

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

STUDI EKSPERIMENTAL STABILISASI PASIR MENGGUNAKAN *FLY ASH*: KORELASI PENINGKATAN KUAT GESER, MIKROSTRUKTURAL, DAN SIFAT *ULTRASONIC*

YUNAN YAKUTA WANGSAWITANA



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Studi Eksperimental Stabilisasi Pasir Menggunakan *Fly Ash*: Korelasi Peningkatan Kuat Geser, Mikrostruktural, dan Sifat *Ultrasonic*” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2026

Yunan Yakuta Wangsawitana
F0507251027



RINGKASAN

YUNAN YAKUTA WANGSAWITANA. Studi Eksperimental Stabilisasi Pasir Menggunakan *Fly Ash*: Korelasi Peningkatan Kuat Geser, Mikrostruktural, dan Sifat *Ultrasonic*. Dibimbing oleh HERIANSYAH PUTRA dan ERIZAL.

Tanah pasir merupakan jenis tanah yang rentan terhadap permasalahan geoteknik seperti likuefaksi, erosi, dan kelongsoran akibat rendahnya kohesi dan kuat gesernya. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi kadar *fly ash* tipe C, kepadatan relatif (DR), dan derajat kejenuhan (SR) terhadap kuat geser tanah pasir, mengkaji perubahan morfologi dan mineralogi, serta menentukan korelasi kuat geser tanah pasir berdasarkan kontribusi kadar *fly ash*, kepadatan relatif, derajat kejenuhan. Penelitian menggunakan pasir dan *fly ash* tipe C dengan variasi kadar *fly ash* (5%, 10%, 15%), kepadatan relatif (50%, 70, 90%), serta derajat kejenuhan (0%, 30%, 100%). Seluruh sampel mengalami *curing* selama 7 hari pada 3 tingkat derajat kejenuhan sebelum dilakukan pengujian *Unconfined Compressive Strength* (UCS), *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan *X-Ray Diffraction* (XRD).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai UCS meningkat seiring bertambahnya kadar *fly ash* dan kepadatan relatif, serta berkurangnya derajat kejenuhan. Nilai UCS tertinggi sebesar 141,42 kPa dicapai pada kadar *fly ash* 15%, DR 90%, dan SR 0%. Peningkatan kekuatan paling signifikan terjadi pada penambahan *fly ash* 10-15% serta peningkatan kepadatan relatif 50-70%. Analisis SEM-XRD mengonfirmasi terbentuknya produk pozzolanik berupa *calcium silicate hydrate* (C-S-H) sebesar 19,30% yang berperan sebagai pengikat antarpartikel pasir. UCS dan UPV berkorelasi sangat kuat dengan $y = 2,05x + 670,46$ dengan R^2 sebesar 0,98 sehingga berpotensi sebagai metode evaluasi non-destruktif kekuatan tanah. Persamaan regresi linear berganda terbaik yang diperoleh adalah $UCS = 4,52 (FA) - 0,51 (SR) + 0,33 (DR)$ dengan R^2 sebesar 0,88 yang dapat digunakan sebagai alat prediksi kekuatan tanah pasir terstabilisasi.

Kata kunci: Derajat Kejenuhan, *Fly Ash*, Kepadatan Relatif, Regresi Linear, UCS.



SUMMARY

YUNAN YAKUTA WANGSAWITANA. Experimental Study on Sand Stabilization Using Fly Ash: Correlation of Shear Strength Improvement, Microstructure, and Ultrasonic Properties. Dibimbing oleh HERIANSYAH PUTRA and ERIZAL.

Sandy soil is highly susceptible to geotechnical problems, including liquefaction, erosion, and slope failure, due to its low cohesion and shear strength. This study aimed to investigate the effects of Class C fly ash content, relative density (DR), and degree of saturation (SR) on the shear strength of sandy soil, examine the corresponding changes in its morphology and mineralogical characteristics, and develop a predictive correlation for the shear strength of fly ash-stabilized sandy soil based on the contributions of fly ash content, relative density, and degree of saturation. The study employed sandy soil stabilized with Class C fly ash at dosages of 5%, 10%, and 15%, with relative densities of 50%, 70%, and 90%, and degrees of saturation of 0%, 30%, and 100%. All specimens were cured for seven days under the designated saturation conditions before being tested using the Unconfined Compressive Strength (UCS), Ultrasonic Pulse Velocity (UPV), Scanning Electron Microscopy (SEM), and X-Ray Diffraction (XRD) methods.

