

SKRIPSI

**STUDI ANALISIS *BIOCEMENTATION*
OLEH ISOLAT BAKTERI PASIR PADANG**



**DARY AULIA MUHAMMAD
NPM : 2012410043**

PEMBIMBING: Aswin Lim, Ph.D.

KO-PEMBIMBING: Anastasia Sri Lestari, Ir., M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/XII/2018)
BANDUNG
JANUARI 2019**

SKRIPSI

**STUDI ANALISIS *BIOCEMENTATION*
OLEH ISOLAT BAKTERI PASIR PADANG**



**DARY AULIA MUHAMMAD
NPM : 2012410043**

PEMBIMBING: Aswin Lim, Ph.D.

KO-PEMBIMBING: Anastasia Sri Lestari, Ir., M.T.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/XII/2018)
BANDUNG
JANUARI 2019**

SKRIPSI

**STUDI ANALISIS *BIOCEMENTATION*
OLEH ISOLAT BAKTERI PASIR PADANG**



**DARY AULIA MUHAMMAD
NPM : 2012410043**

BANDUNG, 8 JANUARI 2019

KO-PEMBIMBING:

PEMBIMBING:


Anastasia Sri Lestari, Ir., M.T.


Aswin Lim, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/XII/2018)
BANDUNG
JANUARI 2019**

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama lengkap : Dary Aulia Muhammad

NPM : 2012410043

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul: “**STUDI ANALISIS BIOCEMENTATION OLEH ISOLAT BAKTERI PASIR PADANG**” adalah karya ilmiah yang bebas plagiat. Jika dikemudian hari terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Bandung, Januari 2019



Dary Aulia Muhammad

2012410043

STUDI ANALISIS *BIOCEMENTATION* OLEH ISOLAT BAKTERI PASIR PADANG

Dary Aulia Muhammad
NPM: 2012410043

Pembimbing: Aswin Lim, Ph.D.
Ko-Pembimbing: Anastasia Sri Lestari, Ir., M.T.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/XII/2018)
BANDUNG
JANUARI 2019

ABSTRAK

Biocementation adalah suatu metode perkuatan struktur tanah dengan memanfaatkan kemampuan bakteri asli tanah dalam menghasilkan enzim urease. Metode ini merupakan alternatif metode perkuatan tanah seperti *chemical grouting* yang memanfaatkan bahan-bahan kimia beracun dan tidak seharusnya berada didalam tanah. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan spesies bakteri dengan kemampuan urease yang diisolasi dari pasir Padang, menentukan kadar CaCO_3 dari setiap sampel tersementasi, dan untuk menentukan kuat tekan bebas tanah setelah masa perlakuan. Bakteri tanah pasir Padang dengan kemampuan menghasilkan enzim urease diisolasi dan ditumbuhkan didalam *syringe* 100 ml berisi tanah pasir Padang selama 4-6 hari. Tanah pasir padang dibedakan menjadi beberapa sampel perlakuan bervolume 100 ml tanah, yaitu Kontrol 1, Kontrol 2, 10 ml, 20 ml, dan 30 ml. Selama masa perlakuan, tanah berisi isolat bakteri pasir Padang diberikan larutan sementasi setiap 12 jam sekali. Hasil isolasi menunjukkan bahwa spesies bakteri teridentifikasi sebagai *Sporosarcina sp.*. Kadar CaCO_3 dari tanah tersementasi yang terukur pada sampel Kontrol 2, 10 ml, 20 ml, dan 30 ml berturut-turut adalah sebesar 23,37%; 33,12%; 42,63%; dan 45,79%. Kuat tekan bebas tanah (q_u) yang didapatkan dari uji *Hand Penetrometer* setelah masa perlakuan untuk sampel Kontrol 2, 10 ml, 20 ml, dan 30 ml, berturut-turut adalah sebesar >500 kPa, >500 kPa, 150 kPa, dan 425 kPa. Sampel Kontrol 1 tidak membentuk sampel tanah tersementasi.

