GEOTEKNIK BERKELANJUTAN:
Perbaikan Tanah Dasar Cara Modern

Penulis:

MUHAMMAD TOYEB

HARSINI

UNILAK PRESS

KDT

Geoteknik Berkelanjutan: Perbaikan Tanah Dasar Cara Modern
Copyright ©2025

Penulis: Muhammad Toyeb, Harsini
Editor: Eko Saputra Utama
Ilustrator: Mudir Johan

Cetakan Pertama, Juli 2025
v, 103 Hlm.; 15,5 X 24 cm.
ISBN: -

Penerbit:

Unilak Press
Jalan Yos Sudarso Km. 08 Rumbai, Pekanbaru.
Whatshapp: 0853-7869-2035
Email: unilakpress@unilak.ac.id
Homepage: https://press.unilak.ac.id

Hak Cipta dilindungi oleh Undang-Undang.
Dilarang memperbanyak sebagian atas seluruh isi buku ini tanpa izin penulis dan penerbit.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga buku referensi ini yang berjudul "**Geoteknik Berkelanjutan: Perbaikan Tanah Dasar Cara Modern**" dapat diselesaikan dan disusun sesuai harapan. Buku ini merupakan bentuk kontribusi ilmiah dalam bidang teknik sipil, khususnya geoteknik, dengan menekankan pada pendekatan keberlanjutan melalui pemanfaatan material alternatif berbasis limbah biomassa.

Buku ini membahas konsep, prinsip, dan aplikasi perbaikan tanah dasar menggunakan material *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) yang dikombinasikan dengan alkali aktivator sebagai bentuk pendekatan geopolymer. Materi disusun secara sistematis mulai dari teori dasar perilaku tanah, hasil-hasil uji laboratorium, hingga evaluasi mikrostruktur yang diperoleh dari uji SEM, XRD, dan XRF. Disertakan pula pembahasan mengenai standar teknis, evaluasi kinerja, potensi aplikasi lapangan, serta rekomendasi kebijakan yang mendukung penerapan material ini dalam sistem konstruksi berkelanjutan.

Harapan penulis, buku ini dapat menjadi referensi tambahan bagi mahasiswa, akademisi, peneliti, praktisi teknik sipil, serta perancang dan pelaksana proyek infrastruktur yang ingin mengembangkan pendekatan inovatif dalam perbaikan tanah dasar. Selain itu, buku ini diharapkan dapat mendukung kebijakan pembangunan infrastruktur hijau dan pengelolaan limbah industri secara produktif. Penulis menyadari bahwa isi buku ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang konstruktif dari pembaca sangat diharapkan guna perbaikan dan penyempurnaan edisi selanjutnya.

Akhir kata, semoga buku ini dapat memberikan manfaat yang luas dan menjadi bagian dari upaya kolektif dalam mendorong kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang teknik sipil, khususnya geoteknik yang berwawasan lingkungan.

Pekanbaru, Juli 2025

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR ..... **i**
DAFTAR ISI ..... **ii**
DAFTAR TABEL ..... **iv**
DAFTAR GAMBAR ..... **v**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1. PERMASALAHAN GEOTEKNIK DAN LINGKUNGAN 1
1.2. URGENSI PEMANFAATAN LIMBAH INDUSTRI 5
1.3. TANTANGAN TANAH DASAR DALAM INFRASTRUKTUR 8
BAB II DASAR-DASAR GEOTEKNIK DAN PERBAIKAN TANAH **13**
2.1. KARAKTERISTIK TANAH DAN TANTANGAN *SUBGRADE* 13
2.1.1. Porositas, Berat Volume dan Kadar Air 13
2.1.2. Indeks Plastisitas dan Berat Jenis 16
2.1.3. Kerapatan Tanah 18
2.1.4. Ukuran Butiran Tanah 20
2.1.5. Kriteria Pengembangan Tanah 24
2.1.6. Kriteria CBR Tanah Dasar 26
2.1.7. Modulus Elastisitas Tanah 29
2.2. PRINSIP PERBAIKAN TANAH CARA MEKANIK DAN KIMIAWI 32
2.2.1. Cara Mekanis 35
2.2.2. Cara Kimiawi 35
2.3. METODE EVALUASI KINERJA TANAH 37
2.3.1. Bahan Campuran Tradisional 39
2.3.2. Bahan Campuran Modern 41
2.4. STANDAR DAN PRAKTIK UMUM 44
2.4.1. Standar 44
2.4.2. Praktik Umum 47
BAB III TEKNOLOGI ALKALI-*ACTIVATED* MATERIAL (AAM) **50**
3.1. KONSEP DASAR AAM DAN REAKSI POZZOLAN 50
3.2. KOMPOSISI DAN PERAN NAOH & NA_2SIO_3 53
3.3. PROSES PEMBENTUKAN GEL C-S-H dan N-A-S-H 55
3.4. KEUNGGULAN AAM DALAM APLIKASI TEKNIK SIPIL 58
BAB IV KARAKTERISTIK DAN POTENSI POFA **62**
4.1. ASAL USUL DAN PROSES PRODUKSI POFA 62
4.2. KOMPOSISI KIMIA DAN SIFAT FISIK POFA 65
4.2.1. Komposisi Kimia 65
4.2.2. Sifat Fisik 69
4.2.3. Pengaruh POFA untuk Kuat Tekan 74
4.3. TANTANGAN DAN PELUANG PENGGUNAAN POFA 75
4.3.1. Tantangan 76
4.3.2. Peluang 78
4.4. PERBANDINGAN POFA DENGAN *FLY ASH* dan ABU VULKANIK 81
BAB V KINERJA CAMPURAN POFA TERAKTIVASI ALKALI **83**
5.1. DESAIN CAMPURAN DAN RASIO AKTIVATOR 83
5.1.2. Campuran POFA 84

