

**KUALITAS PERKERASAN KAKU (*RIGID PAVEMENT*)
TANPA TULANGAN PADA PROSES PENGECORAN
JALAN LOKAL DI DAERAH TERGENANG**

DISERTASI

**Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Doktor**



**Utami Sylvia Lestari
NIM. 2341213320008**

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
2026**

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Disertasi : **Kualitas Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)
Tanpa Tulangan Pada Proses Pengecoran
Jalan Lokal di Daerah Tergenang**

Nama : Utami Sylvia Lestari

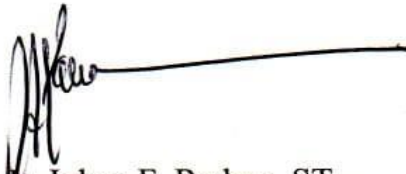
NIM : 2341213320008

Disetujui,

Komisi Pembimbing



Dr. Ir. Nursiah Chairunnisa, ST., M. Eng.
Ketua



Prof. Dr. Ir. Iphan F. Radam, ST.,
MT., IPU., AER
Anggota I



Dr. Ir. Muhammad Arsyad, ST., MT.
Anggota II

Diketahui

Direktur Pascasarjana ULM



Prof. Dr. Ir. Danang Biyatmoko, M.Si

Koordinator Prodi S3



Dr. Isnasyauqiah, S.T., M.T.

Tanggal Lulus:

Tanggal Wisuda:

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI DISERTASI

JUDUL DISERTASI:
**KUALITAS PERKERASAN KAKU (*RIGID PAVEMENT*) TANPA
TULANGAN PADA PROSES PENGECORAN JALAN LOKAL DI
DAERAH TERGENANG**

Nama : Utami Sylvia Lestari
NIM : 2341213320008
Program Studi : Program Doktor Ilmu Lingkungan

KOMISI PEMBIMBING :

Ketua : Dr. Ir. Nursiah Chairunnisa, ST., M. Eng.
Anggota : Prof. Dr. Ir. Iphan F. Radam, ST., MT., IPU., AER.
Anggota : Dr. Ir. Muhammad Arsyad, ST., MT.

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji 1 : Dr.-Ing. Ir. Puguh Budi Prakoso, ST., M.Sc.
Dosen Penguji 2 : Ir. Ade Yuniati Pratiwi, ST., M.Sc., Ph.D.
Dosen Penguji 3 : Dr. Ir. Isna Syauqiah, ST., MT.
Dosen Penguji Tamu : Prof. Ir. Ludfi Djakfar, MSCE, Ph.D., IPU.,
ASEAN Eng

Tanggal Ujian : 8 Januari 2026

SK Penguji :

PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Utami Sylvia Lestari
NIM : 2341213320008
Program studi : Doktor Ilmu Lingkungan
Fakultas : Program Pascasarjana
Perguruan Tinggi : Universitas Lambung Mangkurat
Judul Disertasi : **“Kualitas Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)
Tanpa Tulangan Pada Proses Pengecoran
Jalan Lokal di Daerah Tergenang”**

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dicantumkan sebagai kutipan/acuan dalam naskah dengan disebutkan sumber kutipan/ acuan dan dicantumkan dalam daftar Pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan Disertasi ini hasil jiplakan, plagiasi maupun manipulasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sehat dan tanpa paksaan dari siapapun.

Banjarbaru, 8 Januari 2026
Yang membuat



Utami Sylvia Lestari
NIM. 2341213320008

LEMBAR PERSEMBAHAN

Dengan kerendahan hati dan rasa syukur yang mendalam kepada Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, disertasi ini saya persembahkan kepada:

1. **Kedua orang tua tercinta**, yang dengan penuh cinta kasih, pengorbanan, dan doa senantiasa mendukung setiap langkah saya. Tanpa semangat, nasihat, dan keberanian yang kalian tanamkan, perjalanan ini tidak akan pernah tercapai.
2. **Suami dan kedua anak saya**, yang menjadi tempat saya bersandar, memberikan kekuatan di saat lelah, dan menjadi pengingat akan tujuan utama dalam hidup. Dukungan kalian adalah energi tak tergantikan dalam setiap proses penyusunan karya ini.
3. **Para pendidik, dosen, dan pembimbing akademik**, yang dengan sabar dan penuh dedikasi membimbing, mengarahkan, serta memotivasi saya untuk menghasilkan karya terbaik. Terima kasih atas waktu, tenaga, dan ilmu yang telah diberikan.
4. **Sahabat dan rekan seperjuangan**, yang selalu hadir di saat suka dan duka, berbagi semangat dan doa. Kalian adalah bagian penting dari perjalanan ini, dan saya sangat menghargai setiap dukungan yang kalian berikan.

Disertasi ini bukan sekadar karya akademik, tetapi juga memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan pemahaman mengenai perilaku beton perkerasan kaku pada kondisi lingkungan tergenang dengan karakteristik fisik dan kimia yang bervariasi. Temuan penelitian ini memperkaya kajian tentang degradasi sifat mekanik dan durabilitas beton akibat kombinasi tinggi genangan dan pH air, serta menegaskan peran dominan faktor genangan terhadap penurunan kinerja struktural dan faktor pH terhadap percepatan proses karbonasi. Secara praktis, hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar teknis dalam perencanaan, pelaksanaan, dan evaluasi mutu perkerasan kaku di wilayah rawan genangan, khususnya pada jalan lokal dan kawasan dengan potensi paparan air asam, guna meningkatkan ketahanan dan umur layanan perkerasan beton.

