

TESIS

**ANALISIS KARAKTERISTIK BETON NORMAL DAN
SELF HEALING CONCRETE DENGAN BAKTERI
BACILLUS SUBTILIS TERHADAP VISUAL DAN
KUAT TEKAN**



NI KADEK MAUDY REGIANDINI GRACIA PARAMESTI

NPM: 235119699

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
2025



FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PERSETUJUAN TESIS

Nama : NI KADEK MAUDY REGIANDINI GRACIA
PARAMESTI
Nomor Mahasiswa : 235119699 / MTS
Konsentrasi : STRUKTUR
Judul Tesis : ANALISIS KARAKTERISTIK BETON NORMAL DAN
SELF HEALING CONCRETE DENGAN BAKTERI
BACILLUS SUBTILIS TERHADAP VISUAL DAN
KUAT TEKAN

Nama Pembimbing dan Penguji

Tanggal

Tanda Tangan

20 Mei 2025





FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PENGESAHAN TESIS

Nama : NI KADEK MAUDY REGIANDINI GRACIA
PARAMESTI
Nomor Mahasiswa : 235119699 / MTS
Konsentrasi : STRUKTUR
Judul Tesis : ANALISIS KARAKTERISTIK BETON NORMAL DAN
SELF HEALING CONCRETE DENGAN BAKTERI
BACILLUS SUBTILIS TERHADAP VISUAL DAN
KUAT TEKAN

Nama Pembimbing dan Penguji	Tanggal	Tanda Tangan
-----------------------------	---------	--------------

Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M. Eng., Ph.D.	14/07/2025	
--	------------	--

Prof. Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng., IPU, ASEAN Eng.	14/07/2025	
---	------------	--

Anggun Tri Atmajayanti, S.T., M. Eng., Ph.D.	14/07/2025	
---	------------	--

Mengetahui,



Dr. Ir. Nectaria Putri Pramesti, S.T., M.T., IPM, ASEAN Eng.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tesis dengan judul:

**ANALISIS KARAKTERISTIK BETON NORMAL DAN *SELF HEALING*
CONCRETE DENGAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* TERHADAP
VISUAL DAN KUAT TEKAN**

Benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dari karya orang lain. Ide, data hasil penelitian maupun kutipan baik langsung maupun tidak langsung yang bersumber dari tulisan atau ide orang lain dinyatakan secara tertulis dalam studi ini. Apabila terbukti dikemudian hari bahwa studi ini merupakan hasil plagiasi, maka ijazah yang saya peroleh dinyatakan batal dan akan saya kembalikan kepada Rektor Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Yogyakarta, 21 Mei 2025

Yang membuat pernyataan,



Ni Kadek Maudy Regiandini
Gracia Paramesti

INTISARI

ANALISIS KARAKTERISTIK BETON NORMAL DAN *SELF HEALING CONCRETE* DENGAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* TERHADAP VISUAL DAN KUAT TEKAN, Ni Kadek Maudy Regiandini Gracia Paramesti, NPM 235119699, 2024, Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan karakteristik antara beton normal dan *self-healing concrete* dengan penambahan bakteri *Bacillus Subtilis*, khususnya terhadap aspek visual dan kuat tekan dengan variasi dosis 0% (kontrol), 0,01%, 0,10%, dan 1% dari cetakan silinder beton. Bakteri ini mampu memproduksi endospora yang dapat bertahan dalam kondisi ekstrem serta menghasilkan kalsium karbonat (CaCO_3) melalui proses biomineralisasi, yang berpotensi memperbaiki keretakan mikro pada beton. Pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa dosis 0,10% dan 1% menunjukkan penurunan kuat tekan masing-masing sebesar 4,6% dan 14,85%. Namun pada dosis 1%, retakan berkurang dari ± 15 cm menjadi $\pm 6,2$ cm, setara dengan penyembuhan sepanjang $\pm 8,8$ cm atau sekitar 58.67%. Penutupan retak terlihat mulai signifikan pada hari ke-10. Dosis 0,10% menunjukkan penyembuhan sebesar $\pm 1,5$ cm atau 15,00%, yang mulai tampak jelas pada hari ke-26. Sementara itu, dosis terendah 0,01% hanya menunjukkan penyembuhan $\pm 0,2$ cm atau sekitar 2,22% dari total panjang retak awal. Hasil ini menunjukkan adanya perbedaan kontribusi kinerja bakteri tergantung pada dosisnya, di mana dosis rendah lebih efektif meningkatkan kekuatan mekanis beton, sementara dosis tinggi lebih optimal dalam memperbaiki keretakan secara mandiri.

