



PERBAIKAN TIMBUNAN OPRIT JEMBATAN MENGGUNAKAN MORTAR FOAM DENGAN KONDISI TANAH YANG MENGALAMI PENURUNAN

M. Alit Suryawan¹, Gusti Ayu Sukma Dwi Naindia Sari², I Nyoman Arya Saputra³,
I Made Angga Prabawa⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Ambon, PT. Qinar Raya Mandiri

alit.suryawan@polnam.ac.id¹ sukma.naindy0209@gmail.com², aryarndqrm@gmail.com³,
anggaprabawa527@gmail.com⁴,

ARTICLE HISTORY

Received:

August 9, 2025

Revised

October 28, 2025

Accepted:

October 31, 2025

Online available:

December 04, 2025

Keyword:

Injection.Foam Mortar.Gap

*Correspondence:

Name: M. Alit Suryawan¹

E-mail:

alit.suryawan@polnam.ac.id

Kantor Editorial

Politeknik Negeri Ambon

Pusat Penelitian dan Pengabdian

Masyarakat

Jalan Ir. M. Putuhena, Wailela-

Rumahtiga, Ambon Maluku,

Indonesia

Kode Pos: 97234

ABSTRACT

Repair work on the patro papri toll road at km 146 + 950 Cipamongkolan bridge whose base soil has decreased due to loading on it (settlement) so that there is a gap or a deep horizontal small groo, the innovation of the work method used to fix the problem is to combine the injection method of grouting cement slurry with mortar foam material, the tool used has an injection capacity specification of 15-30 m3/h with a pressure of 3 HP and power of 1 phase, the incorporation of this method has the purpose of cost efficiency of repair with the comparison of the price of cement slury injection which is usually used as an injection material for the repair of structures that have a gap per m3 is Rp. 10,800,000.00 while foam mortar is Rp. 3,500,000.00, the required density target is 800 KPa at the age of 28 days, the use of sand composition from the gedebage area as the main material with the type of intermediate gradation with The provision of passing the 3/8 filter by 100% and no passing the 200 filter produces a quality that exceeds the quality target, which is 918.05 KPa at the age of 28 days The advantages possessed by this mortar foam material are light weight, do not shrink, and do not require a compaction process when used to replace the basic soil.

1. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan penghubung antara dua wilayah yang terpisah oleh perairan, atau kondisi geografis,(Herusiswoyo & Ma'ruf, 2023) dengan fungsi utamanya adalah sebagai penghubung wilayah, mendukung kegiatan ekonomi masyarakat antar daerah, dan memperlancar arus lalulintas yang sebagian besar disediakan oleh pemerintah.

Struktur jembatan dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu struktur bagian atas dan struktur bawah, struktur atas terdiri dari pelat lantai jembatan, gelagar induk atau girder, gelagar melintang atau diafragma, trotoar, serta sendi dan tumpuan berupa bearing yang memiliki fungsi untuk meredam getaran yang bekerja

di atasnya (Maulana, 2022) dan dilanjutkan untuk di distribusikan ke struktur bawah.

Penggunaan secara tarus menerus dengan kondisi pondasi mayoritas terendam air memperbesar kemungkinan terjadinya masalah pada struktur jembatan, seperti terjadi penurunan (Maulana, 2022) yang tidak seragam (Marsus et al., 2024) pada oprit jembatan akibat tekanan lateral dan konsolidasi (Wicaksono & Iqbal, 2020) ataupun urugan pondasi yang tergerus air sehingga membentuk growong / celah berukuran tertentu dengan posisi mendatar dan kedalaman bervariasi.

Perbaikan timbunan pada oprit jembatan biasanya dilakukan dengan melakukan penambahan serta pemadatan pada urugan dan perbaikan struktur pada



dinding penahan tanah yang mengalami kerusakan akibat menahan gaya lateral, namun metode ini tidak dapat digunakan dalam kondisi tertentu, seperti pada pekerjaan perbaikan timbunan oprit tol padaleunyi km 146 + 950 Jembatan cipamokolan yang mengalami penurunan sehingga menimbulkan celah atau growong dalam dengan ukuran kecil pada posisi mendatar pada struktur pondasi dan urugan tanah namun struktur dinding penahan tanah tidak mengalami kerusakan atau penurunan secara signifikan,