RIWAYAT HIDUP PENULIS

Utami Sylvia Lestari, lahir di Amuntai pada 9 Desember 1981, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara, anak dari Bapak H. Ir. Midhan Lifya Atmaja dan Ibu Hj. Rahmatul Jannah, S. Sos, bersekolah di SDN Banjarbaru Utara 3 lulus tahun 1996 kemudian lanjut ke SMPN 2 Banjarbaru lulus tahun 1997 dan meneruskan ke SMAN 1 Banjarbaru lulus tahun 2000. Selanjutnya, meneruskan pendidikan Sarjana di Program Studi Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat dan lulus pada tahun 2004, kemudian melanjutkan pendidikan Magister Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat dan lulus pada tahun 2007 serta menempuh Pendidikan Profesi Insinyur dan lulus tahun 2024. Pengalaman kerja sejak tahun 2004 – 2014 sebagai dosen di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Achmad Yani Banjarmasin serta 2013-2014 sebagai tenaga kontrak di Dinas Perumahan dan Permukiman Kabupaten Banjar. Selanjutnya, sejak tahun 2014 – sekarang sebagai dosen PNS di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.

Banjarbaru, 8 Januari 2026



Utami Sylvia Lestari

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Nursiah Chairunnisa, ST., M. Eng, selaku promotor, Bapak Prof. Dr. Ir. Iphan F. Radam, ST., MT., IPU., AER selaku co-promotor I dan Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad, ST., MT., selaku co-promotor II yang telah membimbing sampai penulis bisa menyelesaikan disertasi ini
2. Bapak Prof. Ir. Ludfi Djakar, MSCE, Ph.D., IPU., ASEAN Eng selaku penguji Eksternal, Bapak Dr.-Ing. Ir. Puguh Budi Prakoso, ST., M.Sc selaku penguji I, Ibu Ir. Ade Yuniati Pratiwi, ST., M.Sc., Ph.D. selaku penguji II dan Ibu Doktor Isna Syauqiah, S.T.,M.T, Selaku Penguji III.
3. Koordinator dan Sekretaris serta seluruh staff Program studi Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Lambung Mangkurat.
4. Direktur Program Pascasarjana Universitas Lambung Mangkurat dan seluruh staf Program Pascasarjana Universitas Lambung Mangkurat
5. Bapak Rektor Universitas Lambung Mangkurat, Bapak Dekan Fakultas Teknik dan Bapak Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat.
6. Pimpinan dan karyawan PT. Beton Perkasa Abadi yang telah membantu penyediaan material untuk penelitian ini.
7. Ketua, teknisi dan instruktur Laboratorium Struktur dan Material serta Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya yang telah membantu pelaksanaan pengujian.
8. Mahasiswa Program Studi S-1 Teknik Sipil FT ULM yang telah banyak membantu dalam penelitian ini baik persiapan, pengecoran, perawatan benda uji, pengujian serta analisis data.
9. Rekan-rekan sejawat dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat.
10. Rekan-rekan angkatan 2023 seperjuangan yang telah memberi semangat dan dorongan motivasi agar disertasi ini segera diselesaikan

11. Sujud dan terima kasih yang dalam penulis persembahkan kepada kedua orang tua tercinta, serta seluruh keluarga atas doa-doa serta dukungan yang telah diberikan.
12. Ucapan terima kasih secara khusus penulis sampaikan kepada suami tercinta dan kedua anakku, yang senantiasa memberikan kasih sayang, doa, dukungan, pengorbanan, dan motivasi selama proses penyusunan hingga penyelesaian disertasi ini.

Banjarbaru, 8 Januari 2026



Utami Sylvia Lestari

RINGKASAN

Utami Sylvia Lestari. 2341213320008. 2025. Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan, Universitas Lambung Mangkurat. Kualitas Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) Tanpa Tulangan Pada Proses Pengecoran Jalan Lokal Di Daerah Tergenang. Dr. Ir. Nursiah Chairunnisa, ST., M. Eng.; Prof. Dr. Ir. Iphan F. Radam, ST., MT.; Dr. Ir. Muhammad Arsyad, ST., MT.

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh gabungan tinggi dan pH air terhadap sifat fisik, mekanik, dan mikrostruktur beton perkerasan kaku. Beton ready-mix dengan kuat tekan rencana 25 MPa digunakan sebagai material uji. Variasi ketinggian genangan ditetapkan pada rentang 0,5 sampai 5 cm, sedangkan variasi pH air ditetapkan pada rentang pH2 sampai pH7. Benda uji menjalani curing selama 28 hari sebelum pengujian.

