

**PERILAKU PERKERASAN KAKU DENGAN BEBAN LALU  
LINTAS  
(Studi Kasus: Peningkatan Jalan Ruas SP.Korpri – Purwotani,  
Kabupaten Lampung Selatan, Lampung)**

**(Skripsi)**

**Oleh  
JOSES ARISTO MALAU  
1915011041**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2023**

## **ABSTRAK**

### **PERILAKU PERKERASAN KAKU DENGAN BEBAN LALU LINTAS (Studi Kasus: Peningkatan Jalan Ruas SP.Korpri – Purwotani, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung)**

**Oleh**

**JOSES ARISTO MALAU**

Perkerasan kaku adalah salah satu jenis struktur beton yang digunakan untuk menahan beban lalu lintas kendaraan dan paparan lingkungan secara terus menerus berupa perubahan suhu dan kelembapan udara dalam jangka waktu yang lama. Penelitian dilakukan secara eksperimental pada satu segmen beton perkerasan berukuran  $5 \times 4,5 \times 0,3$  m. Perilaku beton diamati dengan cara menanam alat ukur *vibrating wire strain gauge* di empat posisi yang berbeda sampai beton berumur 90 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perilaku regangan susut beton dipengaruhi suhu dan kelembapan udara dimana regangan susut terbesar terjadi pada bagian tengah dari pelat beton. Prediksi regangan susut dari ACI 209R-92 lebih rendah 13,5%-26,8% dibandingkan dengan regangan susut yang terjadi.

Kata kunci: perkerasan kaku, susut, *strain gauge*, tropis

## **ABSTRACT**

### **BEHAVIOR OF RIGID PAVEMENT WITH TRAFFIC LOAD (Case Studies: Road Upgrade of SP. Korpri-Purwotani, South Lampung Regency, Lampung)**

**By**

**JOSES ARISTO MALAU**

Rigid pavement is a type of concrete structure that is used to hold the vehicular traffic load and continuous environmental exposure in the form of changes in air temperature and humidity over a long period of time. The study was conducted experimentally on a  $5 \times 4.5 \times 0.3$  m concrete pavement segment. The concrete behavior was observed by embedding a vibrating wire strain gauge in four different positions until the concrete was 90 days old. The results showed that the shrinkage strain behavior of concrete was affected by air temperature and humidity, with the largest shrinkage strain occurring at the center of the concrete slab. The predicted shrinkage strains from ACI 209R-92 were 13.5%–26.8% lower than the actual shrinkage strains.

Keywords: rigid pavement, shrinkage, strain gauge, tropical

**PERILAKU PERKERASAN KAKU DENGAN BEBAN LALU LINTAS  
(Studi Kasus: Peningkatan Jalan Ruas SP.Korpri – Purwotani, Kabupaten  
Lampung Selatan, Lampung)**

**Oleh**

**JOSES ARISTO MALAU**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Program Studi S1 Teknik Sipil  
Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

Judul Skripsi

**: PERILAKU PERKERASAN KAKU DENGAN  
BEBAN LALU LINTAS (Studi Kasus:  
Peningkatan Jalan Ruas SP.Korpri –  
Purwotani, Kabupaten Lampung Selatan,  
Lampung)**

Nama Mahasiswa

**: Joses Aristo Malau**


Nomor Pokok Mahasiswa : 1915011041

Program Studi : S1 Teknik Sipil

Fakultas : Teknik


**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

  
**Prof. Dr. Ir. C. Niken DWSBU., M.T.**  
NIP 19580613 198403 2 003

  
**Ir. Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D.**  
NIP 19700430 199703 1 003

2. Ketua Jurusan Teknik Sipil

  
**Sasana Putra, S.T., M.T.**  
NIP/19691111 200003 1 002

3. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

  
**Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.**  
NIP 19720829 199802 1 001

## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

Ketua

: **Prof. Dr. Ir. C. Niken DWSBU., M.T.**



Sekretaris

: **Ir. Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D.**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Ir. Laksmi Irianti, M.T.**



### 2. Dekan Fakultas Teknik



**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.**  
NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **20 Desember 2023**



## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Joses Aristo Malau

NPM : 1915011041

Prodi/Jurusan : S1/Teknik Sipil

Fakultas : Teknik Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa dalam skripsi yang berjudul “*PERILAKU PERKERASAN KAKU DENGAN BEBAN LALU LINTAS (Studi Kasus: Peningkatan Jalan Ruas SP.Korpri – Purwotani, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung)*” tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebut dalam daftar pustaka. Ide penelitian didapat dari Pembimbing I, oleh karena itu baik atas data penelitian berada pada Saya dan Pembimbing I, Ibu Prof. Dr. Ir. C. Niken, DWSBU., M.T.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 20 Desember 2023



Joses Aristo Malau

## RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Bekasi pada tanggal 31 Oktober 2001, merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Pondang Malau dan Ibu Herlina Lumban Gaol. Penulis memiliki seorang abang laki-laki bernama Jevon Malau. Penulis menempuh jenjang pendidikan sekolah dasar di SD Santa Lusia pada tahun 2007 – 2013, lalu dilanjutkan ke sekolah menengah pertama di SMP Negeri 2 Kota Bekasi yang diselesaikan pada tahun 2016 dan dilanjutkan ke sekolah menengah atas di SMA Negeri 1 Kota Bekasi yang diselesaikan pada tahun 2019.

