

Kajian Stabilisasi Tanah dengan Semen dan Bahan Tambah sebagai Lapis Pondasi pada Perkerasan Jalan (Studi Kasus : Tanah dari Kawasan Ibu Kota Nusantara)

Anglin Siona Tana*

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung
E-mail: anglin.siona.tana@gmail.com

Sony Sulaksono Wibowo

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung
E-mail: sonyssw@gmail.com

Harmein Rahman

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung
E-mail: rahmanharmein@gmail.com

Abstrak

Pembangunan IKN yang masif berdampak pada tingginya kebutuhan agregat sehingga harus disuplai dari luar pulau yang menyebabkan tingginya biaya konstruksi pembangunan jalan. Kajian ini menyelidiki pemanfaatan tanah lokal sebagai lapis pondasi untuk mengurangi kebutuhan agregat dan biaya konstruksi. Sampel tanah dari IKN diklasifikasikan sebagai Silty Sand, dengan kandungan butiran halus rendah, tingkat keasaman rendah, kadar sulfat rendah, dan bebas dari bahan organik, sehingga tanah ini layak untuk campuran tanah semen. Suatu campuran tanah semen yang digunakan sebagai lapis pondasi harus mencapai kuat tekan target (7 hari) 2400 kPa dan kehilangan berat di bawah 7%. Pengujian UCS dan Wetting-Drying digunakan untuk mengevaluasi parameter kekuatan dan durabilitas tersebut. Campuran tanah semen tidak selalu memberikan sifat-sifat campuran yang memadai sebagai lapis pondasi. Campuran tanah dengan 13% semen memenuhi persyaratan kekuatan, tetapi tidak memenuhi persyaratan durabilitas karena kehilangan beratnya yang tinggi (15,90%). Penambahan bahan tambah pada campuran tanah semen dapat memperbaiki kinerja campuran. Penambahan 1% bahan tambah pada campuran tanah semen, dapat menurunkan kehilangan berat hingga 57,45%. Campuran tanah dengan 13% semen dan 1% bahan tambah menghasilkan kuat tekan (7 hari) sebesar 2964,6 kPa dan kehilangan berat sebesar 6,77%, sehingga campuran ini memenuhi persyaratan kekuatan dan durabilitas sebagai lapis pondasi tanah semen (SCB).

Kata-kata Kunci: Kuat tekan, kehilangan berat, tanah semen, bahan tambah, lapis pondasi, perkerasan jalan, ibu kota nusantara.

Abstract

The massive development of Nusantara Capital City requires a large amount of aggregates, which must be transported from outside the island, increasing construction costs. This study investigates the use of local soil as a base layer to reduce aggregate demand and construction costs. Soil samples from the Nusantara Capital City area are classified as SM, with a high coarse fraction, low fines content (<50%), low acidity, low sulfate content, and free of organic matter, making them suitable for soil-cement mixtures. A soil-cement mixture used as a base layer must achieve a target compressive strength (7 days) of 2400 kPa and a weight loss below 7%. UCS and Wetting-Drying tests were used to evaluate these strength and durability parameters. The soil-cement mixture without additives did not meet the durability requirement due to high weight loss (15.90%). Adding 1% admixture reduced the weight loss by 57.45%. The mixture with 13% cement and 1% admixture achieved a 7-day compressive strength of 2964.6 kPa and a weight loss of 6.77%, meeting the strength and durability requirements for soil-cement base (SCB).

Keywords: UCS, weight loss, soil cement, additive, base layer, pavement, nusantara capital city.

1. Pendahuluan

Pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN) yang sangat masif berdampak pada tingginya kebutuhan akan agregat. Agar pembangunan IKN dapat terus berjalan, agregat harus disuplai dari luar pulau. Hal ini

mengakibatkan biaya konstruksi menjadi lebih mahal, termasuk dalam bidang pembangunan jalan. Upaya yang dapat dilakukan untuk menekan kebutuhan agregat dan menekan biaya konstruksi yaitu menggunakan alternatif lapis pondasi lainnya seperti lapis pondasi tanah semen (SCB). Material tanah

* Penulis Korespondensi: anglin.siona.tana@gmail.com

setempat memiliki daya dukung yang baik dan tersedia cukup banyak sehingga sangat mungkin untuk mengaplikasikan SCB pada perkerasan jalan.

Campuran tanah dengan semen tidak selalu menghasilkan sifat-sifat campuran yang memadai sebagai lapis pondasi pada perkerasan jalan. Penambahan bahan tambah pada campuran tanah semen dapat memperbaiki kinerja campuran sehingga memenuhi persyaratan kekuatan dan durabilitas sebagai lapis pondasi pada perkerasan jalan. Penelitian ini mengkaji stabilisasi tanah dari Kawasan Ibu Kota Nusantara dengan semen dan bahan tambah untuk digunakan sebagai lapis pondasi tanah semen (SCB).



Gambar 1. Pembangunan Jalan di Ibu Kota Nusantara

1.1 Stabilisasi tanah dengan semen

Stabilisasi tanah dengan semen adalah upaya untuk memperbaiki sifat-sifat tanah secara kimia sehingga tanah memiliki daya dukung yang baik dan memenuhi spesifikasi teknis tertentu. Mekanisme stabilisasi dengan semen terhadap tanah adalah adanya sementasi material selama proses hidrasi semen. Ikatan yang kuat antara partikel secara terus menerus membentuk suatu rangkaian yang keras sehingga material menjadi kuat dan padat. Keuntungan dari pemakaian semen untuk stabilisasi adalah semen memberikan ikatan antar partikel tanah yang lebih kuat.

