

IMPROVEMENT OF COASTAL SANDY SOIL USING CALCITE PRECIPITATION METHOD FOR LIQUEFACTION MITIGATION

MAULINA LAMUSE



CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING
FACULTY OF AGRICULTURAL ENGINEERING & TECHNOLOGY
IPB UNIVERSITY
BOGOR
2025

@Hak cipta milik IPB University

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.



STATEMENT ON THESIS, SOURCES OF INFORMATION, AND COPYRIGHT TRANSFER

I hereby declare that the thesis entitled "*Improvement of Coastal Sandy Soil Using Calcite Precipitation Method for Liquefaction Mitigation*" is my original work conducted under the guidance of academic supervisors and has not been submitted in any form to any other higher education institution. All sources of information, whether published or unpublished, taken from other authors have been properly cited in the text and are listed in the References section at the end of this thesis.

By this statement, I also transfer the copyright of this written work to IPB University.

Bogor, August 2025

Maulina Lamuse
F4501241015

- 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.



SUMMARY

MAULINA LAMUSE. Improvement of Coastal Sandy Soil Using Calcite Precipitation Method for Liquefaction Mitigation. Supervised by HERIANSYAH PUTRA and ERIZAL.

Liquefaction is a significant geotechnical hazard in earthquake-prone coastal areas, occurring when saturated sandy soils lose their strength due to seismic shaking. This study investigates the liquefaction potential at Pelabuhan Ratu Beach and evaluates a soil improvement technique using the Soybean Crude Urease–Calcite Precipitation (SCU-CP) method, modified with powdered skim milk to enhance treatment effectiveness. Field investigations included the cone penetration test (CPT). In contrast, laboratory tests comprised soil property analysis, precipitation ratio measurement, hydrolysis rate evaluation to determine the optimum soybean extract concentration, and direct shear tests on untreated and treated soil specimens. Liquefaction analysis was based on CPT-derived cyclic stress ratio (CSR) and cyclic resistance ratio (CRR) values. Results showed that at location S-1, shallow layers had a very high liquefaction potential, while at S-2, the 0–6.8 m depth also exhibited a very high potential. Soybean extract concentrations ranging from 20 to 100 g/L were tested, and 80 g/L was identified as the optimum value based on precipitation performance. This optimum concentration was then applied to coastal sandy soils, followed by the addition of powdered skim milk at 4–6 g/L. Calcite precipitation treatment at the optimum soybean concentration increased cohesion to 21.41 kPa, while adding powdered skim milk further enhanced cohesion by 27%, reaching 27.2 kPa. Internal friction angles exceeded 15°, and estimated UCS values reached 54.4 kPa. The combination of SCU-CP and powdered skim milk effectively improved the stability of coastal sandy soils, offering a promising soil improvement alternative for liquefaction mitigation.

Keywords: CPT, CRR, CSR, skim milk, soybean



RINGKASAN

MAULINA LAMUSE. Perbaikan Tanah Pasir Pantai Menggunakan Metode Presipitasi Kalsit untuk Mitigasi Likuifaksi. Dibimbing oleh HERIANSYAH PUTRA dan ERIZAL.

Likuifaksi merupakan permasalahan geoteknik yang terjadi ketika tanah pasir jenuh kehilangan kekuatannya akibat getaran seismik. Penelitian ini mengevaluasi potensi likuifaksi di Pantai Pelabuhan Ratu dan mengusulkan perbaikan tanah menggunakan metode *calcite precipitation* yang dimodifikasi dengan penambahan susu skim bubuk. Penelitian ini bertujuan untuk menilai potensi likuifaksi melalui uji lapangan dan laboratorium, menentukan konsentrasi optimum ekstrak kedelai, dan mengembangkan formulasi *calcite precipitation* paling efektif untuk meningkatkan kekuatan geser tanah. Metode yang dilakukan meliputi uji *cone penetration test* (CPT), uji karakterisasi fisik tanah, uji presipitasi dan laju hidrolisis, serta uji kuat geser langsung pada sampel tanah tanpa perbaikan dan dengan perbaikan. Analisis potensi likuifaksi didasarkan pada nilai *cyclic stress ratio* (CSR) dan *cyclic resistance ratio* (CRR) yang diperoleh dari hasil CPT. Hasil menunjukkan bahwa pada lokasi S-1, lapisan tanah dangkal memiliki potensi likuifaksi sangat tinggi, sedangkan pada lokasi S-2, kedalaman 0–6,8 m juga menunjukkan potensi sangat tinggi. Variasi konsentrasi ekstrak kedelai 20–100 g/L diuji, dan 80 g/L diidentifikasi sebagai nilai optimum berdasarkan rasio presipitasi. Konsentrasi optimum ini kemudian diaplikasikan pada tanah pasir pantai, diikuti dengan penambahan susu skim bubuk 4–6 g/L. Perbaikan tanah dengan *calcite precipitation* meningkatkan kohesi tanah hingga 21,41 kPa, dan penambahan susu skim bubuk meningkatkan kohesi sebesar 27%. Penambahan susu skim bubuk pada konsentrasi 4–6 g/L meningkatkan kohesi hingga 27,2 kPa dan sudut geser dalam $>15^\circ$, dengan estimasi UCS sebesar 54,4 kPa. Kombinasi SCU-CP dan susu skim bubuk efektif dalam meningkatkan stabilitas tanah pasir pesisir dan berpotensi sebagai metode alternatif untuk perkuatan tanah dalam mitigasi likuifaksi.