Kata kunci: *Biocementation*, tanah pasir Padang, isolat bakteri, kuat tekan bebas (q_u),

ANALYTICAL STUDY ON BIOCEMENTATION BY PADANG SAND BACTERIAL ISOLATES

Dary Aulia Muhammad
NPM: 2012410043

Advisor: Aswin Lim, Ph.D.
Co-Advisor: Anastasia Sri Lestari, Ir., M.T.

PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
(Accredited by SK BAN-PT Nomor: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/XII/2018)
BANDUNG
JANUARI 2019

ABSTRACT

Biocementation is a soil improvement method using the microbial ability to produce urease enzyme. This method is an alternative method of chemical grouting that is using toxic chemical substances and is not supposed to be inside the soil. The aim of this research is to identify the species of bacteria isolated from Padang sand, to determine the content of CaCO₃ of the cemented samples, and to determine the compressive strength value (q_u) of the samples after treatment period. The bacteria which is isolated from Padang sand, were grown in Padang sand in a 100 ml syringe for 4 – 6 days. The Padang sand samples were divided into Kontrol 1, Kontrol 2, 10 ml, 20 ml, and 30 ml. During the treatment period, the samples were given cementation solutions for every 12 hours. The bacterial isolate of Padang sand were identified as *Sporosarcina sp.*. The CaCO₃ content of Kontrol 2, 10 ml, 20 ml, and 30 ml respectively were 23.37%, 33.12%, 42.63%, and 45.79%. Compressive strength value (q_u) of Kontrol 1, Kontrol 2, 10 ml, 20 ml, and 30 ml respectively were >500 kPa, >500 kPa, 150 kPa, and 425 kPa. The Kontrol 1 sample was not found to be cemented.

Keywords: Biocementation, Padang sand, bacterial isolate, compressive strength value (q_u)

PRAKATA

Alhamdulillahirobbil ‘aalamiin. Puji syukur penulis ungkapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan kelancaran dan kemudahan pada penulis untuk menyelesaikan skripsi dengan judul “STUDI ANALISIS *BIOCEMENTATION* OLEH ISOLAT BAKTERI PASIR PADANG”. Skripsi ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi di tingkat S-1 (sarjana) di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan skripsi ini tidaklah melalui proses yang pendek dan mudah. Namun berkat kritik, saran, dan dukungan dari berbagai pihak maka pada akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan. Penulis menghaturkan terima kasih kepada orang-orang yang telah membantu dalam penyusunan skripsi yaitu:

1. Keluarga penulis, Papa dan Mama (Ir. Agung Setiabudi, M.Sc., dan Muljani Gustina Kusdiman, SE) yang telah mendidik dan memfasilitasi penulis sejak lahir sampai dengan menjadi mahasiswa, serta Ardhito Cato Wibowo dan si cantik Alya Alma Maula sebagai saudara yang menyebarkan namun tetap disayangi;
2. Nenek penulis (Resmini “Mien” Ardiwinata) yang selalu menyemangati penulis untuk menyelesaikan perkuliahan. Terimakasih sudah selalu menemani sampai akhirnya wisuda, iyang;
3. Pak Aswin dan Ibu Anastasia sebagai dosen pembimbing yang selalu sabar dan bersemangat dalam membantu, membimbing dan mengarahkan penulis dalam mengerjakan penelitian skripsi;
4. Bapak Prof. Paulus Pramono, Ir., MSCE., Ph.D., Bapak Budianto Widjaja, Ph.D., Ibu Siska Rustiani Irawan, Ir., M.T. selaku dosen yang memberikan ilmu pengetahuan serta saran dan kritik kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan lebih baik;
5. Seluruh dosen program studi Teknik Sipil UNPAR yang telah membagikan ilmu dan membimbing penulis selama menjalani perkuliahan;