Kalsium silikat (C_3S dan C_2S) merupakan unsur yang paling banyak, yaitu mencapai 70-80% dari semen. Bila semen terkena air, C_3S segera terhidrasi dan menghasilkan panas. Selain itu, C_3S juga berpengaruh besar pada kecepatan pengerasan semen, terutama sebelum mencapai umur 14 Hari. Sebaliknya, C_2S bereaksi lebih lambat dengan air, sehingga pengaruhnya pada pengerasan semen setelah berumur lebih dari 7 hari, dan kemudian memberikan kekuatan akhirnya. Unsur C_2S juga membuat semen tahan terhadap serangan bahan kimia, selain juga mereduksi besarnya penyusutan saat pengeringan. Untuk terjadinya reaksi kimia, kedua unsur utama ini membutuhkan air berturut-turut sekitar 24% dan 21% dari beratnya. Namun, saat terjadi hidrasi, C_3S membebaskan kalsium hidroksida hampir tiga kali lebih banyak dari yang dibebaskan oleh C_2S . Oleh karena itu, jika C_3S mempunyai presentasi lebih tinggi, maka akan dihasilkan proses pengerasan yang cepat pada pembentukan kekuatan awalnya yang disertai

dengan panas hidrasi yang tinggi. Sebaliknya, persen C_2S yang lebih tinggi menghasilkan proses pengerasan yang lambat, panas hidrasi yang rendah, dan mempunyai ketahanan terhadap serangan kimia yang lebih baik (Hadiyatmo, 2010).

Pada tanah-tanah pasir, banyak partikel-partikel tanah yang tersementasi. Namun dalam tanah lempung, proporsi partikel yang tersementasi kecil. Karena semen portland biasa terdiri dari 45% C_3S dan 27% C_2S , dan berhidrasi oleh adanya tanah dalam bentuk gel mono dan dikalsium silikat hidrat (CSH dan C_2SH) (Ingles dan Metcalf, 1972).

Berbagai jenis semen dapat digunakan untuk stabilisasi, tapi semen tipe I lebih banyak digunakan. Semen tipe II atau tipe V juga pernah digunakan, karena ketahanan yang lebih besar terhadap sulfat, dengan biaya yang dikeluarkan relatif sama. Semen tipe III yang mempunyai ukuran butiran lebih halus dan terdiri dari beberapa komposisi campuran yang berbeda menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi pada stabilisasi tanah tertentu.

1.2 Bahan tambah untuk campuran tanah semen

Bahan tambah untuk campuran tanah semen antara lain yaitu kapur, *fly ash*, *silica fume*, dan lain-lain. Bahan tambah hanya diperlukan untuk memperbaiki kinerja campuran tanah semen dan bukan sebagai bahan pokok. Bahan tambah akan menyebabkan terjadinya reaksi kimia yang bersifat memperbaiki sifat-sifat campuran tanah semen seperti meningkatkan stabilitas volume, meningkatkan kekuatan, dan meningkatkan durabilitas.

1.3 Spesifikasi lapis pondasi tanah semen (SCB)

Lapis Pondasi Tanah Semen (SCB) adalah lapis pondasi yang terbuat dari tanah yang distabilisasi dengan semen, berbiaya rendah dengan kualitas yang baik. Stabilisasi tanah dengan semen adalah campuran tanah dengan semen dan air dengan komposisi tertentu sehingga tanah tersebut memiliki sifat atau daya dukung yang lebih baik. Hasil yang baik dalam stabilisasi semen adalah apabila tanah bergradasi baik dan mempunyai butiran halus kurang dari 50%, serta indeks plastisitas kurang dari 18, dan batas cair kurang dari 40. Selain itu, tanah tidak mengandung sulfat dan bebas dari bahan organik. Umumnya, sulfat dan bahan organik akan mereduksi kekuatan campuran tanah semen dengan menghambat proses hidrasi semen.

Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Tahun 2020 dan Spesifikasi Khusus Interim SKh. 2.5.4 Tahun 2017, sifat-sifat campuran yang disyaratkan sebagai lapis pondasi tanah semen (SCB) adalah sebagai berikut :

- Kekuatan : berdasarkan pengujian UCS, nilai kuat tekan target (7 hari) adalah sebesar 2400 kPa (min. 2000 kPa dan maks. 3500 kPa)
- Durabilitas : berdasarkan pengujian *wetting-drying*, perubahan volume maksimum 2% dan kehilangan berat maksimum 7%