Penanganan yang dilakukan dengan menggabungkan dua metode kerja dimana mortar foam digunakan sebagai bahan pengganti timbunan tanah yang memiliki keunggulan bobot yang ringan, kekuatan yang bisa disesuaikan menyerupai tanah urug yang dipadatkan, tidak mengalami penyusutan dan tidak memerlukan pemanasan (Santoso & Miftah, 2023) sehingga dapat menghemat biaya dan waktu, sedangkan pompa injeksi grouting digunakan untuk memompa material sehingga terisi hingga celah terkecil.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Lunak

Tanah lunak merupakan tanah kohesif terdiri dari butiran halus yang memiliki daya dukung rendah, biasanya tersusun oleh endapan alami dengan jenis lempung dan lanau (Siska & Yakin, 2016) dapat digolongkan dengan nilai kohesi yang rendah, sudut geser dalam yang kecil, mengandung banyak air dan gampang mengalami perubahan bentuk (Annissa Yoga Prastika et al., 2025).

2.2 Sattlement

Sattlement merupakan istilah untuk penurunan elevasi permukaan tanah akibat pembebangan di atasnya (Yufiansyah et al., 2022), penurunan adalah hal yang biasa terjadi dalam sebuah bangunan, terutama pada bangunan infrastruktur jembatan, penurunan permukaan tanah sangat dipengaruhi oleh jenis tanah, kepadatan timbunan, design dinding penahan tanah atau oprit jembatan, dan kondisi lingkungan, seperti berada pada bibir sungai yang mengakibatkan struktur tanah menjadi jenuh akibat terus tergenang air sehingga terjadi perubahan kepadatan hingga terjadinya gerusan melalui celah kecil.

2.3 Oprit Jembatan

Oprit merupakan bagian dari jembatan yang memiliki fungsi sebagai penghubung antara jalan raya dengan jembatan, dimana oprit terdapat dua komponen inti yaitu timbunan tanah yang memiliki fungsi untuk menyesuaikan ketinggian jalan dengan jembatan dan dinding penahan tanah yang memiliki fungsi untuk menahan gaya gaya yang timbul akibat urugan tersebut,

seperti gaya akibat beban sendiri, gaya lateral, pasif tanah dan aktif tanah (Setiyarto, 2017).

2.4 Masalah Pada Oprit Jembatan

Permasalahan yang sering terjadi pada oprit jembatan adalah penurunan timbunan akibat stabilitas lereng yang tidak memenuhi angka keamanan (F_s) (Apriani & Priadi, 2019), kelongsoran (Markawie, 2020), keruntuhuan (Shodiq et al., 2023) dan munculnya growong-growong kecil mendatar akibat gerusan aliran air pada bagian oprit bawah hingga pada pondasi jembatan.

2.5 Grouting

Istilah grouting sering kita dengar pada pekerjaan perbaikan struktur maupun tanah, pekerjaan ini memiliki tujuan untuk memperbaiki komponen struktur yang ingin di perbaiki, dengan material mortar grouting pada perbaikan struktur (Makruf et al., 2024) pompa grouting dengan tekanan yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan dapat mendorong material sehingga mengisi hingga celah-celah sempit di dalam struktur, namun perbaikan struktur dengan menggunakan metode grouting ini memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi karena harus menggunakan material siap pakai.

2.6 Grouting

Slurry semen adalah pencampuran semen dengan air yang digunakan untuk material injeksi terkadang dapat juga ditambahkan bahan lain untuk mencegah terjadinya penyusutan seperti CSA, Fly Ash atau silica fume, Metode ini dapat digunakan untuk perbaikan tanah yang memiliki stabilitas rendah (Sumirin & Arief, 2017) injeksi slurry semen biasanya untuk mengurangi penurunan tanah akibat beban di atasnya, mengurangi kemampuan menyerap air dan mengurangi likuifikasi pada tanah berbutir namun metode injeksi slurry semen ini memiliki kekurangan pada harga yang mahal dimana dengan berat slurry semen rata-rata mulai dari rasio air semen 0,5 -1,0 nilai rata-rata berat sluri semen adalah 1.800 kg/m³ dengan harga per kg di pasar pekerjaan injeksi slurry semen adalah Rp.6000 jadi untuk biaya slurry semen per kubik adalah Rp 10.800.000,00 /kg mortar foam 1m³ 3500.