Kata Kunci: *Bacillus subtilis*, beton, kuat tekan, *self-healing*, biomineralisasi.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF NORMAL CONCRETE AND SELF-HEALING CONCRETE WITH BACILLUS SUBTILIS ON VISUAL APPEARANCE AND COMPRESSIVE STRENGTH, Ni Kadek Maudy Regiandini Gracia Paramesti, NPM 235119699, 2024, Master's Program in Civil Engineering, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

*This study aims to analyze the comparative characteristics between normal concrete and self-healing concrete with the addition of *Bacillus subtilis*, specifically in terms of visual healing and compressive strength using cylindrical concrete specimens with bacterial dosage variations of 0% (control), 0.01%, 0.1%, and 1%. *Bacillus subtilis* is capable of producing endospores that survive in extreme conditions and generate calcium carbonate (CaCO_3) through biomineralization, which has the potential to repair microcracks in concrete. Compressive strength tests showed that dosages of 0.1% and 1% caused decreases of 4.6% and 14.85%, respectively. However, at the 1% dosage, crack length was reduced from ± 15 cm to ± 6.2 cm, indicating healing of ± 8.8 cm or about 58.67%. Crack closure became significantly visible on day 10. The 0.1% dosage resulted in healing of ± 1.5 cm or 15.00%, with notable changes observed on day 26. Meanwhile, the lowest dosage of 0.01% only showed ± 0.2 cm healing or around 2.22% of the initial crack length. These results indicate that bacterial performance varies by dosage: lower dosages are more effective in improving mechanical strength, while higher dosages are more optimal for autonomous crack repair.*

*Keywords: *Bacillus subtilis*, concrete, compressive strength, self-healing, biomineralization.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan kasih-NYA sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul **ANALISIS KARAKTERISTIK BETON NORMAL DAN *SELF HEALING CONCRETE* DENGAN BAKTERI *BACILLUS SUBTILIS* TERHADAP VISUAL DAN KUAT TEKAN**. Tesis ini dilaksanakan guna memenuhi persyaratan untuk mendapatkan gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Sipil Struktur, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Terselesaikannya tesis ini tidak lepas dari dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Pertama dan Terutama untuk Tuhan Yang Maha Esa karena cinta dan kasih-NYA yang berlimpah, maka penulis diperkenankan-NYA dapat menyelesaikan tesis ini serta memperoleh gelar Magister Teknik Sipil Struktur sesuai dengan waktunya.
2. Bp. Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M. Eng., Ph.D., selaku dosen pembimbing tesis yang banyak membantu penulis di dalam penulisan tesis ini serta memberikan masukan, nasihat, semangat dan bimbingan dalam menyelesaikan tesis ini.
3. Bp. Prof. Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng., IPU, ASEAN ENG dan Ibu Anggun Tri Atmajayanti, S.T., M. Eng., Ph.D. selaku dosen penguji yang sudah memberi masukan yang baik bagi penulis. Terimakasih untuk segala masukannya bagi penulis untuk menyusun penulisan tesis menjadi lebih baik lagi.

4. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Pascasarjana Magister Teknik Sipil Struktur yang namanya tidak bisa saya sebutkan satu per satu. Terima kasih karena telah membimbing dan membagi ilmu selama saya menuntut ilmu dalam perkuliahannya.
5. Papa Putu Putra Arnawa dan Mama Yovita Whenny Wijaya. Terima kasih atas dukungan dan doanya selama saya berkarir dan menempuh pendidikan, yang selalu memberikan motivasi sehingga saya dapat menyelesaikan pendidikan dengan tepat waktu.
6. Liem, Yohanes Yulius Krisnawan dan Teman-teman Magister Teknik Sipil struktur. Terima kasih atas kebersamaannya selama 3 semester yang telah dilalui bersama sebagai partner.
7. Seluruh pihak yang telah membantu dan ambil bagian dalam penulisan tesis ini, penulis ucapkan Terima kasih.