1.4 Kekuatan

Kekuatan adalah kemampuan suatu material untuk menahan beban tanpa mengalami kegagalan. Kekuatan campuran tanah semen ditentukan berdasarkan nilai kuat tekan yang dinyatakan dalam satuan kPa melalui pengujian *Unconfined Compression Strength* menurut ASTM D 2166 dan SNI 3638:2012. Persyaratan kekuatan campuran tanah semen sebagai lapis pondasi pada perkerasan jalan menurut spesifikasi Bina Marga yaitu kuat tekan minimum 2000 kPa, kuat tekan target 2400 kPa, dan kuat tekan maksimum 3500 kPa. Kuat tekan minimum 2000 kPa ditetapkan untuk menjamin campuran tanah semen memiliki kekuatan yang lebih besar dari tekanan roda kendaraan (700 kPa) sehingga tidak terjadi retak atau patah pada lapis pondasi tanah semen (SCB). Kuat tekan target 2400 kPa ditetapkan sebagai angka aman untuk menjamin kuat tekan campuran tanah semen memenuhi persyaratan minimum. Kuat tekan maksimum 3500 kPa ditetapkan untuk membatasi nilai kuat tekan campuran tanah semen. Semakin tinggi kuat tekan, maka kebutuhan semen akan semakin banyak. Semakin banyak jumlah semen dalam campuran, maka reaksi hidrasi semen semakin cepat dan menghasilkan panas hidrasi yang tinggi. Kondisi ini memungkinkan terjadinya retak susut lebih cepat pada campuran tanah semen.

1.5 Durabilitas

Durabilitas adalah kemampuan suatu material untuk menahan kerusakan akibat faktor lingkungan. Durabilitas campuran tanah semen diukur dari persentase kehilangan beratnya. Kehilangan berat adalah persentase massa yang hilang dari benda uji campuran tanah semen setelah 12 siklus basah-kering. Hubungan durabilitas dengan kehilangan berat adalah berbanding terbalik. Campuran tanah semen dengan durabilitas tinggi menunjukkan kehilangan berat yang rendah. Sedangkan campuran tanah semen dengan durabilitas rendah menunjukkan kehilangan berat yang tinggi. Campuran tanah semen dengan kehilangan berat yang tinggi menunjukkan ketahanan yang lebih rendah (lebih mudah rusak) sehingga masa layannya lebih pendek. Sedangkan campuran tanah semen dengan kehilangan berat yang rendah menunjukkan ketahanan yang lebih tinggi (lebih tahan lama) sehingga masa layannya lebih panjang.

Durabilitas campuran tanah semen diuji dengan ASTM D559 dan SNI 6427:2012. Pengujian ini dilakukan dengan merendam benda uji selama 5 jam dalam wadah berisi air, mengeringkan benda uji selama 42 jam dalam oven dengan suhu 71°C, dan menyikat seluruh permukaan benda uji, yang dilakukan secara berurutan selama 12 siklus. Pengujian ini mengukur ketahanan campuran tanah semen terhadap siklus basah-kering yang dinyatakan dalam satuan % kehilangan berat. Persyaratan kehilangan berat berbeda-beda setiap negara. Berdasarkan PCA (1992) untuk tanah berbutir kasar maksimal 14% dan tanah berbutir halus maksimal 7%. Berdasarkan Army (1994) untuk tanah berbutir kasar maksimal 11% dan tanah berbutir halus maksimal 8%. Berdasarkan Alaska (2000) untuk tanah berbutir kasar maksimal 14% dan tanah berbutir halus maksimal 7%. Berdasarkan Bina Marga (2018) persyaratan kehilangan

berat ditetapkan 7% pada semua jenis tanah untuk memastikan campuran tanah semen yang dihasilkan memiliki ketahanan yang tinggi (tahan lama) sehingga masa layannya lebih panjang. Nilai ambang batas di atas diperoleh dari pengalaman terdahulu berdasarkan percobaan laboratorium berbagai jenis tanah dan evaluasi kinerja dari berbagai proyek.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Pengumpulan data

Data primer yang digunakan yaitu material tanah, semen portland tipe I, bahan tambah, data sifat-sifat tanah asli, dan data karakteristik campuran tanah semen. Material tanah yang digunakan berlokasi di Kawasan Ibu Kota Nusantara yang secara administratif terletak di Kariangau, Balikpapan, Kalimantan Timur. Sampel tanah diambil dari segmen Sp. Tempadung – Jbt. Pulau Balang. Semen yang digunakan adalah Semen Tipe I (OPC) produksi dari PT. Semen Jakarta. Bahan tambah yang digunakan adalah Matos produksi PT. Watukali Capita Ciptama. Data sifat-sifat tanah natural dan data karakteristik campuran tanah semen tanpa bahan tambah dan dengan bahan tambah berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium.

2.2 Pengujian laboratorium

Pengujian laboratorium yang dilakukan terdiri dari pengujian utama dan pengujian tambahan. Pengujian utama yang dilakukan antara lain yaitu pH, kadar sulfat, berat jenis, analisa saringan, hidrometer, *atterberg limit*, *standard proctor*, *unconfined compression strength*, dan *wetting-drying*. Pengujian tambahan yang dilakukan antara lain yaitu *X-Ray Diffraction*.

Sebagian besar pengujian laboratorium dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah FTSL ITB. Pengujian pH dan kadar sulfat dilakukan di Laboratorium Buangan Padat dan B3 FTSL ITB. Pengujian *X-Ray Diffraction* dilakukan di Laboratorium Hidrogeologi dan Hidrogeokimia FTTM ITB.

Berikut adalah jenis pengujian beserta acuan yang digunakan (**Tabel 1**).