Metode penelitian yang mencakup uji laboratorium terkait uji mekanik dan uji kimia. Pengecoran dilakukan dengan melakukan variasi terhadap tinggi dan pH genangan serta *curing*/perawatan yang dilakukan. Metode penelitian yang digunakan mencakup uji laboratorium terhadap kuat tekan, kuat lentur, absorpsi, porositas, *sorptivity*, SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan penetrasi asam (karbonasi). Beton diuji untuk mengetahui pengaruh genangan air terhadap kualitasnya, serta dilakukan pengamatan visual untuk mendeteksi perubahan struktural pada beton selama proses pengecoran.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas perkerasan kaku tanpa tulangan pada daerah tergenang dipengaruhi oleh metode pengujian serta kondisi tinggi dan pH genangan. Uji core drill di lapangan menghasilkan kuat tekan lebih rendah daripada uji silinder di laboratorium, dengan penurunan rata-rata 13,83% pada kondisi kontrol dan 6,10% pada variasi tinggi dan pH genangan. Persamaan matematis menggunakan analisis regresi linier menegaskan pengaruh signifikan tinggi genangan (X_1) dan pH genangan (X_2) terhadap kuat tekan ($Y = 19,865 - 1,498 X_1 + 0,414 X_2$; adjusted $R^2 = 0,944$) dan kuat lentur ($Y = 5,396 - 0,487 X_1 + 0,235 X_2$; adjusted $R^2 = 0,956$), di mana tinggi genangan bersifat paling dominan dengan penurunan rata-rata sekitar 35% untuk kuat tekan dan 38% untuk kuat lentur, sedangkan perubahan pH menurunkan sekitar 12% untuk kuat tekan dan 19% untuk kuat lentur. Peningkatan tinggi genangan dan penurunan pH meningkatkan absorpsi, porositas, serta *sorptivity* sehingga mempengaruhi penurunan kuat tekan dan kuat lentur beton. Pada aspek durabilitas, persentase karbonasi meningkat seiring kenaikan tinggi genangan dan penurunan pH. Pengaruh pH lebih dominan, karena perubahan dari pH7 ke pH 2 meningkatkan karbonasi sebesar 35,77% pada kondisi tidak terendam dan 43,33% pada kondisi terendam, sedangkan variasi tinggi genangan hanya meningkatkan karbonasi sekitar 26,49% (tidak terendam) dan 30,23% (terendam).

Kata Kunci: Perkerasan Kaku; Tinggi Genangan; pH air; Kuat Tekan; Kuat Lentur.

SUMMARY

Utami Sylvia Lestari. 2341213320008. 2025. Doctoral Program in Environmental Science, Lambung Mangkurat University. The Quality of Rigid Pavement Without Reinforcement in the Local Road Casting Process in Flooded Areas. Dr. Ir. Nursiah Chairunnisa, ST., M. Eng.; Prof. Dr. Ir. Iphan F. Radam, ST., MT.; Dr. Ir. Muhammad Arsyad, ST., MT.

This research aims to investigate the combined effects of waterlogging height and water pH on the physical, mechanical, and microstructural properties of rigid pavement concrete. Ready-mix concrete with a target compressive strength of 25 MPa was used as the test material. Waterlogging heights were varied from 0.5 to 5 cm, while water pH levels ranged from pH 2 to pH 7. The test specimens were subjected to a curing period of 28 days prior to testing.

The research methodology involved laboratory testing encompassing both mechanical and chemical evaluations. Concrete casting was carried out by applying variations in waterlogging height and pH, along with controlled curing treatments. Laboratory tests included compressive strength, flexural strength, water absorption, porosity, sorptivity, Scanning Electron Microscope (SEM) analysis, and acid penetration (carbonation) testing. The concrete was tested to assess the effects of waterlogging on its quality, and visual observations were conducted to detect structural changes occurring during the casting process.

The results indicate that the quality of unreinforced rigid pavement concrete in waterlogged areas is significantly influenced by the testing method as well as by waterlogging height and pH conditions. Field core drill tests produced lower compressive strength values than laboratory cylinder tests, with average reductions of 13.83% under control conditions and 6.10% under varying waterlogging height and pH conditions. Linear regression analysis confirmed the significant influence of waterlogging height (X_1) and water pH (X_2) on compressive strength ($Y = 19.865 - 1.498X_1 + 0.414X_2$; adjusted $R^2 = 0.944$) and flexural strength ($Y = 5.396 - 0.487X_1 + 0.235X_2$; adjusted $R^2 = 0.956$). Waterlogging height was identified as the dominant factor, causing average reductions of approximately 35% in compressive strength and 38% in flexural strength, whereas changes in pH resulted in smaller but still significant reductions of about 12% and 19%, respectively. Increased water level and decreased pH increase absorption, porosity, and sorptivity, thereby affecting the decrease in compressive strength and flexural strength of concrete. In terms of durability, the percentage of carbonation increases with increasing water level and decreasing pH. The effect of pH is more dominant, because a change from pH 7 to pH 2 increases carbonation by 35.77% in non-submerged conditions and 43.33% in submerged conditions, while variations in water level only increase carbonation by around 26.49% (non-submerged) and 30.23% (submerged).

Keywords: Rigid Pavement; High waterlogging; Water pH; Compressive strength; Flexural strength.