Penulis menyadari bahwa Tesis ini masih memiliki beberapa kekurangan. Oleh karena itu, saya mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk meningkatkan kualitas penulisan Tesis ini. Jika ada kata yang kurang berkenan, saya memohon maaf sebesar-besarnya. Semoga penulisan Tesis ini dapat bermanfaat bagi para mahasiswa dan pembaca yang berkepentingan.

Yogyakarta, 07 Mei 2025

Penulis,



Ni Kadek Maudy Regiandini Gracia Paramesti

DAFTAR ISI

COVER	i
PENGESAHAN TESIS	ii
PENGESAHAN TESIS	iii
PERNYATAAN.....	iv
INTISARI.....	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Beton	8
2.1.1 Definisi dan Komposisi Beton	8
2.1.2 Sifat Mekanis Beton	9
2.1.3 Faktor yang Mempengaruhi Kekuatan Beton	10
2.2 Retak Pada Beton	11
2.2.1 Jenis Retak pada Beton	11
2.2.2 Penyebab dan Dampak Retak pada Beton	15
2.3 Teknologi <i>Self healing</i> pada Beton	17
2.3.1 Pengertian <i>Self healing Concrete</i>	17
2.3.2 Mekanisme <i>Self healing</i> pada Beton	18
2.3.3 Keunggulan dan Kelemahan <i>Self healing Concrete</i>	19
2.4 Penggunaan <i>Bacillus Subtilis</i> dalam <i>Self healing Concrete</i>	20

2.4.1 Karakteristik <i>Bacillus Subtilis</i>	20
2.4.2 Proses Kerja <i>Bacillus Subtilis</i> dalam Self healing	22
2.4.3 Penelitian Terkait <i>Self healing Concrete</i> dengan <i>Bacillus Subtilis</i>	22
2.5 Faktor yang Mempengaruhi Efektivitas <i>Self healing Concrete</i>	23
2.5.1 Variasi Dosis Bakteri dan Efeknya terhadap Kekuatan Beton.....	23
2.5.2 Lingkungan dan Kondisi <i>Curing</i>	24
BAB III LANDASAN TEORI.....	26
3.1 Konsep Dasar Beton dan Retak pada Beton	26
3.1.1 Definisi dan Karakteristik Beton.....	26
3.1.2 Jenis-Jenis Retak pada Beton	28
3.1.3 Pengaruh Retak terhadap Kinerja Beton	29
3.2 Teknologi <i>Self healing Concrete</i>	30
3.2.1 Definisi Self healing Concrete	31
3.2.2 Prinsip <i>Self healing Concrete</i>	32
3.2.3 Jenis-Jenis Teknologi <i>Self healing Concrete</i>	33
3.3 Penggunaan <i>Bacillus Subtilis</i> dalam <i>Self healing Concrete</i>	34
3.3.1 Karakteristik <i>Bacillus Subtilis</i> dalam Beton	35
3.3.1.1 Proses Biomineralisasi dalam Rekayasa Material.....	35
3.3.1.2 Tahan terhadap Lingkungan Basa Beton	35
3.3.1.3 Kemampuan Produksi Enzim Urease dalam Menginduksi Presipitasi CaCO_3	36
3.3.2 Proses <i>Self healing</i> dengan <i>Bacillus Subtilis</i>	36
3.3.2.1 Konsep Dasar <i>Self healing Concrete</i>	36
3.3.2.2 Mekanisme <i>Self healing</i> dengan <i>Bacillus Subtilis</i>	37
3.3.3 Studi Eksperimental Efektivitas <i>Bacillus Subtilis</i> dalam Beton	38
3.3.3.1 Pengaruh Konsentrasi <i>Bacillus Subtilis</i> terhadap Kuat Tekan Beton	38
3.3.3.2 Studi tentang Dosis <i>Bacillus Subtilis</i> dan Implikasinya terhadap Kuat Tekan Beton	40
3.3.3.3 Studi Pengamatan Visual Self healing Beton dengan <i>Bacillus Subtilis</i>	42
3.4 Faktor yang Mempengaruhi Efektivitas <i>Self healing Concrete</i>	43
3.4.1 Pengaruh Konsentrasi Bakteri terhadap Kinerja Beton	44
3.4.1.1 Konsentrasi Optimal Bakteri dalam Beton	44