Tabel 1. Pengujian laboratorium

No	Jenis Pengujian	Standar
1	Berat Jenis	ASTM D854
2	Analisa Saringan	ASTM D422-63
3	Hidrometer	ASTM D422-63
4	<i>Atterberg Limit</i>	ASTM D4318
5	<i>Standard Proctor</i>	ASTM D698
6	<i>Unconfined Compression Strength</i>	ASTM D2166
7	<i>Wetting-Drying</i>	ASTM D559
8	pH	-
9	Kadar Sulfat	-
10	<i>X-Ray Diffraction</i>	-

2.3 Tahapan penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain :

- a. Identifikasi masalah dan kajian literatur terhadap sifat-sifat tanah, karakteristik bahan tambah, stabilitasi tanah dengan semen, dan spesifikasi lapis pondasi tanah semen (SCB).
- b. Pengambilan sampel tanah (*disturbed*) dari Kawasan Ibu Kota Nusantara dan penyiapan semen dan bahan tambah.
- c. Pengujian sifat-sifat tanah natural untuk mendapatkan berat jenis, gradasi butiran, indeks plastisitas, kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum, kuat tekan, dan komposisi mineraloginya.
- d. Pengujian karakteristik campuran tanah semen untuk mendapatkan kadar air optimum campuran, kepadatan kering maksimum campuran, kuat tekan campuran, dan kehilangan berat campuran.
- e. Pengujian karakteristik campuran tanah semen dengan bahan tambah untuk mendapatkan kuat tekan campuran dan kehilangan berat campuran.
- f. Evaluasi kuat tekan dan kehilangan berat campuran tanah semen tanpa bahan tambah dan dengan bahan tambah untuk digunakan sebagai lapis pondasi tanah semen (SCB).
- g. Penarikan kesimpulan atas penelitian yang dilakukan.

2.4 Skenario perancangan

Dalam penelitian ini, campuran tanah semen yang dirancang menggunakan kadar semen 13%. Campuran tanah dengan semen tidak selalu memberikan sifat-sifat campuran yang memadai sebagai lapis pondasi sehingga ditambahkan bahan tambah untuk memperbaiki kinerjanya. Campuran tanah semen

dengan bahan tambah yang dirancang menggunakan kadar semen 13% dan kadar bahan tambah 1%.

Campuran tanah semen tanpa bahan tambah dan dengan bahan tambah, keduanya dievaluasi terhadap parameter kekuatan dan durabilitas yang dihasilkan oleh masing-masing campuran.

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

3.1 Sifat-sifat tanah natural

Sampel tanah dari Kawasan Ibu Kota Nusantara tampak sangat berbutir dan berwarna coklat tua seperti tanah pasir berwarna terang.

Berdasarkan **Tabel 2**, dapat diketahui bahwa tanah natural merupakan tanah berbutir kasar yang terdiri dari 0,78% kerikil, 75,92% pasir, 14,32% lanau, dan 8,99% lempung. Tanah ini bersifat non plastis, sehingga dapat diklasifikasikan sebagai *Silty Sand* (SM) menurut USCS.

Tanah ini memiliki berat jenis sebesar 2,659 dan mengandung mineral kuarsa (85%), *nacrite* (4%), *muscovite* (6%), dan *albite* (5%).

Tanah ini memiliki kadar air optimum sebesar 13,61%, kepadatan kering maksimum sebesar 1,816 g/cm³, dan kuat tekan sebesar 217,5 kPa.



Gambar 2. Tanah dari kawasan Ibu Kota Nusantara

Tabel 2. Sifat-sifat tanah natural

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	Berat Jenis	-	2,659
2	Lolos Saringan No. 200	%	22,30
3	Gradasi Butiran : Kerikil	%	0,78
	Pasir	%	75,92
	Lanau	%	14,32
	Lempung	%	8,9
4	Indeks Plastisitas	%	Non Plastis
5	Klasifikasi Tanah	-	<i>Silty Sand</i> (SM)
6	Kadar Air Optimum	%	13,61
7	Kepadatan Kering Maksimum	%	1,816
8	Kuat Tekan	kPa	217,5
9	pH	-	6,32
10	Kadar Sulfat	%	0,007356
11	Komposisi Mineralogi : Kuarsa	%	85
	<i>Nacrite</i>	%	4
	<i>Muscovite</i>	%	6
	<i>Albite</i>	%	5

Tana, dkk.

Tanah ini memiliki pH sebesar 6,32 dan kadar sulfat sebesar 0,007356%. Untuk tanah pasir yang bersifat non plastis umumnya tidak mengandung bahan organik.

Hasil pengujian sifat-sifat tanah natural menunjukkan bahwa tanah dari Kawasan Ibu Kota Nusantara memiliki kandungan butiran halus yang rendah (Lolos Saringan No.200 < 50%), tingkat keasaman yang rendah (pH > 5,3), kadar sulfat yang rendah (sulfat < 0,9%), dan bebas dari bahan organik. Hal ini menunjukkan bahwa tanah ini layak untuk campuran tanah semen.

3.2 Campuran tanah semen

3.2.1 Pematatan

Pengujian *standard proctor* dilakukan terhadap campuran tanah dengan 13% semen berdasarkan ASTM D698. Hasil pengujian menunjukkan kadar air optimum campuran tanah semen sebesar 17,94% dan kepadatan kering maksimum campuran tanah semen sebesar 1,690 g/cm³.