Known by,
Dissertation Supervisor,



Dr. Ir. Nursiah Chairunnisa, ST., M. Eng.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena dengan perkenan serta rahmat-Nya disertasi mengenai “**Kualitas Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) Tanpa Tulangan Pada Proses Pengecoran Jalan Lokal di Daerah Tergenang**” ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada tulisan ini dikemukakan disertasi tentang pengembangan pemahaman mengenai perilaku beton perkerasan kaku pada kondisi lingkungan tergenang dengan karakteristik fisik dan kimia yang bervariasi. Temuan penelitian ini memperkaya kajian tentang degradasi sifat mekanik dan durabilitas beton akibat kombinasi tinggi genangan dan pH air, serta menegaskan peran dominan faktor genangan terhadap penurunan kinerja struktural dan faktor pH terhadap percepatan proses karbonasi.

Saran dan masukan demi kesempurnaan disertasi ini sangat diperlukan oleh penulis. Semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat yang sebesar-sebesarnya bagi semua pihak. Aamiin.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI DISERTASI	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI.....	iii
LEMBAR PERSEMBAHAN	iv
RIWAYAT HIDUP PENULIS	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxiii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	7
1.3 Tujuan Penelitian.....	8
1.4 Batasan Masalah.....	9
1.5 Manfaat Penelitian.....	9
II. TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1 Perkerasan Jalan Raya.....	11
2.1.1 Jenis Konstruksi Perkerasan Jalan.....	11
2.1.2 Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)	12
2.2 Campuran Beton Untuk Perkerasan kaku	16
2.2.1 Semen Portland	17
2.2.2 Agregat	20
2.2.3 Air.....	23
2.2.4 Retarder	25
2.3 Dampak Genangan Air pada Beton Perkerasan Kaku	28
2.4 Daya Tahan Beton.....	29

2.4.1	Ketahanan Beton Terhadap Asam.....	31
2.4.2	Karbonasi	33
2.5	Analisis Citra sebagai Metode Kuantifikasi Karbonasi	35
2.6	Perawatan atau Curing Benda Uji	39
2.7	Core Drill.....	40
2.8	Pengujian.....	43
2.8.1	Kuat Tekan Untuk Benda Uji Silinder	43
2.8.2	Kuat Tekan Untuk Benda Uji Core Drill	45
2.8.3	Kuat Lentur Untuk Benda Uji Balok.....	46
2.8.4	Pengujian SEM (Scanning Electron Microscope).....	50
2.9	Analisis Korelasi	51
2.10	Regresi Linier.....	52
2.11	Kemutakhiran Pustaka.....	54
III.	KERANGKA KONSEP PEMIKIRAN	57
3.1	Landasan Teori.....	57
3.1.1	Penelitian “ <i>The Effect of pH Water on the Concrete Mixtures and Curing Condition on the Compressive Strength of Concrete</i> ” (Wicaksono & Nurwidayati, 2022).....	57
3.1.2	Penelitian “ <i>Effect of pH Variations in Water Immersion on Concrete Compressive and Tensile Strength</i> ” (Sunujaya et al., 2025).....	58
3.1.3	Penelitian “ <i>The Investigation into the Effect of Hydrostatic Pressure on the Engineering Properties of Hardened Concrete</i> ” (Uzunoglu et al., 2018).....	59
3.1.4	Penelitian “ <i>Experimental Study on Static Mechanical Properties and Moisture Contents of Concrete Under Water Environment</i> ” (Zhang et al., 2019).....	60
3.1.5	Penelitian “ <i>The Combined Effect of Using Recycled Coarse Aggregate and Well Water on Normal Concrete</i> ” (Zidan et al., 2019)	60
3.1.6	Penelitian “ <i>The Performance of Early-Age Concrete with Seawater Curing</i> ” (Susilorini et al., 2005).....	61
3.1.7	Penelitian “ <i>Concrete Durability Performance Against Seawater As Curing And Mixing Water</i> ” (Mirani et al., 2023).....	61

3.1.8	Penelitian “ <i>Possibility of Usage of Seawater for Mixing and Curing of Concrete in Salty Water Localities</i> ” (Ogunjiofor, 2020)	62
3.1.9	Penelitian “ <i>Effect of Acidic Curing Environment on the Strength and Durability of Concrete</i> ” (Taku et al., 2015)	62
3.1.10	Penelitian “ <i>Probabilistic Models Applied to Concrete Corrosion Depth Prediction Under Sulfuric Acid Environment</i> ” (Jie Xiao et al., 2024).....	63
3.1.11	Penelitian “ <i>Acid Attack on Geopolymer Cement Mortar Based on Waste-Glass Powder and Calcium Aluminate Cement at Mild Concentration</i> ” (Vafaei et al., 2018).....	63
3.2	Kerangka Pemikiran	64
3.3	Hipotesis Penelitian	65
3.4	Kerangka Operasional Pelaksanaan Penelitian	65
3.5	Kerangka Analisis Penelitian	67
3.6	Definisi Operasional Variabel dan Pengukuran Variabel	69
3.7	Kebaruan (Novelty) Penelitian.....	70
IV.	METODOLOGI PENELITIAN.....	72
4.1	Tempat dan Waktu Penelitian	73
4.2	Metode Penelitian.....	73
4.3	Pengumpulan Data	73
4.3.1	Persiapan Material.....	73
4.3.2	Desain Bekisting	76
4.3.3	Pembuatan Genangan Air dengan Variasi Tinggi dan pH Genangan.....	78
4.3.4	Desain Campuran Beton.....	80
4.3.5	Pembuatan Benda Uji.....	82
4.3.6	Pengujian Benda Uji.....	92
4.4	Analisis Penetrasi Asam (Karbonasi).....	104
V.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	110
5.1	Analisis Benda Uji	110
5.1.1	Pengujian Material	110
5.1.2	Pengujian Benda Uji Campuran Beton	118
5.1.3	Hasil Pembahasan Benda Uji Beton untuk Perkerasan Kaku	145