6. Tim SITH ITB (Maul, Aul, Aggy, Sisil, Ucup, Alda, Salsa, Hana, Ulya, Anwar, dan Jayen) yang senantiasa mengajari penulis selama masa perlakuan skripsi;
7. Vina Detri Kirana sebagai sahabat spesial yang senantiasa menemani penulis dengan ceria dan selalu bersikap positif dalam menghadapi tingkah penulis yang kadang-kadang sedikit absurdbsurd;
8. Seluruh teman-teman Teknik Sipil UNPAR 2012 yang telah menemani penulis selama masa perkuliahan dan dengan senantiasa mendukung penulis dalam melanjutkan dua perkuliahan;
9. Geng Galer (Patar, Bayu, Chandra, Devin, Elfan, Fadil, Faisal, Gerald, Gibran, Hermil, Kemal, Kukuh, Bojo, Rizky, Rolan, Ruly, Safero, Garin, Xavier, dan Zelandi) yang telah menyediakan suasana menyenangkan;

Terima kasih atas segala bantuan maupun dukungan yang telah diberikan. Penulis mengharapkan kritik dan saran pembaca mengenai penelitian ini. Kritik dan saran mengenai penelitian ini dapat menjadikan penelitian ini lebih baik dan bermanfaat.

Bandung, 12 Desember 2018



Dary Aulia Muhammad

2012410043

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1-1
1.1 Latar Belakang	1-1
1.2 Inti Permasalahan	1-3
1.3 Tujuan Penelitian	1-3
1.4 Lingkup Bahasan	1-3
1.5 Metode Penelitian	1-4
1.6 Sistematika Penulisan	1-4
1.7 Diagram Alir Penelitian	1-5
BAB 2 STUDI PUSTAKA	2-1
2.1 Bencana Alam Likuifaksi	2-1
2.2 Kriteria Bakteri Sebagai Agen <i>Biocementation</i>	2-2
2.2.1 Kelimpahannya di tanah Indonesia	2-2
2.2.2 Ukuran Sel Bakteri	2-2
2.2.3 Ketahanan terhadap Kondisi Ekstrim	2-2
2.3 <i>Biocementation</i>	2-3
2.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi <i>Biocementation</i>	2-4
2.4.1 Nutrien	2-4
2.4.2 Jenis Bakteri	2-5
2.4.3 Kompatibilitas Geometris dari Bakteri	2-5
2.4.4 Konsentrasi Sel Bakteri	2-5
2.4.5 Suhu	2-6
2.4.6 pH Tanah	2-6
2.4.7 Reagen Sementasi	2-6

2.5	Prospek Penelitian dan Aplikasi Teknologi <i>Biocementation</i>	2-7
2.6	Uji <i>Hand Penetrometer</i>	2-8
2.7	Scanning Electron Microscopy (SEM).....	2-8
2.8	X-ray Diffraction	2-9
BAB 3 METODE PENELITIAN		3-1
3.1	Tahapan Penelitian	3-1
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	3-2
3.3	Alat dan Bahan yang Digunakan.....	3-2
3.4	Metode Perlakuan dan Pengukuran.....	3-2
3.4.1	Isolasi dan Persiapan Isolat Bakteri	3-2
3.4.2	Identifikasi Bakteri.....	3-3
3.4.3	Persiapan Sampel Tanah Uji dan Tabung <i>Syringe</i> 100 ml.....	3-3
3.4.4	Reagen Sementasi	3-4
3.4.5	Hand Penetrometer.....	3-5
3.4.6	Pengukuran Kadar Kalsium Karbonat	3-5
3.4.7	SEM dan XRD	3-5
BAB 4 ANALISIS DATA.....		4-1
4.1	Isolasi dan Identifikasi Isolat Bakteri Urease Positif	4-1
4.1.1	Isolat Bakteri Pasir Padang	4-1
4.1.2	Uji Urease	4-4
4.1.3	Identifikasi Jenis Bakteri.....	4-5
4.2	Biocementation Pasir Padang.....	4-8
4.2.1	<i>Index Properties</i> dan Persebaran Ukuran Butir Pasir Padang.....	4-8
4.2.2	pH Efluen	4-10
4.2.3	Kuat Tekan Bebas Pasir Padang Tersementasi	4-11
4.3	Uji Konfirmasi SEM dan XRD	4-14
4.4	Biaya Larutan Sementasi.....	4-18
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		5-1
5.1	Kesimpulan.....	5-1
5.2	Saran.....	5-1
DAFTAR PUSTAKA.....		xix