Penambahan 13% semen pada tanah natural meningkatkan kadar air optimumnya sebesar 31,8%, dari semula 13,61% menjadi 17,94%. Sedangkan, kepadatan kering maksimumnya menurun 6,9%, semula 1,816 g/cm³ menjadi 1,690 g/cm³. Peningkatan kadar air optimum disebabkan karena adanya sejumlah butiran halus semen yang juga membutuhkan air untuk proses hidrasi. Penurunan kepadatan kering maksimum disebabkan karena berkurangnya rongga-rongga yang awalnya terisi butiran padat tanah digantikan dengan gel kalsium silika hidrat (CSH).

3.2.2 Rancangan campuran

Berikut adalah rancangan campuran tanah semen.

- Tanah

Mold yang digunakan untuk pematatan campuran memiliki diameter 101,5 mm, tinggi 116,5 mm, dan volume 942,644 cm³.

Perhitungan kebutuhan tanah :

$$= 942,644 \times 1,690 \times (1+17,94\%)$$

$$= 1878,86 \text{ gram}$$

Untuk memudahkan dalam pelaksanaan, maka kebutuhan tanah dibulatkan menjadi 2000 gram.

- Semen

Kadar semen yang digunakan sebesar 13% terhadap berat kering tanah. Untuk tanah dengan kadar air eksisting 6,80%, maka berat kering tanah 1864 gram.

Perhitungan kebutuhan semen :

$$= 13\% \times 1864$$

$$= 242,32 \text{ gram}$$

- Air

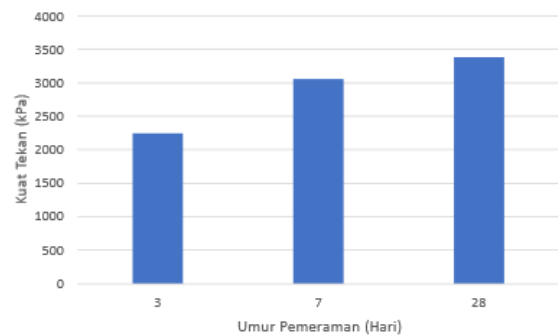
Perhitungan kebutuhan air :

$$= ((1864 + 242,32) \times 17,94\%) - (2000 \times 6,80\%)$$

$$= 241,87 \text{ gram}$$

3.2.3 Kekuatan campuran tanah semen

Berikut adalah hasil pengujian UCS berdasarkan ASTM D2166 dan SNI 3638:2012 terhadap campuran tanah dengan 13% semen.



Gambar 3. Hubungan umur pemeraman dan kuat tekan campuran tanah dengan 13% semen

Berdasarkan Gambar 2, diketahui bahwa campuran tanah dengan 13% semen menghasilkan kuat tekan umur 3 hari, 7 hari, dan 28 hari, masing-masing adalah 2248,2 kPa, 3053,0 kPa, dan 3386,3 kPa.

Penambahan 13% semen pada tanah natural dapat meningkatkan nilai kuat tekan hingga 14 kali lebih tinggi, dari semula 217,5 kPa menjadi 3053,0 kPa.

Campuran tanah dengan 13% semen dapat menghasilkan nilai kuat tekan (7 hari) yang lebih tinggi dari nilai kuat tekan target (2400 kPa). Dengan demikian, Campuran tanah semen dengan kadar semen 13% memenuhi persyaratan kekuatan sebagai lapis pondasi tanah semen (SCB).

3.2.4 Durabilitas campuran tanah semen

Berikut adalah hasil pengujian *wetting-drying* berdasarkan ASTM D559 dan SNI 6427:2012 terhadap campuran tanah dengan 13% semen.

Berdasarkan Tabel 3, persentase massa yang hilang dari sampel campuran tanah semen setelah 12 siklus basah-kering yaitu sebesar 15,90%. Campuran ini memiliki ketahanan yang rendah terhadap siklus basah-kering dan belum memenuhi persyaratan durabilitas sebagai lapis pondasi tanah semen (SCB). Hal ini dibuktikan dengan kehilangan beratnya lebih besar dari persyaratan kehilangan berat maksimum 7%.

Kehilangan berat yang tinggi ini menunjukkan bahwa campuran tanah dengan 13% semen memiliki durabilitas yang rendah dan masa layan yang lebih pendek.

3.3 Campuran tanah semen dengan bahan tambah

3.3.1 Karakteristik bahan tambah

Bahan tambah yang digunakan untuk campuran tanah semen berupa material serbuk halus berwarna putih (Gambar 4).

Tabel 3. Perhitungan kehilangan berat campuran tanah dengan 13% semen

Siklus	Berat sampel setelah direndam 5 jam (kg)	Berat sampel setelah dioven 71°C 42 jam (kg)	Berat sampel setelah disikat (kg)
1	2,032	1,702	1,668
2	1,952	1,663	1,607
3	1,904	1,602	1,575
4	1,869	1,570	1,548
5	1,854	1,543	1,538
6	1,838	1,533	1,528
7	1,822	1,523	1,510
8	1,805	1,505	1,492
9	1,787	1,487	1,478
10	1,769	1,473	1,464
11	1,752	1,459	1,449
12	1,734	1,444	1,434
	Berat sampel setelah siklus 12 dioven 110°C (kg)	Berat sampel kering oven terkoreksi (kg)	Kehilangan berat sampel campuran tanah semen (%)
	1,434	1,431	15,90



Gambar 4. Bahan tambah

Berdasarkan Tabel 4, bahan tambah ini terdiri dari komposisi mineral anorganik dengan kandungan mineral utama yaitu *Calcium Chloride* ($CaCl_2$). Bahan tambah ini bersifat mudah larut dalam air dan mudah menyerap air. Bahan tambah ini sering digunakan untuk campuran tanah semen karena dapat mencegah penyusutan, memadatkan, dan menstabilkan campuran tanah semen.

