda uji silinder mencapai umur pengujian yang ditentukan, benda uji dilepaskan dari cetakan plastik. Benda uji yang digunakan memiliki diameter 5 cm dan tinggi 10 cm. Proses pengujian kuat tekan dilakukan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) berkapasitas 1000 kN (Tokyo Testing Machine Inc.) yang terhubung dengan data logger dan komputer untuk pencatatan data secara otomatis. Untuk menjaga konsistensi regangan, laju penurunan beban diatur konstan sebesar 0,1 kaki per menit. Peralatan yang digunakan dalam pengujian kuat tekan ini ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Alat pengujian kuat tekan

Stabilizer Aditif Kimia

Ketergantungan yang berlebihan terhadap bahan penstabil tanah impor tanpa diragukan lagi memiliki sejumlah kelemahan yang signifikan, antara lain:

1. Harga yang jauh lebih mahal;
2. Komposisi bahan penstabil tanah yang belum tentu sesuai dengan kondisi tanah di Indonesia; dan
3. Kesulitan dalam menentukan kadar optimal bahan penstabil tanah dalam campuran semen komposit karena tidak adanya pengujian tanah awal di lokasi perkerasan jalan serta jarak produsen yang relatif jauh.

Namun, pertanyaan penting yang muncul adalah mengapa hingga saat ini Indonesia belum mampu mengembangkan bahan penstabil tanah sendiri dan masih bergantung pada produk impor. Para peneliti terus berupaya mengembangkan penstabil tanah kimia yang lebih ekonomis, berkualitas tinggi, dan memiliki komposisi yang sesuai dengan karakteristik tanah di Indonesia. Penstabilan tanah merupakan teknik untuk meningkatkan kualitas tanah agar memenuhi persyaratan teknis material dalam aplikasi rekayasa sipil. Proses ini dapat dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu penstabilan mekanis (fisik) dan penstabilan kimia.

Penstabilan mekanis bertujuan untuk meningkatkan sifat fisik tanah, misalnya dengan pemadatan (compaction) yang dapat mengurangi volume rongga udara hingga tercapai kadar air optimum. Sementara itu, penstabilan kimia dilakukan dengan memperkuat ikatan mikro antar butiran tanah melalui reaksi kimia antara tanah dan bahan aditif. Dalam penelitian ini, dikembangkan penstabil tanah kimia berbasis mekanisme pertukaran ion (ion exchange) sebagai salah satu metode penstabilan kimia. Penstabil tanah kimia berfungsi membantu proses stabilisasi dan solidifikasi tanah, dengan cara menghilangkan lapisan penghalang berupa air pada permukaan partikel tanah.

Melalui pengamatan mikroskopis, permukaan partikel tanah diketahui memiliki lapisan air tipis yang menimbulkan gaya adhesi tinggi, sehingga air tersebut sulit berpindah secara vertikal meskipun dapat bergerak secara horizontal. Lapisan air inilah yang sering kali menghambat proses pengerasan semen dalam campuran tanah-semen. Dengan penambahan penstabil tanah kimia, lapisan air tersebut dapat dihilangkan karena bahan penstabil mengandung material anorganik dengan energi ikatan ionik yang lebih tinggi dibandingkan energi ikatan pada permukaan butiran tanah.

Dalam penelitian ini, formulasi penstabil tanah kimia diuji beberapa kali untuk memperoleh hasil terbaik, dan hasilnya menunjukkan peningkatan yang signifikan. Tanah yang distabilisasi dengan campuran semen menunjukkan peningkatan kuat tekan hingga 200% dibandingkan dengan tanah asli tanpa campuran semen. Selanjutnya, dengan penambahan komponen penstabil tanah kimia pada campuran tanah-semen, kuat tekan meningkat hingga 600% dibandingkan tanah asli, atau sekitar 300% lebih tinggi dibandingkan campuran tanah-semen tanpa bahan kimia.