2.7 Injeksi Mortar Foam

Mortar Foam merupakan salah satu produk inovasi pada dunia konstruksi yang dapat difungsikan sebagai pengganti tanah timbunan, ataupun perbaikan struktur tanah yang dapat mengurangi tekanan lateral pada dinding penahan tanah dengan mutu yang disyaratkan pada lapisan Base adalah 2000 KPa pada umur 14 hari, sedangkan pada lapisan sub base adalah 800 KPa (Wicaksono & Iqbal, 2020) munculnya material mortar foam sebagai bahan injeksi untuk



perbaikan tanah merupakan pengembangan dari pekerjaan slurry semen dengan biaya yang cukup tinggi dimana dengan menggunakan material mortar foam ini dapat menghemat biaya hingga 70% atau sekitar Rp.3.500.000 per m³.

3. METODOLOGI

3.1. Material

Pasir yang direkomendasikan untuk pembuatan mortar foam ini adalah pasir yang memiliki ukuran butir 0,075 mm sampai 2 mm atau pasir yang Lolos saringan nomer 10 (Santoso & Miftah, 2023) dari semua jenis pasir, mulai dari pasir silika sampai pasir sungai dengan catatan memiliki kandungan lumpur, atau material mudah hancur maksimal 5% (Jenderal & Marga, 2024), distriusi ukuran butir yang disarankan adalah yang seragam untuk meningkatkan homogenitas campuran, namun perlu diperhatikan untuk penggunaan pasir yang terlalu halus menyebabkan peningkatan penggunaan air dan meningkatkan penyusutan, sedangkan gradasi yang cenderung kasar dapat mengganggu kesetabilan busa yang berakibat busa pecah, tekstur permukaan yang kasar dan campuran kurang stabil.

Jenis-jenis foam agent yang biasanya digunakan dalam pembuatan mortar busa seperti, *foaming agent sintetik, hydrolyzed protein, protein based detergent, glue resin, soap resin dan saponin*. Foam Agent yang sering digunakan salahsatunya adalah foam agen sintetik yang terbuat dari bahan dasar surfaktan yang dapat diperoleh dari reaksi dari asam lemak dari minyak sawit dengan senyawa alkali yang menyebabkan penurunan suatu permukaan larutan sehingga dapat menghasilkan busa, (Pertanian et al., 2019), menurut (Ramamurthy et al., 2009) foam agent yang baik digunakan dalam beton ringan adalah yang memiliki densitas rendah dan stabil dalam waktu yang lama serta dapat membentuk busa yang dapat menahan campuran beton selama masa pencampuran, dan memiliki kisaran berat isi sebesar 0,075 – 0,085 t/m³ (Jenderal & Marga, 2024).

Air yang di sarankan adalah air yang terbebas dari material yang dapat menghambat reaksi dan bersifat merugikan, secara fisik tidak memiliki bau dan tidak memiliki warna, atau apabila diukur dengan alat pH meter menunjukkan angka 6-8 yang termasuk tidak terlalu asam atau basa, karena apabila tidak diperhatikan sifat asam atau basa dapat menghambat reaksi hidrasi semen yang berpengaruh terhadap kegagalan campuran beton untuk mencapai target mutu yang telah ditentukan (SNI 7974, 2018)

Semen yang bagus untuk pembuatan mortar busa salah satunya adalah semen tipe 1 yang dalam pengaplikasianya tidak menggunakan persyaratan khusus, selain itu semen tipe 1 ini mudah didapatkan(SNI 15-2049, 2004).

3.2. Pembuatan Mortar Foam

Mortar ini dibuat dengan mencampurkan pasir bergradasi dari yang tertahan di saringan nomer 4 (Santoso & Miftah, 2023) hingga tertahan di saringan nomer 200, dengan faktor air semen sebesar 55% dengan perbandingan pencampuran Foam Agen dengan air 1:20 untuk menghasilkan busa yang kuat.

3.3. Pengendalian Mutu

Pengendalian mutu dalam pekerjaan penggantian timbunan tanah pada bagian bawah timbunan oprit jembatan ini sangat diperlukan, untuk memastikan material terpasang mendekati tanah timbunan yang di padatkan dan tidak mengalami penyusutan.