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

C_c	: Koefisien kelengkungan
C_u	: Koefisien keseragaman
E	: Modulus elastisitas
G_s	: <i>Specific Gravity</i>
pH	: Derajat keasaman
q_u	: Kuat tekan bebas
SEM	: <i>Scanning Electron Microscope</i>
S_u	: Kuat geser <i>undrained</i>
USCS	: <i>Unified Soil Classification System</i>
v	: Volume contoh tanah
w_c	: <i>Water content</i>
w_s	: Berat tanah kering
w_w	: Berat air
XRD	: <i>X-ray diffraction</i>
γ	: Berat isi tanah
γ_d	: Berat isi tanah kering
γ_s	: Berat isi tanah
γ_w	: Berat isi air pada temperatur 4 °C
ω	: Kadar air

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Diagram Alir Penelitian	1-5
Gambar 2. 1 Proses ureolisis dan pembentukan CaCO_3 dalam <i>Biocementation</i> (Dejong <i>et al.</i> , 2010)	2-4
Gambar 2. 2 <i>Hand Penetrometer</i> (Dokumentasi Pribadi, 2018).....	2-8
Gambar 2. 3 <i>Scanning Electrone Microscope</i> (Dokumentasi Pribadi, 2018)	2-9
Gambar 2. 4 <i>X-ray Diffractometer</i> (Dokumentasi Pribadi, 2018)	2-9
Gambar 3. 1 Diagram alir pengambilan data	3-1
Gambar 3. 2 Medium adaptasi (kiri); dan medium adaptasi dengan bakteri setelah 24 jam (kanan) (Dokumentasi Pribadi, 2018)	3-3
Gambar 3. 3 Konfigurasi sistem <i>Biocementation</i> (Dokumentasi Pribadi, 2018).	3-4
Gambar 3. 4 Proses pengujian menggunakan <i>Hand Penetrometer</i> (Dokumentasi Pribadi, 2018).....	3-5
Gambar 4. 1 Hasil isolasi bakteri dengan metode <i>Pour Plate</i>	4-2
Gambar 4. 2 Perbedaan spesies bakteri berdasarkan morfologi koloni (Cappuccino dan Sherman, 2010)	4-3
Gambar 4. 3 Hasil isolasi bakteri dengan metode <i>four-way Streak</i>	4-3
Gambar 4. 4 Hasil uji biokimia urease	4-4
Gambar 4. 5 Hasil pewarnaan gram bakteri	4-5
Gambar 4. 6 <i>Reference Sequence</i> untuk isolat bakteri pasir Padang (NCBI, 2018)	4-6
Gambar 4. 7 Pohon filogenetik isolat bakteri pasir Padang dengan <i>reference sequence</i> lain	4-7
Gambar 4. 8 Persebaran ukuran butir tanah	4-9
Gambar 4. 9 Kadar pH efluen	4-10
Gambar 4. 10 Kadar tanah tersementasi	4-11
Gambar 4. 11 Kadar CaCO_3 dari sampel tanah tersementasi	4-12
Gambar 4. 12 Kuat tekan bebas tanah	4-13
Gambar 4. 13 Perbandingan butir tanah asli (kanan) dan yang diselimuti CaCO_3 (kiri)	4-14
Gambar 4. 14 Butir tanah tersementasi	4-15
Gambar 4. 15 Hasil uji XRD	4-18

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 <i>Index properties</i> tanah pasir Padang	4-8
Tabel 4. 2 Hasil SEM untuk sampel perlakuan 10 ml	4-16
Tabel 4. 3 Biaya per Liter Larutan Sementasi 0,5 M.....	4-19