Peningkatan ini menunjukkan bahwa penggunaan penstabil tanah kimia mampu menghasilkan nilai kuat tekan maksimum, yang juga tercermin dari peningkatan nilai CBR (California Bearing Ratio) sebagai parameter daya dukung lapisan perkerasan jalan. Nilai CBR ditentukan berdasarkan spesifikasi desain yang mempertimbangkan gradasi tanah dan kadar semen dalam campuran. Aplikasi penstabil tanah kimia dapat memberikan nilai CBR maksimum hingga 200%, yang menunjukkan pengaruh positif terhadap peningkatan kualitas perkerasan jalan. Selain itu, efisiensi biaya dari penggunaan bahan penstabil tanah kimia ini juga dapat menurunkan biaya konstruksi proyek jalan secara signifikan, tanpa mengorbankan kualitas teknis material yang dihasilkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kekuatan Tekan Tanah dengan Stabilizer Aditif Kimia

Penelitian ini melaksanakan uji kuat tekan bebas (Unconfined Compressive Strength Test) pada campuran tanah laterit (tanah lunak) yang distabilisasi menggunakan 10% semen dan 2% bahan aditif stabilisator kimia tanah. Sampel penelitian diperoleh dari Proyek Rehabilitasi dan Preservasi Jalan Muting–Bupul tahun 2018. Pengambilan sampel dilakukan pada empat titik STA, yaitu STA 201+200, STA 200+900, STA 207+750, dan STA 207+65.

Uji kuat tekan bebas dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan semen dan bahan stabilisator kimia terhadap peningkatan kekuatan tanah laterit. Setiap sampel diuji setelah mengalami proses curing selama periode tertentu guna memastikan reaksi kimia antara semen, bahan aditif, dan partikel tanah berlangsung optimal. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat Universal Testing Machine (UTM) berkapasitas 1000 kN untuk memperoleh data tekanan maksimum yang menyebabkan benda uji mengalami keruntuhan.

Nilai kuat tekan bebas yang diperoleh dari hasil pengujian menggambarkan kemampuan tanah dalam menahan beban aksial tanpa adanya pengekanan dari sisi lateral. Data hasil uji kuat tekan bebas dari keempat STA tersebut menunjukkan variasi nilai kekuatan yang bergantung pada kondisi tanah, kadar air, serta homogenitas campuran stabilisator. Tabel 3 menampilkan hasil uji kuat tekan bebas untuk seluruh sampel tanah laterit yang telah distabilisasi, dengan perbandingan nilai antara tanah asli, tanah dengan semen, dan tanah dengan kombinasi semen serta bahan stabilisator kimia.

Tabel 3. Hasil pengujian kuat tekan

No.	STA	Berat benda uji (gr)	Berat volume (gr/cm ³)	Kuat tekan	
				(MPa)	(kg/cm ²)
1	201+200	2.851,0	1.816	2,96	30,18
2	200+900	2.816,7	1.794	1,78	18,15
3	207+750	2.723,2	1.735	2,32	23,66
4	207+65	2.810,0	1.790	2,51	25,59
Rata-rata				2,39	24,40

Benda uji pada STA 201+200, STA 200+900, STA 207+750, dan STA 207+65 masing-masing memiliki berat sebesar 2851,0 gr, 2816,7 gr, 2723,2 gr, dan 2810,0 gr, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3. Nilai berat isi (content weight) yang sesuai adalah 1,816 gr/cm³, 1,794 gr/cm³, 1,735 gr/cm³, dan 1,790 gr/cm³. Nilai kuat tekan bebas (unconfined compressive strength) yang diperoleh di setiap STA adalah 2,96 MPa, 1,78 MPa, 2,32 MPa, dan 2,51 MPa, dengan rata-rata sebesar 2,39 MPa. Berdasarkan nilai kuat tekan bebas tanah laterit murni sebesar 0,44 MPa (Tabel 2), terlihat bahwa penambahan 2% bahan kimia DIFA pada stabilisasi tanah dengan 10% semen mampu meningkatkan kuat tekan bebas sebesar 4,43 kali lipat dibandingkan dengan tanah tanpa stabilisasi (SNI 03-6887-2002).

Hasil pengujian menunjukkan bahwa karakteristik mekanik tanah lempung awal berubah setelah distabilisasi menggunakan kombinasi semen dan bahan stabilisator kimia. Penggunaan stabilisator kimia dapat menurunkan kadar air optimum, meningkatkan volume kering dan berat jenis tanah laterit, serta meningkatkan nilai CBR (California Bearing Ratio) pada kondisi perendaman selama empat hari (Hardiyatmo, 2019). Hal ini terjadi karena stabilisator kimia mampu menghambat penetrasi air ke dalam pori tanah, sehingga menjaga stabilitas tanah, terutama pada musim hujan ketika nilai CBR biasanya menurun drastis. Proses stabilisasi kimia ini juga melarutkan asam humus pada permukaan butiran tanah, yang membuat partikel semen melekat lebih kuat pada tanah, menghasilkan struktur tanah yang lebih padat dan stabil (Mitchell & Soga, 2005).