3.4.1.2 Peran Bahan Pembawa (<i>Encapsulation Methods</i>)	44
3.4.2 Pengaruh Lingkungan terhadap Mekanisme <i>Self healing</i>	45
3.4.2.1 Faktor Kelembaban dan Air	45
3.4.2.2 Pengaruh Temperatur terhadap Aktivitas Bakteri	46
3.4.2.3 Pengaruh Keberadaan Ion Kimia di Lingkungan Beton	46
3.4.3 Pengaruh pH Beton terhadap Aktivitas <i>Bacillus Subtilis</i>	46
3.4.3.1 Rentang pH Optimal untuk <i>Bacillus Subtilis</i>	47
3.4.3.2 Strategi untuk Menyesuaikan pH Beton	47
3.5 Metode Evaluasi dan Pengujian <i>Self healing Concrete</i>	47
3.5.1 Pengujian Visual	48
3.5.2 Pengujian Sifat Mekanis Beton	49
3.5.3 Pengujian Durabilitas dan Permeabilitas	50
3.6 Aplikasi dan Implementasi <i>Self healing Concrete</i> di Industri Konstruksi ..	51
3.6.1 Studi Kasus Penerapan di Infrastruktur	51
3.6.2 Tantangan dan Prospek Masa Depan <i>Self healing Concrete</i>	52
3.6.2.1 Tantangan dalam Implementasi	52
3.6.2.2 Prospek Masa Depan	53
3.7 Indikator Perbandingan Karakteristik Beton	54
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	60
4.1 Lokasi Penelitian	60
4.2 Obyek Penelitian	60
4.3 Metode Pengumpulan Data	61
4.3.1 Data Primer	62
4.3.2 Data Sekunder	63
4.4 Spesifikasi Campuran dan Penambahan Bakteri	64
4.5 Prosedur Penelitian	65
4.5.1 Persiapan Alat dan Bahan	65
4.5.2 Prosedur Pengujian Kuat Tekan	66
4.5.3 Pengamatan Visual terhadap Retak	67
4.6 Pengolahan Data	67
4.7 Diagram Alir Penelitian	67
4.8 Analisis Data	69