The results showed that the UCS increased with increasing fly ash content and relative density, while decreasing with increasing degree of saturation. The highest UCS value of 141.42 kPa was obtained at 15% fly ash, 90% relative density, and 0% degree of saturation. The most significant strength improvement occurred with fly ash contents ranging from 10% to 15% and an increase in relative density from 50% to 70%. SEM and XRD analyses confirmed the formation of the pozzolanic product calcium silicate hydrate (C-S-H), reaching 19.30%, which acted as a cementing agent between sand particles. A very strong correlation was observed between UCS and UPV, expressed by the equation $y = 2.05x + 670.46$ with an R^2 of 0.98, indicating the potential of UPV as a non-destructive technique for evaluating the strength of stabilized sandy soil. Furthermore, the best multiple linear regression equation obtained was $UCS = 4.52(FA) - 0.51(SR) + 0.33(DR)$ with an R^2 of 0.88, demonstrating its applicability as a predictive model for estimating the strength of fly ash-stabilized sandy soil.

Keywords: Degree of Saturation, Fly Ash, Linear Regression, Relative Density, UCS.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026¹
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



STUDI EKSPERIMENTAL STABILISASI PASIR MENGGUNAKAN *FLY ASH*: KORELASI PENINGKATAN KUAT GESER, MIKROSTRUKTURAL, DAN SIFAT *ULTRASONIC*

YUNAN YAKUTA WANGSAWITANA

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Magister Teknik Sipil dan Lingkungan

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

1. Ir. Tri Sudibyو S.T., M.Sc., Ph.D.



Judul Tesis : Studi Eksperimental Stabilisasi Pasir Menggunakan *Fly Ash*:
Korelasi Peningkatan Kuat Geser, Mikrostruktural, dan Sifat
Ultrasonic

Nama : Yunan Yakuta Wangsawitana
NIM : F0507251027

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Eng. Ir. Heriansyah Putra, S.Pd., M.Eng.
NIP. 19900209 201803 1 001



Pembimbing 2:
Dr. Ir. Erizal, M.Agr.
NIP. 19650106 199002 1 001



Diketahui oleh

Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil dan
Lingkungan:
Prof. Dr. Ir. Satyanto Krido Saptomo, S.T.P., M.Si.
NIP. 19730411 200501 1 002



Dekan Fakultas Teknik dan Teknologi:
Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr.
NIP. 19610502 198603 1 002



Tanggal Sidang: 06 Agustus 2026

Tanggal Lulus: 10 AUG 2026



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga tesis ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Oktober 2025 sampai bulan Agustus 2026 ini ialah stabilisasi kimiawi untuk tanah pasir, dengan judul “Studi Eksperimental Stabilisasi Pasir Menggunakan *Fly Ash*: Korelasi Peningkatan Kuat Geser, Mikrostruktural, dan Sifat *Ultrasonic*”. Terima kasih penulis ucapkan kepada seluruh pihak yang telah berperan selama proses penelitian dan penyusunan tesis ini, terkhusus kepada:

1. Dr. Eng. Ir. Heriansyah Putra, S.Pd., M.Eng. selaku ketua komisi pembimbing yang senantiasa memberikan dukungan, arahan, kritik, serta saran dalam proses penyusunan proposal penelitian tesis.
2. Dr. Ir. Erizal, M.Agr. selaku anggota komisi pembimbing yang senantiasa memberikan arahan, kritik, serta saran dalam proses penyusunan proposal penelitian tesis.
3. Ir. Tri Sudibyo S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen penguji pada sidang tesis yang telah memberikan saran perbaikan dalam penyempurnaan tesis.
4. Ibunda Badriyah, Ayahanda Gunawan, dan Adik Jelang Seribu Bulan yang senantiasa memberikan do'a, dukungan, serta motivasi.
5. Rekan bimbingan Nata, Aura, Pipi, Herlina, dan Thasya atas dukungan, kebersamaan, dan semangat yang telah diberikan sejak masa perkuliahan, penelitian, hingga proses penyusunan tesis.
6. Rasyid, Alifia, dan Novika sebagai teman terdekat penulis yang telah memberikan dukungan.
7. Rekan SINERGI SIL 58 yang senantiasa kebersamai dan memberi semangat selama proses penyusunan proposal penelitian tesis.

Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan

Bogor, Agustus 2026

Yunan Yakuta Wangsawitana



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Ruang Lingkup	4
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Perilaku Tanah Pasir dalam Permasalahan Geoteknik	5
2.2 <i>Fly Ash</i> untuk Stabilisasi Tanah	6
2.3 Analisis Data	8
III METODE	10
3.1 Waktu dan Tempat	10
3.2 Alat dan Bahan	10
3.3 Prosedur Penelitian	10
3.4 Pengujian Properties Tanah	12
3.5 Persiapan Sampel Uji	12
3.6 Pengujian UCS (<i>Uniaxial Compressive Strength</i>)	14
3.7 Pengujian UPV (<i>Ultrasonic Pulse Velocity</i>)	15
3.8 Pengujian SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>)	15
3.9 Pengujian XRD (<i>X-ray Diffraction</i>)	16
3.10 Analisis dan Evaluasi Hasil Pengujian Data	16
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1 Pengujian <i>Properties</i> Tanah	18
4.2 Pengaruh Penambahan <i>Fly ash</i> terhadap <i>Properties</i> Tanah Pasir	20
4.3 Pengaruh Konsentrasi <i>Fly Ash</i> terhadap Kekuatan Tanah	21
4.4 Pengaruh Tingkat Kepadatan Relatif	23
4.5 Pengaruh Kondisi Derajat Kejenuhan	26
4.6 Analisis Morfologi	30
4.7 Kecepatan Rambat Gelombang pada Tanah	36
4.7 Korelasi <i>Fly Ash</i> terhadap Kekuatan Pasir	39
V SIMPULAN DAN SARAN	43
5.1 Simpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	59
RIWAYAT HIDUP	61



DAFTAR TABEL

1. Klasifikasi kepadatan relatif tanah pasir	5
2. Klasifikasi derajat kejenuhan tanah	6
3. Unsur senyawa kimia dan sifat fisika pada <i>fly ash</i>	7
4. Pedoman Interpretasi koefisien determinasi	9
5. Pedoman Interpretasi RMSE dan MAE	9
6. Variasi sampel uji	13
7. Karakteristik angka pori tanah pasir uji	18
8. Properties tanah pasir	19
9. Properties variasi sampel uji	20
10. Komposisi material sampel pada variasi DR dan <i>fly ash</i>	21
11. Komposisi unsur tanah pasir <i>untreated</i>	31
12. Komposisi unsur <i>fly ash</i>	32
13. Komposisi unsur tanah pasir <i>treated</i>	34
14. Pengaruh penambahan <i>fly ash</i> terhadap UCS dan UPV tanah pasir	36
15. Hasil analisis dan evaluasi regresi linear berganda	39
16. Hasil pengujian kuat tekan bebas (UCS)	61

DAFTAR GAMBAR

1. Bahan penelitian (a) pasir ; (b) <i>fly ash</i> tipe C	10
2. Diagram alir prosedur penelitian	11
3. Skematik pembuatan sampel uji	14
4. Skematik pengujian kuat tekan bebas dengan alat UCS	14
5. Skematik pengujian kecepatan rambat gelombang dengan alat UPV	15
6. Distribusi ukuran butiran tanah pasir	19
7. Pengaruh variasi kadar <i>fly ash</i> terhadap nilai UCS	21
8. Mekanisme ikatan antarpartikel akibat produk pozzolanik	22
9. Pengaruh variasi kepadatan relatif terhadap nilai UCS	24
10. Mekanisme interlocking akibat peningkatan kepadatan	24
11. Pengaruh variasi derajat kejenuhan terhadap nilai UCS	26
12. Pola difraksi sinar-X (XRD) tanah pasir <i>untreated</i>	30
13. Citra SEM butiran pasir <i>untreated</i>	30
14. Pola difraksi sinar-X (XRD) <i>fly ash</i>	31
15. Citra SEM butiran <i>fly ash</i>	31
16. Pola difraksi sinar-X (XRD) pasir <i>treated</i>	33
17. Citra SEM pasir <i>treated</i> : (a) DR 50%, (b) DR 70%, (c) DR 90%	33
18. Grafik korelasi nilai UCS terhadap UPV	36
19. Perbandingan korelasi UPV–UCS pada tanah pasir dan beton	38
20. Grafik UCS prediksi terhadap UCS uji parameter <i>fly ash</i> , SR, dan DR	40

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi pengujian	60
Lampiran 2 Data hasil pengujian	61
Lampiran 3 Data pendukung hasil pengujian UPV	62