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Uji DNA <i>Sequencing</i>	L1-1
Lampiran 2 Hasil Uji <i>Index Properties</i> dan Uji Saringan.....	L2-1
Lampiran 3 Hasil Uji Kadar pH Efluen	L3-1
Lampiran 4 Hasil Dokumentasi Tanah Perlakuan	L4-1

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia terletak diantara pertemuan tiga buah lempeng besar berukuran benua yang secara terus menerus bergerak. Ketiga lempeng aktif tersebut adalah Hindia-Australia, Pasifik dan Eurasia. Indonesia juga berada pada pertemuan antara dua jalur gempa utama yaitu jalur gempa Mediterania dan jalur gempa Sirkum Pasifik. Selain itu, Indonesia sendiri memiliki sistem seismotoniik yang tergolong rumit dengan frekuensi kejadian gempabumi yang cukup tinggi. Hal tersebut menyebabkan Indonesia untuk memiliki predikat negara dengan tingkat kerawanan gempa bumi yang cukup tinggi (Kemkes, 2016).

Gempa bumi memang suatu bencana yang terjadi secara alami dan sangat merusak. Seringkali gempa bumi hanya diperhitungkan dampaknya terhadap struktur bagian permukaan tanah saja, padahal kenyataannya gempa bumi ini dapat menyebabkan suatu kerusakan sebagai akibat dari hilangnya stabilitas tanah. Kegagalan stabilitas tanah tersebut biasanya terjadi pada tanah lanau pasir yang bersifat jenuh dengan gradasi yang seragam. Peristiwa tanah pasir yang mencair saat terjadi gempa ini kemudian dikenal dengan istilah likuifaksi (Sudarman, 2016).

Ancaman kerusakan struktur dan korban jiwa sebagai dampak dari likuifaksi di beberapa daerah di Indonesia tergolong tinggi. Berkaca pada likuifaksi yang terjadi di Padang sebagai dampak dari gempa pada 30 September 2009, terlihat bahwa titik-titik bencana tersebar didaerah dekat aliran sungai dan tepi pantai. Menurut Harkam dan Darjanto (2013), kedalaman tanah yang berpotensi likuifaksi di kawasan Pantai Padang berada pada kisaran 4 – 12 m, dengan potensi yang sangat besar terjadi pada kedalaman 4 - 8 m. Sampai saat ini, masih banyak riset yang dilakukan dalam upaya untuk meminimalisir kemungkinan likuifaksi ini terjadi lagi.

Berbagai upaya dilakukan untuk memperbaiki dan memperkuat tanah, namun seringkali yang digunakan merupakan suatu material asing yang

sebenarnya tidak seharusnya berada didalam tanah. Contohnya adalah metode *chemical grouting*, dimana materi kimia seperti semen, aspal, dan sodium silikat diinjeksikan kedalam tanah dengan maksud untuk memperkuat struktur tanah. Ternyata beberapa penelitian menunjukkan bahwa materi-materi kimiawi tersebut dapat berdampak buruk karena berpotensi mengontaminasi tanah dan aliran air tanah karena bersifat racun dan berbahaya bagi ekosistem secara umum (Karol, 2003). Hal ini mendorong para peneliti untuk mengembangkan teknologi yang lebih ramah lingkungan, seperti *Microbial-induced Calcite Precipitation*.

Microbial-induced Calcite Precipitation (MICP) merupakan suatu metode perkuatan tanah yang baru dan muncul karena semakin berkembangnya *Bio-mediated Soil Improvement*. MICP adalah suatu metode yang melibatkan bakteri tanah dengan kemampuan *urease hydrolysis* sehingga dapat mengendapkan kalsium karbonat (CaCO_3) sebagai bahan perekat antar butir tanah untuk memperkuat struktur tanah itu sendiri (Fujita *et al.*, 2000). Ada beberapa jenis bakteri yang diketahui memiliki kemampuan tersebut seperti *Sporosarcina pasteurii*, *Proteus vulgaris*, *Bacillus pasteurii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus*, dan masih banyak lagi (Whiffin, 2004).