Nilai kuat tekan bebas tanah meningkat dengan penambahan semen dan bahan stabilisator kimia, namun modulus elastisitas (elastic modulus) tanah asli tidak meningkat secara signifikan hanya dengan penambahan bahan stabilisator kimia. Nilai modulus elastisitas tanah asli adalah 13,04 MPa, sedangkan dengan penambahan 2% bahan stabilisator kimia saja, nilai modulus elastisitas meningkat menjadi 13,38 MPa. Kenaikan ini tergolong kecil, sehingga dapat disimpulkan bahwa bahan stabilisator kimia perlu digunakan bersama material stabilisasi lain seperti semen agar memberikan efek yang optimal terhadap peningkatan kekuatan tanah (Kezdi, 1979).

Sejumlah penelitian terdahulu telah mengkaji stabilisasi tanah menggunakan semen Portland biasa (Ordinary Portland Cement). Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaksi kimia antara semen dan tanah lempung menghasilkan material komposit semen, yang meningkatkan kekuatan geser (shear strength) dan batas susut (shrinkage limit), serta menurunkan indeks plastisitas, batas cair (liquid limit), dan potensi pengembangan tanah (swelling potential) (Chen et al., 2019; Horpibulsuk et al., 2012). Dengan demikian, nilai kuat tekan bebas tanah meningkat secara signifikan seiring dengan lama waktu perawatan (curing time) dan peningkatan kadar semen dalam campuran tanah (Basha et al., 2005; Bello et al., 2015).

4. KESIMPULAN

Dengan mendorong penggunaan sumber daya lokal, hasil penelitian ini dapat berkontribusi secara signifikan terhadap pembangunan infrastruktur nasional, khususnya di wilayah Papua. Pendekatan ini diyakini mampu mengurangi ketergantungan pada bahan impor dari daerah lain seperti Sulawesi, sekaligus mendukung pembangunan berkelanjutan yang ramah lingkungan dan efisiensi biaya dalam pelaksanaan proyek jalan raya (Hardiyatmo, 2019). Melalui pemanfaatan bahan lokal seperti tanah laterit, biaya transportasi dan logistik dapat ditekan secara substansial tanpa mengurangi kualitas hasil konstruksi (Mitchell & Soga, 2005).

Berdasarkan hasil pengujian, campuran tanah laterit dengan 10% semen dan 2% bahan tambahan Chemical Soil Stabilizer menunjukkan nilai kuat tekan bebas rata-rata sebesar 2,39 MPa, atau setara dengan 24,40 kg/cm². Nilai ini menandakan peningkatan signifikan dibandingkan dengan tanah laterit tanpa stabilisasi, dan menunjukkan bahwa penggunaan bahan stabilisator kimia lokal mampu meningkatkan kekuatan serta daya dukung tanah secara efektif (Basha et al., 2005). Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat menjadi alternatif solusi teknologi tepat guna dalam pembangunan perkerasan jalan di wilayah dengan keterbatasan material konstruksi alami, seperti di Papua bagian selatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Basha, E.A., Hashim, R., Mahmud, H.B. and Muntohar, A.S., 2005. *Stabilization of residual soil with rice husk ash and cement*. Construction and Building Materials, 19(6), pp.448–453.
- Bello, A.A., Ige, J.A. and Ibitoye, M.O., 2015. *Stabilization of lateritic soil with cement, bitumen and lime for road construction*. International Journal of Scientific & Technology Research, 4(8), pp.330–334.