5.1.3. Campuran POFA dan Alkali Aktivator 87
5.2. KARAKTERISTIK MIKROSTRUKTUR 93
BAB VI GEOTEKNIK BERKELANJUTAN DALAM PERSPEKTIF 97
6.1. KONTRIBUSI POFA TERHADAP INFRASTRUKTUR HIJAU 97
6.2. REKOMENDASI KEBIJAKAN DAN PRAKTIK TEKNIK SIPIL 98
6.3. RISET LANJUTAN DAN KOLABORASI MULTIDISIPLIN 100
DAFTAR PUSTAKA 102

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Angka pori dan berat volume kering tanah..... 13
Tabel 2. 2. Nilai porositas, berat volume basah dan kadar air tanah 15
Tabel 2. 3. Rentang indeks plastisitas dan berat jenis tanah..... 17
Tabel 2. 4. Tingkat Kerapatan Tanah Berbutir..... 19
Tabel 2. 5. Batasan-batasan ukuran butiran tanah 21
Tabel 2. 6. Kriteria tingkat pengembangan tanah..... 25
Tabel 2. 7. Kriteria CBR tanah dasar (*subgrade*) 27
Tabel 2. 8. Nilai CBR tanah asli setelah pencampuran 28
Tabel 2. 9. Perkiraan modulus elastisitas tanah..... 31
Tabel 2. 10. Nilai modulus elastisitas tanah terstabilisasi 32
Tabel 2. 11. Petunjuk awal untuk pemilihan cara stabilisasi 34
Tabel 2. 12. Kuat geser lempung lunak 44
Tabel 2. 13. Indikator kuat geser tak terdrainase tanah lempung lunak 44
Tabel 3. 1. Peran rasio Si/Al terhadap kuat tekan..... 55
Tabel 3. 2. Perbandingan C-S-H dan N-A-S-H dalam Perbaikan Tanah..... 56
Tabel 3. 3. Perbandingan gel C-S-H dan N-A-S-H dalam sistem AAM 58
Tabel 3. 4. Perbandingan keunggulan AAM dan Portland semen..... 60
Tabel 4. 1. Klasifikasi tipe POFA..... 66
Tabel 4. 2. Komposisi kimia POFA dan tanah asli 66
Tabel 4. 3. Pemanfaatan klasifikasi POFA 67
Tabel 4. 4. Komposisi kimia POFA dari beberapa sumber..... 68
Tabel 4. 5. Kepadatan curah material 72
Tabel 4. 6. Pengaruh kadar POFA dalam peningkatan kuat tekan..... 75
Tabel 4. 7. Manfaat POFA untuk tujuan pembangunan berkelanjutan..... 79
Tabel 4. 8.. Komposisi kimia umum..... 81
Tabel 4. 9. Aplikasi jenis abu..... 82
Tabel 5. 1. SEM untuk Tanah Asli, POFA, dan POFA + Alkali Aktivator 94

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Produksi Kelapa Sawit Indonesia Tahun 2015-2020 2
Gambar 1. 2. Limbah Padat kelapa Sawit 8
Gambar 2. 1. Distribusi Ukuran Butiran Tanah 22
Gambar 3. 1. Struktur Kimia Alkali Activator 50
Gambar 3. 2. Istilah Struktur Geopolimer menurut Davidovits 51
Gambar 3. 3. Konsep Proses Reaksi Kimia Alkali Aktivator 57
Gambar 4. 1. Limbah Padat Kelapa Sawit 62
Gambar 4. 2. Proses Limbah Kelapa Sawit Menjadi POFA 63
Gambar 4. 3. Proses Produksi POFA 64
Gambar 4. 4. Perawatan POFA 70
Gambar 5. 1. Konsistensi Tanah Asli Dicampur POFA 85
Gambar 5. 2. Hubungan kadar air dan kepadatan kering 86
Gambar 5. 3. Kuat Tekan Bebas Benda Uji Menurut Umur Pemeraman 89
Gambar 5. 4. Nilai CBR Berdasarkan Umur Pemeraman 92
Gambar 5. 5. Morfologi hasil uji SEM 94
Gambar 5. 6. Skema Mikroskopis Pengaruh POFA dan Alkali Aktivator 95
Gambar 5. 7. Difraksi Tanah Asli Terstabilisasi AAP 96
Gambar 6. 1. Perbandingan kuat tekan tanah terstabilisasi 98