Di Indonesia sendiri, belum terdapat banyak penelitian yang membahas tentang *Bio-mediated Soil Improvement* atau yang biasa disebut *Biocementation*. Bakteri yang akan digunakan dalam penelitian ini juga sebaiknya adalah bakteri asli yang berasal dari tanah di Indonesia, khususnya yang berasal dari Pantai Padang itu sendiri. Kedua hal ini mendorong penelitian untuk menemukan bakteri asli dari tanah pasir di Padang sebagai agen *Biocementation* dan dilakukan terhadap jenis tanah pasir Padang untuk melihat feasibilitas penggunaan bakteri dalam meningkatkan kekuatan struktur tanah pasir. Diharapkan melalui penelitian ini, akan menambah alternatif pengambilan keputusan untuk mencegah terjadinya kerusakan sebagai dampak likuifaksi seperti yang terjadi di Padang pada daerah lain di Indonesia.

1.2 Inti Permasalahan

Penelitian di Indonesia yang membahas tentang kemampuan bakteri sebagai agen *Biocementation* sangat terbatas, sedangkan metode perkuatan tanah ini sangat berpotensi dalam menyelesaikan permasalahan seperti yang terjadi di Padang. Hal ini mendorong penulis untuk melakukan penelitian menggunakan bakteri yang diisolasi dari tanah pasir Padang untuk mengetahui besar peningkatan kuat geser tanah terhadap pasir Padang.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menentukan spesies bakteri dengan kemampuan urease yang diisolasi dari pasir Padang.
2. Menentukan kadar CaCO_3 dari setiap sampel tersementasi.
3. Menentukan kuat tekan tanah setelah masa perlakuan terhadap pasir Padang dengan uji *Hand Penetrometer*.

1.4 Lingkup Bahasan

Untuk memecahkan inti permasalahan dan untuk mencapai tujuan penelitian, lingkup bahasan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Tanah yang digunakan merupakan tanah pasir asli dari pantai di Kota Padang.
2. Isolasi bakteri dilakukan menggunakan tanah pasir Padang.
3. Tanah akan dicampur dengan berbagai volume inokulum bakteri, yaitu 10 ml, 20 ml, dan 30 ml.
4. Pemberian larutan sementasi setiap 12 jam sekali
5. Uji kuat tekan bebas menggunakan alat uji *Hand Penetrometer*.
6. Uji konfirmasi SEM dan XRD.

1.5 Metode Penelitian

Beberapa metode penelitian yang dilakukan sebagai bahan literasi untuk mendukung keberjalanan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Tinjauan pustaka, dilakukan untuk mendapatkan landasan-landasan teori dan literatur yang mendukung berjalannya penelitian ini. Pustaka yang menjadi sumber untuk penelitian ini adalah buku, artikel, jurnal online dan skripsi pembandingan.
2. Uji laboratorium, dilakukan untuk mendapatkan data kemudian diolah untuk dianalisis.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan karya tulis ilmiah ini dibagi menjadi lima bab, yaitu:

BAB 1 Pendahuluan

Menjelaskan latar belakang masalah, inti dari permasalahan yang dihadapi, tujuan penelitian, lingkup penelitian, metode penelitian, sistematika penulisan, dan diagram alir.

BAB 2 Studi Kasus

Menjelaskan studi tentang *Bio-mediated Soil Improvement*, Bakteri yang diisolasi dari pasir Padang, properti pasir Padang, dan Proses *Biocementation*.

BAB 3 Metode Analisis

Menjabarkan alur pekerjaan yang dilakukan selama masa penelitian secara detail dan penjelasan metode analisis yang digunakan.

BAB 4 Data Dan Analisis Data

Memaparkan data hasil isolasi pasir Padang, uji kadar Ammonia, kuat tekan bebas tanah setelah perlakuan, kadar kalsium karbonat tanah setelah perlakuan, serta melakukan analisis yang menghubungkan ketiganya.