5.2	Analisis Penetrasi Asam (Karbonasi) Terhadap Beton Perkerasan Kaku	147
5.2.1	Perubahan Benda Uji (Secara Visual) Akibat Genangan.....	147
5.2.2	Pengujian Penetrasi Asam.....	149
5.2.3	Hasil Analisis Penetrasi Asam (Karbonasi)	150
5.3	Pembahasan Hasil	157
5.3.1	Perbandingan Kuat Tekan Silinder Curing Rendam, Silinder Curing Siram dan Core Drill Curing Siram Umur 28 Hari	158
5.3.2	Permodelan Matematis Pengaruh Tinggi dan pH Genangan Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Umur 28 Hari Serta Faktor Dominan yang Mempengaruhi	161
5.3.3	Perbandingan Sifat Fisik (Absorpsi dan Porositas) dengan Sifat Mekanik Benda Uji (Kuat Tekan dan Kuat Lentur).....	175
5.3.4	Pengaruh Tinggi dan pH Genangan terhadap Karbonasi Umur 28 Hari	180
VI.	IMPLIKASI HASIL PENELITIAN	185
6.1	Implikasi Teoritis	185
6.2	Implikasi Praktis.....	187
VI.	PENUTUP.....	191
7.1	Kesimpulan.....	191
7.1	Saran.....	193
	DAFTAR PUSTAKA	194
	LAMPIRAN	204

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kriteria Perancangan (Ditjen Bina Marga Kementerian PUPR, 2023).....	15
Tabel 2.2	Kuat Lentur Minimum untuk Perkerasan Beton Semen (Ditjen Bina Marga Kementerian PU, 2025).....	16
Tabel 2.3	Klasifikasi Semen Portland	19
Tabel 2.4	Batas Gradasi Agregat Kasar (SNI 03-2834-2000).....	22
Tabel 2.5	Gradasi Agregat Halus (SNI 03-2847-2002).....	23
Tabel 2.6	Faktor Pengali C0 (SNI 03-2492-2002)	42
Tabel 2.7	Faktor Pengali C1 (SNI 03-2492-2002)	43
Tabel 2.8	Faktor Koreksi Rasio Panjang (L) dengan Diameter (D) Benda Uji (BSN, 2011).....	45
Tabel 2.9	Faktor Interpretasi dari Pseudo-R ² berdasarkan Koefisien Korelasi (F. Radam et al., 2015)	52
Tabel 2.10	Kemuktahiran Pustaka (<i>Critical Review</i>)	55
Tabel 3.1	Proses, Variabel Bebas Dan Variabel Terikat Penelitian	70
Tabel 4.1	Komposisi Campuran Beton <i>Ready Mix</i> untuk 1 m ³	81
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Slump	82
Tabel 4.3	Rekapitulasi Jumlah Benda Uji Silinder dengan Variasi pH dan Tinggi Genangan untuk Uji Kuat Tekan	87
Tabel 4.4	Rekapitulasi Jumlah Benda Uji <i>Core Drill</i> dengan Variasi pH dan Tinggi Genangan untuk Uji Kuat Tekan	88
Tabel 4.5	Rekapitulasi Jumlah Benda Uji Balok dengan Variasi pH dan Tinggi Genangan untuk Uji Kuat Lentur	89
Tabel 4.6	Nomenklatur Benda Uji Silinder Tanpa Variasi pH dan Tinggi Genangan (Benda Uji Kontrol)	90