- Chaosheng Tang, Bin Shi, Wei Gao, Fengjun Chen, Yi Ca, Strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil, *Geotextiles and Geomembranes* 25 (2007) 194–202.
- Chen, R., Zhang, Y., Lin, J. and Shen, D., 2019. *Effect of cement content and curing time on strength and durability of cement-treated soils*. *Construction and Building Materials*, 227, p.116702.
- D. K. Paul & C. T. Gnanendran (2013) Stress–strain behaviour and stiffness of lightly stabilised granular materials from UCS testing and their predictability, *International Journal of Pavement Engineering*, 14:3, 291–308.
- F.H.M. Portelinha, D.C. Lima, M.P.F. Fontes, C.A.B. Carvalho (2012), Modification of a Lateritic Soil with Lime and Cement: An Economical Alternative for Flexible Pavement Layers, *Soils and Rocks*, São Paulo, 35(1): 51–63.
- Hardiyatmo, H.C., 2019. *Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan dan Bangunan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H.C., 2019. *Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan dan Bangunan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Horpibulsuk, S., Rachan, R., Chinkulkijniwat, A. and Raksachon, Y., 2012. *Strength development in cement admixed Bangkok clay: Laboratory and field investigations*. *Soils and Foundations*, 52(2), pp.277–287.
- Irianto., Tumpu M., Mabui D. S., Rochmawaty R., and Sila A. A. 2023. Potential of Pyrolyzing Mixed Polyethylene Terephthalate and Polypropylene Plastic Wastes for Utilization in Asphalt Binder. *Annales de Chimie - Science des Matériaux*, Vol. 47, No. 3, June, 2023, pp. 133–140
- Kezdi, A., 1979. *Stabilized Earth Roads*. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Mansyur, Amiruddin A.A., Parung H., Tjaronge M.W. and Tumpu M. 2021. Utilization of Sea Water to Production of Concrete in Terms of Mechanical Behavior. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 921 (2021) 012068. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/921/1/012068/meta>.
- Maulana A., Tumpu M., Indriani I. P., Utama I. 2023. Flood Sedimentology for Future Floods Mitigation in North Luwu, Sulawesi, Indonesia. *Civil Engineering Journal*. Vol. 9, No. 04, April, 2023.
- Mitchell, J.K. and Soga, K., 2005. *Fundamentals of Soil Behavior*. 3rd ed. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Nilo Cesar Consoli, Pedro Prietto, J. Antonio H. Carraro dan Karla Salvagni Heineck, (2001), Behavior of Compacted Soil-Fly Ash-Carbide Lime Mixtures, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, pp. 774–782.
- Nima Latifi, Aminaton Marto and Amin Eisazadeh, Analysis of strength development in non-traditional liquid additive-stabilized laterite soil from macro and micro-structural considerations, *Environ Earth Sci* (2015) 73:1133–1141.
- Parea R. Rangan, M. Tumpu, Mansyur, James Thoengsal, "A Preliminary Study of Alkali-Activated Pozzolan Materials Produced with Sodium Hydroxide Activator," *International Journal of Engineering Trends and Technology*, vol. 71, no. 7, pp. 375–382, 2023. Crossref, <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V71I7P236>.
- Parung H., Tumpu M., Tjaronge M. W., Amiruddin A. A., Walenna M. A., and Mansyur. 2023. Crack Pattern of Lightweight Concrete under Compression and Tensile Test. *Annales de Chimie Science des Matériaux*, Feb. 2023, Vol. 47 Issue 1, p35–41.
- Rangan P. R., Tumpu M., and Mansyur. Study of the Effect of Soluble Silicates (Waterglass) and Limestone on the Compressive Strength Test, Cohesion and Modulus of Soil Stiffness. *AIP Conference Proceedings*, 2024, 3110(1), 020026.
- Rangan P. R., Tumpu M., Mansyur, Mabui D. S. 2023. Assessment of Fly Ash-Rice Straw Ash-Laterite Soil Based Geopolymer Mortar Durability. *Civil Engineering Journal*, Vol. 9, No. 06, June, 2023.
- Rangan P.R., Tumpu M., Caroles L., and Mansyur. 2021. Compressive strength of high-strength concrete with cornice adhesive as a partial replacement for cement. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 871 (2021) 012064. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/871/1/012006/meta>.
- S. Horpibulsuk, N. Miura dan T. S. Nagaraj, (2003), Assessment of strength development in cement-admixed high water content clays with Abrams' law as a basis, *Geotechnique* 53, No. 4, pp. 439–444.
- S. Horpibulsuk, N. Miura, and T. S. Nagaraj, (2005), Clay–Water/Cement Ratio Identity for Cement Admixed Soft Clays, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 131, No. 2, pp. 187–192.
- SNI 03-6887-2002. *Metode Pengujian Kuat Tekan Bebas Tanah yang Distabilisasi dengan Bahan Pengikat Hidrolik*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Sujit Kumar Dash dan Monowar Hussain, 2012, Lime Stabilization of Soils: Reappraisal, *Journal of Pavement Engineering*, Vol. 2Maten Civi4, No. 6, pp. 707–714.
- Tumpu M. and Mabui D.S. 2022. Effect of Hydrated Lime (Ca(OH)₂) to Compressive Strength of Geopolymer Concrete. *AIP Conference Proceedings* 2391, 070011 (2022); <https://doi.org/10.1063/5.0086702>. <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/5.0086702>.
- Yaolin Yi, S.M., Martin Liska, and Abir Al-Tabbaa, (2014), Properties of Two Model Soils Stabilized with Different Blends and Contents of GGBS, MgO, Lime, and PC, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 26, No. 2, pp. 267–274.