3.3.1. Pengujian Gradasi

Instilah gradasi sering kali kita dengar sebagai dasar pengukuran butir suatu material yang dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu, ukuran butir seragam, ukuran butir menerus dan ukuran butir sela, yang dimaksud dengan ukuran butir seragam adalah dimana hanya ada satu ukuran butir gradasi atau semua butir memiliki ukuran yang hampir sama, sedangkan gradasi menerus merupakan ukuran butir yang sempurna dimana terdapat semua ukuran butir yang di klompokkan oleh standar Analisa saringan, dan gradasi sela adalah ukuran butir yang tidak lengkap dari ukuran saringan yang menjadi standar Analisa saringan, (Pratomo et al., 2016) fungsi agregat halus dalam campuran mortar foam adalah sebagai material pengisi dan juga membentuk kekuatan mortar (Ibrahim & Saelan, 2019).

3.3.2. Pengujian Daya Serap Air

Daya serap air pada material ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan penyerapan air dari kondisi kering hingga material tersebut jenuh terhadap air (. et al., 2019) pengujian ini memiliki peranan penting terhadap hidrasi mortar karena sering kali terjadi keretakan akibat kekurangan air, baik akibat penguapan yang terlalu cepat atau terserap oleh material nya sendiri pada saat mortar mulai setting awal (Gardha Satria Fadillah, Rizki Amalia Putri, Sri Tudjono *), (2017)(Nasional, 2008) batas-batas penyerapan pasir yang diperbolehkan dalam perencanaan mortar adalah dibawah angka 4,2 % (Nasional, 2000) secara umum daya serap air dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut.

$$\text{Penyerapan Air (\%)} = \left(\frac{B-A}{A} \right) \times 100 \% \quad (1)$$

Dengan :

B = Berat benda uji dalam kondisi SSD

A = Berat benda uji dalam kondisi kering Oven



3.3.3. Pengujian Berat Jenis (Spesific Gravity)

Berat jenis merupakan perbandingan dari berat butir dengan air suling yang digabungkan menjadi sebuah volume(Astrid Fadhilah et al., 2023) dimana semakin besar nilai berat jenis yang didapatkan maka material tersebut memiliki tingkat kekerasan atau kepadatan yang semakin bagus, begitu juga sebaliknya, untuk berat jenis pasir biasanya berada dalam kisaran 2,4 sampai 2,6 yang dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut.

$$GS = \frac{w_2 - w_1}{(w_4 - w_1) - (w_3 - w_2)} \times K$$

Dimana :

(2)

W1 = Berat Picnometer

W2 = Berat Picnometer dan Tanah Kering

W3 = Berat Piknometer, Tanah dan Air

W4 = Berat Picnometer dan Air

K = Hubungan kerapatan air dan faktor konversi K dalam Temperatur

3.3.4. Pengujian UCT

Pengujian Kuat Tekan Bebas atau *Unconfined Compression Test* memiliki tujuan untuk mengetahui besarnya beban aksial dalam satuan luas pada saat spesimen mengalami keruntuhan, atau regangan aksial mencapai 20% (Fadilla & Roesyanto, 2015) dari material tanah lempung lunak hingga sedang yang di ujikan tanpa memberikan tekanan lateral dengan bentuk spesimen berupa silinder berukuran 38 mm x 76 mm, secara umum perhitungan pengujian UCT dilakukan dengan beberapa tahap seperti berikut (SNI, 2012).

Perhitungan regangan Aksial (ϵ_1)

$$\epsilon_1 = \frac{\Delta H}{H_0} \times 100 \quad (3)$$

Dengan :

ϵ_1 = Regangan Aksial yang dinyatakan dalam %

ΔH = Perubahan tinggi benda uji

H_0 = Tinggi benda uji semula dalam mm

Luas Terkoreksi (A_c)

$$A_c = \frac{A_0 \times 10^{-6}}{1 - \epsilon_1} \quad (4)$$

Dengan :

A_c = luas penampang rata-rata atau luas terkoreksi

A_0 = luas penampang rata-rata benda uji semula

ϵ_1 = regangan aksial untuk beban yang diberikan

Sehingga

$$\sigma = \frac{P}{A_c} \quad (5)$$

Dengan :

σ = Tekanan Aksial

P = Beban yang bekerja

A_c = Luas penampang tanah terkoreksi

3.3.5. Pengujian Tekanan Kompresi pada pompa injeksi

Pengujian Ini bertujuan untuk memastikan tekanan pada pompa yang digunakan untuk menyalurkan beton dari tabung *grouting* menuju celah injeksi bekerja dengan normal sehingga celah terisi dengan sempurna, yang biasanya dinyatakan dalam satuan Psi,Bar,KPa atau Kg/Cm² (Wilantara & Raharjo, 2019) secara umum tekanan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$p = \frac{F}{A} \quad (6)$$

Dengan :

p = Tekanan (N/m²)

F = Gaya (N)

A = Luas Alas /Penampang (m²)

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Material

Pengujian material pada penelitian ini memiliki tujuan untuk memvalidasi data atau material yang digunakan agar sesuai dengan yang direncanakan maupun dengan standar-standar yang berlaku.