Tabel 4.7	Nomenklatur Benda Uji Silinder dengan Variasi pH dan Tinggi Genangan.....	90
Tabel 4.8	Nomenklatur Benda Uji <i>Core Drill</i> Tanpa Variasi pH dan Tinggi Genangan (Benda Uji Kontrol)	91
Tabel 4.9	Nomenklatur Benda Uji <i>Core Drill</i> dengan Variasi pH dan Tinggi Genangan.....	91
Tabel 4.10	Nomenklatur Benda Balok dengan Variasi pH dan Tinggi Genangan	91
Tabel 4.11	Nomenklatur Benda Balok dengan Variasi pH dan Tinggi Genangan	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Struktur <i>Rigid Pavement</i> (MDPJ, 2017).....	13
Gambar 2.2	Proses kerusakan pada beton (Chen et al., 2021)	30
Gambar 2.3	Visual Spesimen Mortar Setelah Direndam Selama 24 Bulan dalam Larutan Hcl Dan H ₂ SO ₄ dengan Tingkat Keasaman pH= 3 (Vafaei et al., 2018)	32
Gambar 2.4	Penampilan Fisik Beton Akibat Karbonasi; (A) Rendam PDAM, (b) PDAM <i>Wet Dry</i> , (c) Air Rawa <i>Wet Dry</i> (Ezardika, 2021; Inayah, 2021).....	35
Gambar 2.5	<i>Setting</i> Pengujian Kuat Tekan	46
Gambar 2.6	Sistem Pembebanan Uji Kuat Lentur	47
Gambar 2.7	Patah pada 1/3 Bentang Tengah (SNI 4431, 2011)	48
Gambar 2.8	Patah Diluar 1/3 Bentang Tengah dan Garis Patah pada < 5% Dari Bentang (SNI 4431, 2011).....	49
Gambar 2. 9	Patah Diluar 1/3 Bentang Tengah dan Garis Patah pada < 5% dari Bentang (SNI 4431, 2011).....	50
Gambar 3.1	Kerangka Pemikiran	65
Gambar 3.2	Kerangka Operasional Pelaksanaan Penelitian	66
Gambar 3.3	Kerangka Analisis Penelitian	69
Gambar 4.1	Agregat Kasar (Batu Katunun).....	74
Gambar 4.2	Agregat Halus (Pasir Barito)	75
Gambar 4.3	Semen (PCC Merk Tonasa).....	75
Gambar 4.4	Retarder Merk Grolen DP	76
Gambar 4.5	Desain Bekisting untuk Benda Uji <i>Core Drill</i>	76
Gambar 4.6	Desain Bekisting untuk Benda Uji Balok.....	77
Gambar 4.7	Desain Bekisting untuk Benda Uji Silinder.....	77

Gambar 4.8	Kolam Perlakuan Genangan Air pada Bekisting Benda Uji Silinder, Balok dan <i>Core Drill</i>	78
Gambar 4.9	Proses Pengecoran Perkerasan Kaku di Lahan Tergenang.....	78
Gambar 4.10	Kolam Perlakuan	80
Gambar 4.11	Alat Pengukur Tinggi dan pH Genangan (a) Penggaris (b) pH Meter	80
Gambar 4.12	Proses Pembuatan Beton <i>Ready Mix</i> pada <i>Batching Plant</i>	81
Gambar 4.13	Pengujian <i>Slump</i> Beton <i>Ready Mix</i>	82
Gambar 4.14	Proses Penuangan Beton <i>Ready Mix</i> dari Mobil Molen.....	83
Gambar 4.15	Proses Pengecoran Benda Uji.....	83
Gambar 4.16	Proses Pematatan Beton dengan <i>Vibrator</i>	84
Gambar 4.17	Benda Uji Setelah Pengecoran	84
Gambar 4.18	Perlakuan <i>Curing</i> Siram Terhadap Benda Uji.....	85
Gambar 4.19	Benda Uji Kontrol (G0).....	86
Gambar 4.20	Benda Uji Perlakuan Tergenang dengan Variasi Tinggi dan pH Genangan.....	86
Gambar 4.21	Pengujian Kadar Air Agregat Kasar.....	93
Gambar 4.22	Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar	93
Gambar 4.23	Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar	94
Gambar 4.24	Pengujian Berat Volume Agregat Kasar	94
Gambar 4.25	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar.....	94
Gambar 4.26	Pengujian <i>Specific Gravity</i> Agregat Kasar	95
Gambar 4.27	Pengujian Keausan Agregat Kasar dengan Mesin Abrasi <i>Los Angeles</i>	95
Gambar 4.28	Pengujian Kadar Air Agregat Halus.....	95
Gambar 4.29	Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	96

Gambar 4.30	Pengujian kadar Organik Agregat Halus	96
Gambar 4.31	Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus	96
Gambar 4.32	Pengujian Berat Volume Agregat Halus	97
Gambar 4.33	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.....	97
Gambar 4.34	Pengujian Berat Jenis Semen.....	98
Gambar 4.35	Pengujian Konsistensi Normal Semen	98
Gambar 4.36	Pengujian Waktu Pengikatan Semen.....	98
Gambar 4.37	Pengujian Kuat Tekan Mortar dengan Variasi <i>Retarder</i> (a) Saat Pengujian (b) Kondisi Benda Uji Setelah Pengujian.....	99
Gambar 4.38	Pengujian Kuat Tekan Silinder.....	99
Gambar 4.39	Pengujian Kuat Tekan <i>Core Drill</i>	100
Gambar 4.40	Pengujian Kuat Lentur Balok	100
Gambar 4.41	Proses Penyemprotan Fenolftalein pada Benda Uji yang telah Dipotong	102
Gambar 4.42	Kamera Mikroskop Pembesaran 500x.....	103
Gambar 4.43	Proses Pengambilan Gambar dengan Kamera Mikroskop	103
Gambar 4.44	Benda Uji Kontrol G0 (a) Sebelum <i>Thresholding</i> (b) Setelah <i>Thresholding</i> Pada Angka 170	106
Gambar 4.45	Benda Uji Kontrol G0 Setelah <i>Thresholding</i> Pada Berbagai Variasi Angka <i>Thresholding</i>	107
Gambar 4.46	Diagram Alir Analisis Karbonasi	109
Gambar 5.1	Analisa Saringan Agregat Kasar	111
Gambar 5.2	Analisa Saringan Agregat Halus	113
Gambar 5.3	Hubungan Variasi Kadar <i>Retarder</i> Terhadap <i>Setting Time</i>	115
Gambar 5.4	Hubungan Hasil Uji Tekan Mortar dan Final <i>Setting Time</i> pada Kadar <i>Retarder</i> 0%; 0,2%; 0,3%; 0,4% dan 0,45%	117