Kata kunci: CPT, CRR, CSR, susu skim, kedelai



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 2025¹
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.



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

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.

Perpustakaan IPB University

IMPROVEMENT OF COASTAL SANDY SOIL USING CALCITE PRECIPITATION METHOD FOR LIQUEFACTION MITIGATION

MAULINA LAMUSE

Thesis
as the requirement to obtain
Master's Degree in
Civil and Environmental Engineering

**CIVIL AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING
FACULTY OF AGRICULTURAL ENGINEERING & TECHNOLOGY
IPB UNIVERSITY
BOGOR
2025**



@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.

Thesis Examination Committee:

1. Prof. Dr. Ir. Chusnul Arif, S.TP., M.Si., IPM



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

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.

Perpustakaan 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.

Title : Improvement of Coastal Sandy Soil Using Calcite Precipitation
Method for Liquefaction Mitigation
Name : Maulina Lamuse
Student ID : F4501241015

Approved by

Supervisor:

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



Co-Supervisor:

Dr. Ir. Erizal, M.Agr., IPU
NIP. 19650106 199002 1 001



Known by

Head of Study Program:

Prof. Dr. Ir. Satyanto Krido Saptomo, S.TP., M.Si., IPM
NIP. 19730411 200501 1 002



Dean of Faculty of Agricultural Engineering & Technology

Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr.
NIP. 19610502 198603 1 002



Thesis Examination Date
August 11th 2025

Approval Date: 19 AUG 2025

PREFACE

Praise and gratitude are offered to Allah, the Almighty, for His blessings, which enabled the completion of this thesis, titled *"Improvement of Coastal Sandy Soil Using Calcite Precipitation Method for Liquefaction Mitigation"*. This thesis is submitted as part of the academic requirements for obtaining a Master's degree at the Graduate School of IPB University.

The author expresses sincere gratitude to all individuals who supported the completion of this research. Special appreciation is conveyed to the author's father, mother, and siblings for their unwavering prayers and encouragement throughout this academic journey. Heartfelt thanks are extended to Dr. Eng. Ir. Heriansya Putra, S.Pd, M.Eng., IPM., as the Supervisor, and Dr. Ir. Erizal, M.Agr., IPU., as the Co-Supervisor, for their invaluable guidance, constructive advice, and continuous support throughout the research and writing process. Sincere appreciation is also conveyed to Prof. Dr. Ir. Chusnul Arif, S.TP., M.Si., IPM., for kindly serving as the examiner during the thesis defense.

The author also expresses gratitude to the members of the Geo-Mac research group for their support, collaboration, motivation, and knowledge-sharing throughout the study. Appreciation is extended to fellow students of SINERGI SIL 57, who deeply understood the author's journey as fast-track students striving together from undergraduate to postgraduate studies. Special thanks are also directed to the Department of Civil and Environmental Engineering (SIL) for the warmth, support, and academic environment provided over the past five years. Lastly, the author expresses heartfelt gratitude to the author's closest friends—AJENG and 10—for their genuine belief, motivation, and unwavering support during the most challenging times of this journey.

The author is fully aware that this thesis may still have limitations. Therefore, constructive feedback and suggestions are sincerely welcomed. This work will provide meaningful insights and contribute to future research in sustainable geotechnical engineering.

Bogor, August 2025

Maulina Lamuse



CONTENTS

LIST OF TABLES	xi
LIST OF FIGURES	xi
LIST OF APPENDIX	xi
INTRODUCTION	1
1.1 Background	1
1.2 Problem Statement	3
1.3 Main Objectives of the Research	3
1.4 Significance of the Research	3
1.5 Limitations of the Research	3
LITERATURE	4
2.1 Liquefaction	4
2.2 Calcite Precipitation	5
METHODOLOGY	8
3.1 Research Site and Timeline	8
3.2 Tools and Materials	8
3.3 Research Procedure	8
RESULT AND DISCUSSION	14
4.1 Liquefaction Potential	14
4.1.1 Liquefaction Potential Based on Soil Properties	14
4.1.2 Liquefaction Potential Based on Soil Investigation	15
4.2 Optimum Treatment Solution	18
4.3 Improvement in Soil Shear Strength	20
4.4 Role of Skim Milk Powder in Enhancing Calcite-Soil Bonding	22
CONCLUSION AND RECOMMENDATION	31
5.1 Conclusion	31
5.2 Recommendation	31
REFERENCES	32
APPENDIX	39
BIOGRAPHY	44



LIST OF TABLES

1	Experimental condition of SCU-CP solution	11
2	Soil properties result	14

LIST OF FIGURES

1	Soil sampling location	8
2	Procedure research	9
3	Preparation of the SCU-CP solution and direct shear testing	13
4	Grain size distribution	14
5	Cone penetration test point location	16
6	CPT Results at Test Point 1 (S-1)	16
7	CPT Results at Test Point 1 (S-2)	17
8	Analysis of Liquefaction Potential Using CPT Data	18
9	Distribution of Calcite and Soybean Precipitation	19
10	Shear strength parameter of untreated and treated soil sample	20
11	SEM image of soil particles treated using EICP solution	23
12	Comparative schematic of calcite precipitation at particle contact points	24
13	Relationships between UCS and input parameters	27
14	Comparison of predicted and observed UCS values	29
15	Heatmap of correlations	29

LIST OF APPENDIX

1	Research testing documentation	40
2	Data analysis method coding in google colab	41