Hasil pengujian untuk daya serap air pada material yang telah dilakukan ditunjukkan pada tabel 1 dimana pasir dari Gedebage memiliki daya serap sebesar 1,4 % dengan nilai berat jenis (*Spesific Gravity*) sebesar 2,58 dan pengujian gradasi yang digunakan adalah jenis gradasi sela, yang terdiri dari 9 saringan dengan nomor 3/8 ; 4 ; 8 ; 16 ; 30 ; 50 ; 100 ; 200 ; dan pan yang menghasilkan data lolos saringan 3/8 sebanyak 100% dan tidak ada lolos saringan 200 seperti pada tabel 2,



Tabel 1. Pengujian Propertis Material

Nama	Standar	Hasil
Daya Serap Air	Max 5 %	1,4 %
Spesific Gravity	Max 2,6	2,58

Tabel 2. Pengujian Gradasi

Nomer Saringan	Jumlah Tertahan	Persen Tertahan	% Pasing
3/8	0	0.00	100.00
4	20.1	1.33	98.67
8	228,5	15.13	84.87
16	602.6	39.89	60.11
30	1031.9	68.31	31.69
50	1255.3	83.10	16.90
100	1418.4	93.90	6.10
200	1505.8	99.68	0.32
Pan	1510.6	100.00	0.00

4.2 Pembuatan Job Mix Desain

Pembuatan job Mix desain sangat diperlukan sebagai bahan pertimbangan awal dalam pelaksanaan suatu proyek akan formulasi atau campuran agregat yang diperlukan agar sesuai dengan standar yang berlaku, dalam pembuatan mortar foam kali ini menggunakan Kebutuhan sesuai tabel 3.

Tabel 3. Job Mix Mortar Foam

Nama	Satuan	Volume
Pasir	Kg/m3	459,69
Semen	Kg/m3	310
Air	Liter	142,48
Busa	Kg/m3	45.60

4.3 Pengujian Kuat Tekan Bebas (UCT)

Setelah melakukan job mix desain proses selanjutnya adalah melakukan pengujian terhadap job mix tersebut yang sebelumnya sudah disiapkan dengan cetakan silinder dengan ukuran 10 cm x 20 cm pada usia 3 hari 7 hari dan 14 hari dengan target kepadatan adalah 800 KPa , dari hasil pembuatan benda uji ini didapatkan hasil yang melebihi ketentuan pada usia 14 hari yaitu 918.05 seperti terlihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji UCT Mortar foam

Umur Benda Uji (Hari)	Tegangan Max (kg/cm2)	Qu Max (KPa)
3	6.93	692.94
7	7.56	755.91
14	9.18	918.05

4.4 Pengaplikasian Mortar foam

Setelah mutu yang ditargetkan dalam job mix tercapai, selanjutnya dilakukan pengaplikasian mortar foam untuk mengisi celah pada bagian bawah oprit jembatan pada posisi mendatar dengan kedalaman yang beragam, sehingga kerusakan ini tidak memungkinkan untuk dilakukan perbaikan dengan metode konvensional yaitu menggunakan timbunan tanah, kondisi ini membutuhkan inovasi perbaikan seperti terlihat pada foto berikut ini.



Gambar 1. Celah mendatar pada bawah oprit jembatan

Tahap pengaplikasian ini menggunakan pompa injeksi bertekanan untuk mendorong dan memasukkan material mortar foam hingga ke celah terkecil dan untuk memastikan celah terisi penuh dan padat.