Gambar 5.5	Kuat Tekan Silinder <i>Curing</i> Rendam Umur 7, 14 dan 28 Hari...	119
Gambar 5.6	Hubungan Kuat Tekan dengan Variasi pH dari Ketinggian Genangan.....	120
Gambar 5.7	Hubungan Kuat Tekan Silinder dan Tinggi Genangan pada Berbagai pH	123
Gambar 5.8	Kuat Tekan <i>Core Drill</i>	124
Gambar 5.9	Hubungan Kuat Lentur Balok dan Tinggi Genangan pada Berbagai pH.....	128
Gambar 5.10	Hasil Pengujian Porositas dan Absorpsi.....	130
Gambar 5.11	Penyerapan Air Kumulatif vs Waktu ^{1/2}	134
Gambar 5.12	<i>Initial absorption</i> pH2-G0,5.....	135
Gambar 5.13	<i>Secondary absorption</i> pH2-G0,5.....	135
Gambar 5.14	<i>Initial absorption</i> pH2-G5.....	135
Gambar 5.15	<i>Secondary absorption</i> pH2-G5.....	135
Gambar 5.16	<i>Initial absorption</i> pH5-G0,5.....	135
Gambar 5.17	<i>Secondary absorption</i> pH5-G0,5.....	135
Gambar 5.18	<i>Initial absorption</i> pH5-G5.....	136
Gambar 5.19	<i>Secondary absorption</i> pH5-G5.....	136
Gambar 5.20	<i>Initial absorption</i> pH7-G0,5.....	136
Gambar 5.21	<i>Secondary absorption</i> pH7-G0,5.....	136
Gambar 5.22	<i>Initial absorption</i> pH7-G5.....	136
Gambar 5.23	<i>Secondary absorption</i> pH7-G5.....	136
Gambar 5.24	<i>Initial absorption</i> G0.....	137
Gambar 5.25	<i>Secondary absorption</i> G0.....	137
Gambar 5.26	<i>Sorptivity</i> vs Waktu	139

Gambar 5.27	SEM untuk Benda Uji G0 dengan Perbesaran (a) 500x (b) 2000x	140
Gambar 5.28	SEM untuk Benda Uji pH7-G5 dengan Perbesaran (a) 500x (b) 2000x	140
Gambar 5.29	SEM untuk Benda Uji pH2-G5 dengan Perbesaran (a) 500x (b) 2000x	140
Gambar 5.30	Hasil Uji EDX untuk Spesimen tanpa Genangan Air (G0).....	142
Gambar 5.31	Hasil Uji EDX untuk Sampel Dalam Kondisi Genangan Air Dengan pH 7 Tinggi Genangan 5 cm (pH7-G5).....	142
Gambar 5.32	Hasil Uji EDX untuk Sampel Dalam Kondisi Genangan Air dengan pH2 Tinggi Genangan 5 cm (pH2-G5).....	143
Gambar 5.33	Perubahan Visual Benda Uji Silinder Tanpa Genangan Air (G0)	148
Gambar 5.34	Perubahan Visual Benda Uji Silinder Akibat Genangan Berbagai pH Air.....	148
Gambar 5.35	Hasil Pengujian Karbonasi pada Benda Uji Terendam (Bagian Bawah Silinder)	149
Gambar 5.36	Hasil Pengujian Karbonasi pada Benda Uji Tidak Terendam (Bagian Atas Silinder).....	149
Gambar 5.37	Visualisasi Hasil Pengujian Karbonasi pada Benda Uji Terendam (Bagian Bawah Silinder)	150
Gambar 5.38	Visualisasi Hasil Pengujian Karbonasi pada Benda Uji yang Tidak Terendam (Bagian Atas Silinder).....	151
Gambar 5.39	Persentase Karbonasi Benda Uji Terendam (Bagian Bawah Silinder)	154
Gambar 5.40	Persentase Karbonasi Benda Uji Tidak Terendam (Bagian Atas Silinder)	154
Gambar 5.41	Grafik Linear dan Korelasi Karbonasi Akibat Penetrasi Asam dan Tinggi Genangan pada Benda Uji Terendam	156