4.9 Penyusunan Sistem Rekomendasi.....	70
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	72
5.1 Hasil Uji Kuat Tekan	72
5.1.1 Analisis Kuat Tekan berdasarkan Dosis Bakteri.....	74
5.2 Hasil Pengamatan Visual	75
5.2.1 Dokumentasi Perkembangan Retak	75
5.2.2 Evaluasi Efektivitas Penyembuhan	84
5.3 Analisis Keterkaitan Kuat Tekan dan Visualisasi Berdasarkan Penelitian .	85
5.4 Pembahasan Hasil Penelitian	86
5.5 Analisis Keterkaitan Hasil.....	87
5.6 Studi Literatur Terhadap Penelitian Sebelumnya	89
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	90
6.1 Kesimpulan	90
6.2 Saran.....	92
DAFTAR PUSTAKA	94
LAMPIRAN.....	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Komponen Campuran Beton	9
Gambar 2. 2 Jenis-Jenis Retak Beton	15
Gambar 2. 3 Mekanisme Self healing pada Beton	19
Gambar 2. 4 Siklus sporulasi Bacillus Subtilis.....	21
Gambar 3. 1 Mekanisme self healing pada beton menggunakan bakteri	31
Gambar 3. 2 Perbandingan visual kemampuan penyembuhan retakan pada beton self-healing berbasis bakteri Bacillus subtilis antara hari ke-1 dan hari ke-7.....	48
Gambar 4. 1 Diagram Alir.....	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Jenis Retak Pada Beton	11
Tabel 3. 1 Perbandingan Visual Beton Normal dan Self healing Concrete	54
Tabel 5. 1 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari.....	72
Tabel 5. 2 Hasil Pengamatan Visual Retak Beton Dosis 0,01% (0,53 ml) terhadap cetakan silinder dari hari ke-0 sampai hari ke-6.	76
Tabel 5. 3 Hasil Pengamatan Visual Retak Beton Dosis 0,01% (0,53 ml) terhadap cetakan silinder dari hari ke-8 sampai hari ke-14.	76
Tabel 5. 4 Hasil Pengamatan Visual Retak Beton Dosis 0,01% (0,53 ml) terhadap cetakan silinder dari hari ke-16 sampai hari ke-22.	77
Tabel 5. 5 Hasil Pengamatan Visual Retak Beton Dosis 0,01% (0,53 ml) terhadap cetakan silinder dari hari ke-24 sampai hari ke-28.	77
Tabel 5. 6 Hasil Pengamatan Visual Retak Beton Dosis 0,10% (5,3 ml) terhadap cetakan silinder dari hari ke-0 sampai hari ke-6.	78
Tabel 5. 7 Hasil Pengamatan Visual Retak Beton Dosis 0,10% (5,3 ml) terhadap cetakan silinder dari hari ke-8 sampai hari ke 14.....	78
Tabel 5. 8 Hasil Pengamatan Visual Retak Beton Dosis 0,10% (5,3 ml) terhadap cetakan silinder dari hari ke-16 sampai hari ke-22.	79
Tabel 5. 9 Hasil Pengamatan Visual Retak Beton Dosis 0,10% (5,3 ml) terhadap cetakan silinder dari hari ke-24 sampai hari ke-28.	79
Tabel 5. 10 Hasil Pengamatan Visual Retak Beton Dosis 1% (53 ml) terhadap cetakan silinder dari hari ke-0 sampai hari ke-6.	80
Tabel 5. 11 Hasil Pengamatan Visual Retak Beton Dosis 1% (53 ml) terhadap cetakan silinder dari hari ke-8 sampai hari ke-14.	80
Tabel 5. 12 Hasil Pengamatan Visual Retak Beton Dosis 1% (53 ml) terhadap cetakan silinder dari hari ke-16 sampai hari ke-22.	81
Tabel 5. 13 Hasil Pengamatan Visual Retak Beton Dosis 1% (53 ml) terhadap cetakan silinder dari hari ke-24 sampai hari ke-28.	81
Tabel 5. 14 Efektivitas Self Healing Bakteri <i>Bacillus subtilis</i> terhadap retakan..	82
Tabel 5. 15 Efektivitas <i>Self Healing</i> Retak Rambut	90

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengujian Slump Beton	99
Lampiran 2 Bakteri Bacillus Subtilis diukur dengan gelas ukur dan di bagi menjadi 3 dosis, yakni 0,01%; 0,10%; dan 1 % terhadap cetakan silinder.....	99
Lampiran 3 Bakteri Bacillus subtilis dicampurkan ke dalam adukan beton yang sudah diukur sesuai volume satu cetakan silinder, dengan tiga variasi dosis yaitu 0,01%, 0,10%, dan 1%	100
Lampiran 4 Campuran Beton dan Bakteri Bacillus Subtilis dicampurkan secara merata.....	100
Lampiran 5 Proses Pembuatan Benda Uji Silinder Beton.....	101
Lampiran 6 Total 12 Benda Uji Silinder, dimana 3 silinder Beton Normal, 3 silinder 0,01%, 3 silinder 0,10%, 3 silinder 1 %.....	101
Lampiran 7 Curing beton Siliner Beton Normal dan Beton Self Healing Dosis 0,01%,0,10%dan 1% selama 28 hari.....	102
Lampiran 8 Setelah Curing beton Siliner Beton Normal dan Beton Self Healing Dosis 0,01%,0,10%dan 1% selama 28 hari.....	102
Lampiran 9 Pengujian Kuat Tekan Beton Menggunakan Mesin CTM (Compression Testing Machine).....	103
Lampiran 10 Pembacaan Pengujian Nilai Kuat Tekan dengan Mesin CTM (Compression Testing Machine)	103