Tabel 4. Sifat-sifat bahan tambah

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	Berat Jenis	-	2,350
2	pH	-	8,37
3	Komposisi Mineralogi :		
	Na_2SO_4	%	12,2
	$CaCl_2(H_2O)_4$	%	19,2
	$CaCl_2(H_2O)_6$	%	64,5
	$CaCl_2(H_2O)_2$	%	0,6
	$CaGeN_2$		

Bahan tambah ini memiliki sifat mampu menahan dan menampung air, sehingga bahan tambah ini dapat mengontrol proses hidrasi selama masa pengerasan campuran tanah semen untuk menjaga panas hidrasi dan penguapan air. Ketersediaan air cukup dalam

campuran selama proses hidrasi akan meningkatkan kekuatan akhir campuran tanah semen.

Bahan tambah ini berperan sebagai filler tambahan yang memiliki sifat mudah larut dalam air. Bahan ini mampu mengisi rongga-rongga campuran tanah semen dan meningkatkan *interlock* sehingga menghasilkan struktur yang lebih padat. Hal ini membuat campuran tanah semen memiliki stabilitas yang tinggi sehingga tidak mudah tergerus.

Bahan tambah ini memiliki sifat higroskopis yang dapat menyerap air dari udara. Hal ini membantu menjaga kelembapan campuran tanah semen dan mencegah terjadinya retak akibat penyusutan. Keberadaan bahan tambah dalam campuran tanah semen penting untuk menjaga integritas struktur dan memperpanjang masa layannya.

Dalam penelitian ini, digunakan 1% bahan tambah. Jumlah bahan tambah yaitu 1% dari berat semen, sehingga bahan tambah yang ditambahkan pada campuran tanah semen sebanyak 2,42 gram.

3.3.2 Durabilitas campuran tanah semen dengan bahan tambah

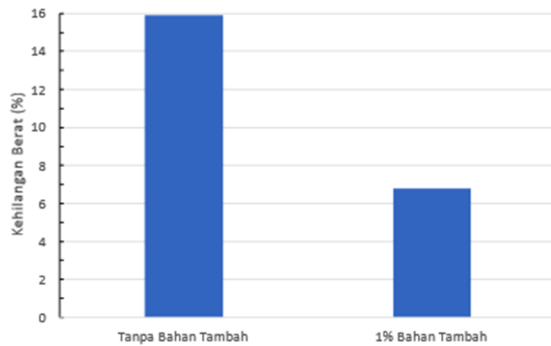
Berikut adalah hasil pengujian wetting-drying berdasarkan ASTM D559 dan SNI 6427:2012 terhadap campuran tanah dengan 13% semen dan 1% bahan tambah.

Berdasarkan Tabel 5, persentase massa yang hilang dari sampel campuran tanah semen dengan bahan tambah setelah 12 siklus basah-kering yaitu sebesar 6,77%. Hal ini menunjukkan bahwa campuran tanah semen dengan bahan tambah memiliki ketahanan yang tinggi terhadap siklus basah-kering (durabilitas tinggi), sehingga akan memberikan masa layan yang lebih

Tabel 5. Perhitungan kehilangan berat campuran tanah dengan 13% semen dan 1% bahan tambah

Siklus	Berat sampel setelah direndam 5 jam (kg)	Berat sampel setelah dioven 71°C 42 jam (kg)	Berat sampel setelah disikat (kg)
1	2,091	1,776	1,764
2	2,048	1,759	1,750
3	2,025	1,745	1,735
4	2,010	1,730	1,720
5	2,002	1,715	1,714
6	1,993	1,709	1,707
7	1,985	1,702	1,699
8	1,977	1,694	1,690
9	1,967	1,685	1,683
10	1,957	1,678	1,675
11	1,948	1,670	1,666
12	1,939	1,661	1,657
	Berat sampel setelah siklus 12 dioven 110°C (kg)	Berat sampel kering oven terkoreksi (kg)	Kehilangan berat sampel campuran tanah semen (%)
	1,657	1,656	6,77

panjang. Kehilangan berat pada campuran ini di bawah persyaratan kehilangan berat maksimum 7%. Dengan demikian, Campuran tanah dengan 13% semen dan 1% bahan tambah memenuhi persyaratan durabilitas sebagai lapis pondasi tanah semen (SCB).