Gambar 5.42	Grafik Linear dan Korelasi Karbonasi Akibat Penetrasi Asam dan Tinggi Genangan pada Benda Uji Tidak Terendam.....	156
Gambar 5.43	Hasil Kuat Tekan Silinder Umur 28 Hari.....	159
Gambar 5.44	Hasil Uji Kuat Tekan Silinder dan <i>Core Drill Curing</i> Siram.....	160
Gambar 5.45	Penurunan Kuat Tekan Akibat Tinggi Genangan	166
Gambar 5.46	Penurunan Kuat Tekan Akibat pH Genangan	166
Gambar 5.44	Penurunan Kuat Lentur Akibat Tinggi Genangan.....	173
Gambar 5.45	Penurunan Kuat Lentur Akibat pH Genangan.....	173
Gambar 5.49	Hubungan Hasil Uji Absorpsi, Porositas dan Kuat Tekan	176
Gambar 5.50	Hubungan antara Kuat Tekan dengan <i>Sorptivity</i>	178
Gambar 5.51	Pengaruh Tinggi Genangan terhadap Karbonasi pada Benda Uji yang Terendam	181
Gambar 5.52	Pengaruh Tinggi terhadap Karbonasi pada Benda Uji yang Tidak Terendam.....	181
Gambar 5.53	Pengaruh pH Genangan terhadap Karbonasi pada Benda Uji yang Terendam.....	183
Gambar 5.54	Pengaruh pH Genangan terhadap Karbonasi pada Benda Uji yang Tidak Terendam.....	183
Gambar 6.1	Rekomendasi Teknis Berdasarkan Kuat Tekan.....	187
Gambar 6.2	Rekomendasi Teknis Berdasarkan Kuat Lentur	189

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I.	PERENCANAAN <i>MIX DESIGN</i>	205
LAMPIRAN II.	DATA	213
Lampiran 2.1	Hasil Uji Kuat Tekan Silinder	213
Lampiran 2.2	Hasil Uji Kuat Tekan <i>Core Drill</i>	216
Lampiran 2.3	Hasil Uji Kuat Tekan Balok	217
LAMPIRAN III.	GRAFIK	219
Lampiran 3.4	Grafik Hubungan Kuat Tekan Silinder dan Ketinggian Genangan	219
Lampiran 3.2	Grafik Hubungan Kuat Tekan <i>Core Drill</i> dan Ketinggian Genangan	222
Lampiran 3.3	Grafik Hubungan Kuat Lentur Silinder <i>Curing</i> Siram dan Ketinggian Genangan	224
LAMPIRAN IV.	TAHAPAN ANALISIS KARBONASI	227
Tahapan I	: Persiapan Gambar Hasil Pengujian Karbonasi	227
Tahapan II	: Mengubah Gambar Hasil Pengujian Karbonasi Menjadi Citra Biner Menggunakan Adobe Photoshop	228
Tahapan III	: Mencari Persentase Karbonasi Menggunakan Program Python	233
Tahapan IV	: Mengubah Hasil CSV Program Python Menjadi Excel	235
LAMPIRAN V.	HASIL ANALISIS REGRESI LINEAR KUAT TEKAN SILINDER DENGAN SPSS	237
Lampiran 5.1	Persamaan Regresi Linier Kuat Tekan	237
Lampiran 5.2	Uji Normalitas	238
Lampiran 5.3	Uji Autokorelasi	239
Lampiran 5.4	Uji Multikolinearitas	240
Lampiran 5.5	Uji Heteroskedastisitas	241
Lampiran 5.6	Uji Keterandalan Model (Uji F)	242
Lampiran 5.7	Uji Koefisien Regresi (Uji t)	243
Lampiran 5.8	Uji Koefisien Determinasi (Uji R^2)	244

LAMPIRAN VI.	HASIL ANALISIS REGRESI LINEAR KUAT LENTUR SILINDER DENGAN SPSS	245
Lampiran 6.1	Persamaan Regresi Linier Kuat Lentur	245
Lampiran 6.2	Uji Normalitas	246
Lampiran 6.3	Uji Autokorelasi	247
Lampiran 6.4	Uji Multikolinearitas	248
Lampiran 6.5	Uji Heteroskedastisitas	249
Lampiran 6.6	Uji Keterandalan Model (Uji F)	250
Lampiran 6.7	Uji Koefisien Regresi (Uji t)	251
Lampiran 6.8	Uji Koefisien Determinasi (Uji R^2).....	252
LAMPIRAN VII.	DOKUMENTASI.....	253
Lampiran 7.1	Lokasi Pembuatan Campuran Beton <i>Ready Mix</i>	253
Lampiran 7.2	Foto Pengukuran pH dan Ketinggian Genangan.....	254
Lampiran 7.3	Foto Keseluruhan Benda Uji	255
Lampiran 7.4	Foto Benda Uji Kontrol	256
Lampiran 7.5	Foto Benda Uji untuk pH 2	257
Lampiran 7.6	Foto Benda Uji untuk pH 3	258
Lampiran 7.7	Foto Benda Uji untuk pH 4	259
Lampiran 7.8	Foto Benda Uji untuk pH 5	260
Lampiran 7.9	Foto Benda Uji untuk pH 6	261
Lampiran 7.10	Foto Benda Uji untuk pH 7	262
Lampiran 7.11	Foto Benda Uji Setelah Perlakuan (Visual) untuk Genangan 5 cm	263