4.5 Injeksi Mortar foam

Alat yang digunakan adalah pompa injeksi grouting yang memiliki kapasitas 15 – 30 m3/jam dengan tenaga 3 HP dan daya yang dibutuhkan adalah 1 Phase



Gambar 2. Mesin injeksi Grouting

Sebelum melakukan injeksi mortar foam, pasang terlebih dahulu pipa konektor menuju celah atau rongga yang akan di aplikasikan, setelah itu campurkan mortar dengan busa hingga homogen lalu tuang kedalam



wadah yang sudah terhubung dengan pompa injeksi, sebelum melakukan injeksi mortar, pastikan tekanan mesin injeksi mencapai 2–3 bar, barulah proses injeksi mortar foam dapat dilakukan.

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil uji yang telah dilakukan, secara umum mortar foam dengan material pasir dari daerah Gedebage memenuhi standar minimal sebagai pengganti lapisan sub base dengan angka yang di syaratkan adalah 800 KPa pada usia 28 hari, sedangkan mutu mortar foam yang digunakan untuk perbaikan timbunan oprit tol padaleunyi km 146 + 950 Jembatan cipamokolan telah melebihi mutu yang di syaratkan

6 DAFTAR PUSTAKA

- . A., Saraswati, R. R., & Lestari, E. A. (2019). Uji Tekanan Dan Daya Serap Air Pada Batako Berbahan Dasar Campuran Limbah Styrofoam, Serat Kelapa, Dan Abu Gosok. *Risenologi*, 4(1), 9–14.
<https://doi.org/10.47028/j.risenologi.2019.41.48>
- Annissa Yoga Prastika, Wahyu Febriyanto, Dewi Indriyana, Bagas Wahyu Adhi, Fatchur Roehman, & Faqih, N. (2025). Alternatif Penanganan Stabilitas Timbunan dan Lereng pada Oprit Jembatan dengan Mortar Busa (Studi Kasus : JU Rel KA Cibitung – Cilincing). *Jurnal Civil Engineering Study*, 5(01), 27–38.
<https://doi.org/10.34001/ces.v5i01.1286>
- Apriani, F., & Priadi, E. (2019). Analisis Kestabilan Oprit pada Proyek Pembangunan Duplikasi Jembatan Landak Pontianak. *Teknik Sipil Universitas Tanjungpura*, 1–6.
- Astrid Fadhilah, Muhammad Abdul Ghony, & Roihan Akmal. (2023). Analisis Pengujian Berat Jenis Tanah Sampel Batu Lempung dan Batu Pasir Pada Nomor Titik Bor RA04 PT. Bukit Asam, Tbk. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Sains*, 1(1), 19–23. <https://doi.org/10.62278/jits.v1i1.4>
- Fadilla, N., & Roesyanto. (2015). Pengujian Kuat Tahan Bebas (Unconfined Compression Test) Pada Stabilitas Tanah Lempung dengan Campuran Semen dan Abu Sekam Padi. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*, 3(April), 49–58.
- Gardha Satria Fadillah, Rizki Amalia Putri, Sri Tudjono *), Y. A. P. *). (2017). 103797 ID kajian susut beton pada struktur beton bertulang. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 6, 214–227.
- Herusiswoyo, M. A., & Ma'ruf, B. (2023). Analisis Uji Beban Jembatan dengan Total station.
- JGISE: *Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 6(1), 1.
<https://doi.org/10.22146/jgise.73182>
- Ibrahim, M., & Saelan, P. (2019). *Studi Perancangan Campuran Beton*. 5(3), 108–117.
- Jenderal, D., & Marga, B. (2024). *REPUBLIK INDONESIA*.
- Makruf, F. A., Ardheva, A., Rastra Faradzilla, A., & Budi Listyawan, A. (2024). Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2024 Pelaksanaan Pekerjaan Grouting Struktur Kolom pada Proyek Pembangunan Gedung FKG, FKM, & GKB III Universitas Muhammadiyah Semarang. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2024*, 319–324.
- Markawie. (2020). Kajian Desain Penanganan Oprit Jembatan (Studi Kasus: Jembatan Desa Pihanin Kabupaten Hulu Sungai Selatan Provinsi Kalimantan Selatan. *Sustainable Technology Journal*, 9(1), 57–62.
<http://jtb.ulm.ac.id/index.php/JTB>
- Marsus, H., Ridwan, M., & Kamil, I. (2024). *Efektifitas Mortar Busa Dalam Mengurangi Penurunan Tanah Pada Oprit Jembatan Putri Petong*. 12(03), 142–151.
<https://doi.org/10.31293/teknikd>
- Maulana, N. (2022). *Analisis Penurunan Pondasi Bore Pile Dengan Metode Analitis Dan Metode Pile Driving Analyzer Test Pada Proyek Jembatan Araskabu- Siantar (Jas-2) Analysis of Bore Pile Foundation Drop With Analytical Method and Pile Driving Analyzer Test Method on Araska*. 1, 1–7.
- Nasional, B. S. (2000). Tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. *Sni*, 3, 2834.
- Nasional, B. S. (2008). SNI 1969:2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 20.
- Pertanian, I., Teknologi, D., Pertanian, I., Pertanian, F. T., & Barat, J. (2019). Pemanfaatan Foaming Agent Dari Minyak Sawit Pada Beton Ringan. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 29(3), 307–316.
<https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2019.29.3.307>
- Pratomo, E. P., Setyawan, A., & Djumari. (2016). Pengaruh Gradiasi Terhadap Porositas Dan Kuat Tahan Beton Berpori. *E-Jurnal*, 10(September), 723–731.
<https://jurnal.uns.ac.id/matriks/article/viewFile/3>