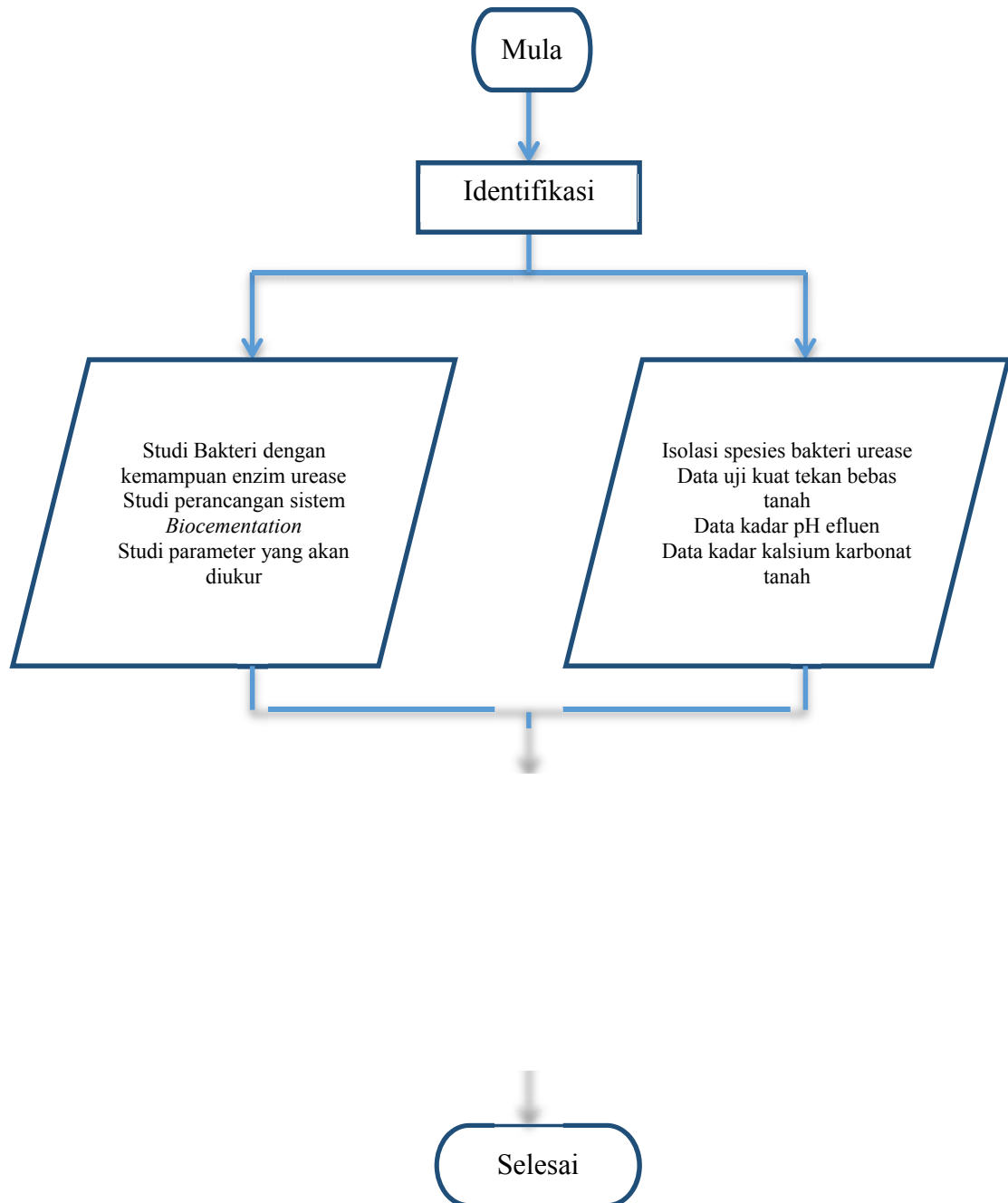
BAB 5 Kesimpulan Dan Saran

Memberikan kesimpulan dan saran tentang hasil dari analisis yang telah dilakukan.

1.7 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir menggambarkan keseluruhan penelitian secara lebih singkat.

Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 1.1**.



Gambar 1.1 Diagram Alir Penelitian