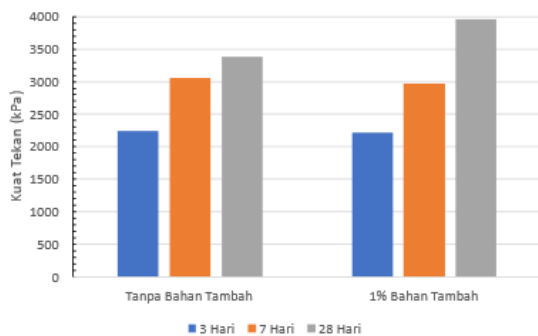
Gambar 5. Pengaruh penambahan 1% bahan tambah pada kehilangan berat campuran tanah semen

Berdasarkan **Gambar 5**, penambahan bahan tambah pada campuran tanah semen dapat menurunkan kehilangan berat secara signifikan. Penambahan 1% bahan tambah dapat menurunkan kehilangan berat campuran tanah semen hingga 57,45%, dari semula 15,90% tanpa bahan tambah menjadi 6,77% dengan bahan tambah. Bahan tambah ini berperan sebagai filler tambahan pada campuran tanah semen. Sifatnya yang mudah larut dalam air, membantu untuk mengisi rongga-rongga campuran tanah semen dan meningkatkan *interlock* antar partikel sehingga dapat menghasilkan struktur yang lebih padat dan kuat. Hal ini membuat campuran tanah semen memiliki stabilitas yang tinggi sehingga tahan terhadap siklus basah-kering. Penurunan kehilangan berat yang signifikan membuktikan bahwa penambahan bahan tambah pada campuran tanah semen, mampu meningkatkan durabilitas campuran.

3.3.3 Kekuatan campuran tanah semen dengan bahan tambah

Berikut adalah hasil pengujian UCS berdasarkan ASTM D2166 dan SNI 3638:2012 terhadap campuran tanah dengan 13% semen dan 1% bahan tambah.

Berdasarkan **Gambar 6**, pada umur pemeraman 3 hari, nilai kuat tekan campuran menurun 1,29%, dari semula



Gambar 6. Pengaruh penambahan 1% bahan tambah pada kuat tekan campuran tanah semen

2248,2 kPa menjadi 2219,2 kPa setelah ditambahkan 1% bahan tambah. Pada umur pemeraman 7 hari, nilai kuat tekan campuran menurun 2,89%, dari semula 3053,0 kPa menjadi 2964,6 kPa setelah ditambahkan 1% bahan tambah. Sedangkan, pada umur pemeraman 28 hari, nilai kuat tekan campuran meningkat 16,86%, dari semula 3386,3 kPa menjadi 3957,4 kPa setelah ditambahkan 1% bahan tambah.

Penambahan bahan tambah pada campuran tanah semen menyebabkan penurunan nilai kuat tekan pada umur pemeraman 3 hari dan 7 hari. Hal ini disebabkan oleh sifat dari bahan tambah yang dapat memperlambat proses hidrasi pada tahap pengerasan awal (0 - 7 hari). Perlambatan hidrasi ini mengakibatkan nilai kuat tekan pada umur pemeraman 3 hari dan 7 hari menjadi lebih rendah.

Campuran tanah semen dengan bahan tambah menunjukkan peningkatan kekuatan setelah diperam 28 hari. Pada tahap pengerasan akhir (7 - 28 hari), semen sudah memiliki ketahanan terhadap agresi kimia, sehingga proses hidrasi tidak terhambat pada tahap ini. Sifat bahan tambah ini yang mampu menahan dan menampung air membantu proses hidrasi berjalan lebih efektif pada tahap pengerasan akhir sehingga campuran tanah semen dengan bahan tambah menghasilkan nilai kuat tekan akhir yang lebih tinggi.

Semakin lama waktu pemeraman, maka semakin tinggi nilai kuat tekan campuran yang dihasilkan, baik pada campuran tanah semen tanpa bahan tambah, maupun pada campuran tanah semen dengan bahan tambah.

Campuran tanah dengan 13% semen dan 1% bahan tambah dapat menghasilkan nilai kuat tekan (7 hari) yang lebih tinggi dari nilai kuat tekan target (2400 kPa). Dengan demikian, campuran ini memenuhi persyaratan kekuatan sebagai lapis pondasi tanah semen (SCB).

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, berikut adalah hal-hal yang dapat disimpulkan :

1. Sampel tanah dari kawasan Ibu Kota Nusantara merupakan tanah berbutir kasar berwarna coklat tua yang didominasi oleh fraksi pasir (75,92%), diklasifikasikan sebagai SM (*Silty Sand*) dengan *fine content* kurang dari 50% (23,30%), tingkat keasaman yang rendah (pH 6,32), kadar sulfat yang rendah (0,007356%), dan bebas dari bahan organik. Berdasarkan sifat-sifat tersebut, tanah ini layak untuk digunakan sebagai bahan penyusun campuran tanah semen.
2. Campuran tanah semen tanpa bahan tambah memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan campuran tanah semen dengan bahan tambah pada umur pemeraman 3 dan 7 hari. Namun, pada umur pemeraman 28 hari, campuran tanah semen dengan bahan tambah memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan campuran tanah semen tanpa bahan tambah. Campuran tanah semen dengan 1% bahan tambah, dapat menghasilkan kuat tekan (28 hari) 9,6% lebih tinggi dibandingkan campuran tanah semen tanpa bahan tambah.