7077/24301

- Ramamurthy, K., Kunhanandan Nambiar, E. K., & Indu Siva Ranjani, G. (2009). A classification of studies on properties of foam concrete. *Cement and Concrete Composites*, 31(6), 388–396. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.04.006>
- Santoso, T. B., & Miftah, M. F. (2023). Pengaruh Penambahan Foam Agent Terhadap Density, Daya Serap Air Dan Kuat Tekan Mortar. *Jurnal Riset Teknik Sipil Dan Sains*, 2(1), 32–39. <https://doi.org/10.57203/jriteks.v2i1.2023.32-39>
- Setiyarto, Y. D. (2017). Standar Pembebanan Pada Jembatan Menurut SNI 1725 2016. *The Loading Standards on Bridges According to SNI 1725 2016*, 9, 8. <https://repository.unikom.ac.id/54571/1/vii-10-y.djoko-setiyarto-standar-pembebanan-pada-jembatan.pdf>
- Shodiq, A. F., Putra, P. P., & Wicaksono, L. A. (2023). Evaluasi Penurunan Oprit Pada Salah Satu Proyek Jembatan di Kalimantan Tengah. *Bentang : Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 11(2), 129–138. <https://doi.org/10.33558/bentang.v11i2.5867>
- Siska, H. N., & Yakin, Y. A. (2016). Karakterisasi sifat fisis dan mekanis tanah lunak di Gedebage. *Jurnal Teknil Sipil Itenas*, 2(4), 44–55. <https://ejurnal.itenas.ac.id/index.php/rekaracana/article/view/1143>
- SNI 15-2049. (2004). Semen Portland. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 10(1), 1–128.
- SNI, 3638. (2012). Metode Uji Kuat Tekan-Bebas Tanah Kohesif. *Badan Standardisasi Nasional*, 3638, 1–19.
- SNI 7974. (2018). Spesifikasi Air Pencampur Untuk Produksi Beton Semen Hidraulik. *Badan Standarisasi Nasional*.
- Sumirin, S., & Arief, R. B. (2017). Analisis Efektivitas Model Perkuatan dengan Injeksi Semen untuk Peningkatan Angka Keamanan Lereng. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 23(1), 23. <https://doi.org/10.14710/mkts.v23i1.14738>
- Wicaksono, S., & Iqbal, M. (2020). Efektifitas Material Ringan Mortar-Busa sebagai Timbunan Oprit pada Konstruksi Struktur Turap (Effectiveness of Foamed Mortar Light Weight Fills as an Approach Bridge fill on Sheet-Pile Structures). *Jurnal Jalan-Jembatan*, 37, 87–101.

Wilantara, B., & Raharjo, R. (2019). Pengembangan Alat Ukur Compression Tester. *Jurnal E-Komtek (Elektro-Komputer-Teknik)*, 3(2), 111–118. <https://doi.org/10.37339/e-komtek.v3i2.136>

Yufiansyah, Parabi, A., & Widodo, M. L. (2022). Perilaku Settlement Pada Struktur Gedung Rektorat Universitas Panca Bhakti Pontianak. *Jurnal Teknologi Infrastruktur*, 1, 38–45. <https://jurnal.upb.ac.id/index.php/ft/article/view/318>