3. Campuran tanah semen tanpa bahan tambah memiliki ketahanan yang rendah terhadap siklus basah-kering, dengan kehilangan berat sebesar 15,90%. Campuran tanah semen dengan bahan tambah menghasilkan kehilangan berat sebesar 6,77%. Campuran tanah semen dengan 1% bahan tambah, dapat menghasilkan kehilangan berat 55% lebih rendah dibandingkan campuran tanah semen tanpa bahan tambah.
4. Campuran tanah dengan 13% semen tanpa bahan tambah maupun dengan 1% bahan tambah, menghasilkan nilai kuat tekan (7 hari) yang lebih tinggi dari nilai kuat tekan target (2400 kPa) sehingga memenuhi persyaratan kekuatan sebagai lapis pondasi tanah semen (SCB). Nilai kuat tekan yang tinggi ini menunjukkan bahwa campuran tanah semen memiliki kemampuan yang baik untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami kegagalan selama masa layannya.
5. Campuran tanah semen tanpa bahan tambah menghasilkan kehilangan berat yang tinggi, sehingga belum memenuhi persyaratan durabilitas sebagai lapis pondasi tanah semen (SCB). Campuran tanah dengan 13% semen dan 1% bahan tambah menghasilkan kehilangan berat di bawah 7% sehingga memenuhi persyaratan durabilitas sebagai lapis pondasi tanah semen (SCB). Kehilangan berat yang rendah ini menunjukkan bahwa campuran tanah semen dengan bahan tambah memiliki ketahanan yang tinggi (lebih awet) terhadap siklus basah-kering sehingga masa layannya bisa lebih panjang.

Daftar Pustaka

- Department of The Army and The Air Force-1994, *Soil Stabilization for Pavements, Army TM 5-822-14, Air Force AFJMAN 32-1019*, Department of The Army, The Navy, and The Air Force.
- Direktorat Jenderal Bina Marga -2006, *Manual Konstruksi dan Bangunan : Pekerjaan Lapis Pondasi Jalan Buku 1 Umum*, Departemen Pekerjaan Umum.
- Direktorat Jenderal Bina Marga -2006, *Manual Konstruksi dan Bangunan : Pekerjaan Lapis Pondasi Jalan Buku 6 Lapis Pondasi Tanah Semen*, Departemen Pekerjaan Umum.
- Direktorat Jenderal Bina Marga -2017, *Spesifikasi Khusus Interim Skh. 2.5.4. Tentang Lapis Pondasi Semen Komposit Tanah*, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Direktorat Jenderal Bina Marga -2020, *Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2*, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Hicks, R. G., 2002, *Alaska Soil Stabilization Design Guide*, Departement of Transportation and Public Facilities Research & Technology Transfer.
- Hardiyatmo, H. C., 2010, *Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan*, Gadjah Mada University Press.
- Marbun, O. H., Mika, A., Asniaty, Hutagalung, D., 2020, *Pelaksanaan Pekerjaan Lapis Pondasi Semen Komposit Tanah Pada Ruas Jalan Merauke – Tanah Merah*, Jurnal Himpunan Pengembang Jalan Indonesia, Vol. 112, No.2, 362-382.
- Mina, E., Kusuma, R. I., Sausan, Z. I., 2021, *Pemanfaatan Semen Slag sebagai Campuran Stabilisasi Tanah dan Pengaruhnya Terhadap Nilai CBR Terendam (Soaked California Bearing Ratio) (Studi Kasus : Jalan Raya Munjul Desa Pasir Rejo, Kabupaten Pandeglang, Banten)*, Jurnal Teknik Sipil ITB, Vol. 112, No.2, 362-382.
- Moerdika, O. V., 2002, *Stabilisasi Tanah Lateritik dari Lampung untuk Digunakan sebagai Bahan Lapis Pondasi Perkerasan Jalan*, Tesis Program Magister, Indonesia: Institut Teknologi Bandung.
- Naga, R., 2018, *Kajian Laboratorium Pengaruh Penambahan Zat Aditif DiFA Soil Stabilizer Terhadap Stabilisasi Campuran Soil Cement Menggunakan Tanah dari Kabupaten Keerom – Papua sebagai Pengganti Lapis Pondasi Bawah Agregat*, Tesis Program Magister, Indonesia: Institut Teknologi Bandung.
- Roslani, D., 2010, *Kajian Perilaku Stabilisasi Tanah Menggunakan Semen dan Beberapa Bahan Kimia*, Tesis Program Magister, Indonesia: Institut Teknologi Bandung.
- SNI 3638:2012, Metode Uji Kuat Tekan Bebas Tanah Kohesif.
- SNI 6427:2012, Metode Uji Basah dan Uji Kering Campuran Tanah Semen Dipadatkan.
- Theodorus, A., Sugeng, B., Suratman, I., Hermawan, R., 2008, *Kajian Efektifitas Semen dan Fly Ash dalam Campuran Soil Cement Memakai Tanah Lempung dan Pasir Pulau Timor*, Jurnal Teknik Sipil ITB, Vol. 112, No.2, 362-382.
- Yosua, 2000, *Stabilisasi Tanah dari Barito Utara dengan Semen untuk Konstruksi Jalan*, Tesis Program Magister, Indonesia: Institut Teknologi Bandung.
- Yunaefi, 2010, *Pengujian Kinerja Bahan “ECO-CURE” sebagai Bahan Stabilisasi Tanah untuk Lapisan Sub-Base Perkerasan Jalan, Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah*, Vol. 112, No.2, 362-382.