Pada tahun 2019 penulis diterima di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi seorang mahasiswa, penulis berperan aktif di organisasi jurusan yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS) sebagai anggota Departemen Hubungan Luar Periode 2020 – 2021 dan anggota Departemen Usaha dan Karya Periode 2021 – 2022. Penulis juga telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode I di Kelurahan Mustikasari, Kecamatan Mustika Jaya, Kota Bekasi selama 40 hari, Januari – Februari 2022. Ditahun yang sama, tepatnya dibulan Juni – September penulis juga telah melakukan Kerja Praktik di Proyek Pembangunan Gedung Hotel Yello Lampung selama 3 bulan. Penulis mengambil tugas akhir dengan judul “Perilaku Perkerasan Kaku dengan Beban Lalu Lintas (Studi Kasus: Peningkatan Jalan Ruas SP.Korpri – Purwotani, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung)”.



## **MOTTO**

Jangan seorang pun menganggap engkau rendah karena engkau muda. Jadilah teladan bagi orang-orang percaya, dalam perkataanmu, dalam tingkah lakumu, dalam kasihmu, dalam kesetiaanmu, dan dalam kesucianmu. (1 Timotius 4:12)

Takut akan TUHAN adalah permulaan pengetahuan, tetapi orang bodoh menghina hikmat dan didikan. (Amsal 1:7)

## **PERSEMBAHAN**

Laporan skripsi ini saya persembahkan untuk Tuhan YME yang telah memberikan kemudahan dan pertolongan sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini saya persembahkan sebagai tanda bukti kepada kedua orang tua dan adik saya tercinta yang selalu mendoakan serta memberi motivasi, dorongan dan semangat untuk saya dalam menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih sudah bersusah payah mengantarkan saya sampai ditempat ini.

Tak lupa, diri saya sendiri Joses Aristo Malau, apresiasi sebesar-besarnya karena telah bertanggung jawab untuk menyelesaikan apa yang telah dimulai. Terima kasih karena telah mampu berjuang hingga dapat menyelesaikan perkuliahan ini.

Skripsi ini saya persembahkan untuk bapak/ibu Dosen Pembimbing dan Penguji yang sangat berjasa yang selalu membimbing dan mengarahkan saya untuk segera menyelesaikan kewajiban ini.

Teman-teman saya, terima kasih karena selalu mendukung, memotivasi dan menemani dalam suka maupun duka.

## SANWACANA

Puji, syukur, dan terima kasih kepada Tuhan Yesus Kristus, yang telah menjadi tempat sandaran dan pergumulan selama penulisan skripsi ini. Oleh karena berkat dan kuasa-Nya sajalah, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Perilaku Perkerasan Kaku dengan Beban Lalu Lintas (Studi Kasus: Peningkatan Jalan Ruas SP.Korpri – Purwotani, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung)”** dengan tepat waktu, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata 1 di Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak akan terselesaikan tanpa adanya bantuan serta dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
2. Sasana Putra, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung
3. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Prodi S-1 Teknik Sipil, Universitas Lampung.
4. Ibu Prof. Dr. Ir. C. Niken D.W.S.B.U., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama yang memberikan bimbingan, pengarahan dan saran kepada penulis dalam proses penyusunan skripsi.
5. Bapak Ir. Masdar Helmi, S.T.,D.E.A.,Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Kedua yang memberikan motivasi, saran dan membimbing penulisan skripsi.
6. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Dosen Penguji atas kesediaannya memberikan kritik dan saran bagi perbaikan skripsi

7. Bapak Ir Andius Dasa Putra, S.T., M.T., Ph.D., selaku Pembimbing Akademik yang memberikan bimbingan dan arahan selama perkuliahan.
8. Seluruh Civitas Akademik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
9. Keluarga tercinta terutama kedua orang tua dan abang, yang selalu mendoakan dan telah sabar dalam memberi dukungan, nasihat, dan motivasi dalam menyelesaikan laporan skripsi ini.
10. Partner penelitian skripsi, Diego, atas kerjasama dan kebersamaannya dalam menyelesaikan penelitian ini.
11. Slytherin yang senantiasa menjadi tempat berkeluh kesah terbaik dan selalu mendukung dalam menjalani proses perkuliahan.
12. Keluarga besar Teknik Sipil Angkatan 2019 (SOLID 19) yang telah berjuang bersama, berbagi kenangan dan pengalaman yang tak terlupakan.

Penulis menyadari akan keterbatasan pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki penulis sehingga masih terdapat kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak dan berharap agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

## DAFTAR ISI

Halaman

<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>ix</b>
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1. Perkerasan Jalan .....	6
2.2. Perkerasan Kaku.....	7
2.2.1. Jenis Perkerasan Kaku.....	7
2.2.2. <i>Dowel</i> .....	11
2.2.3. <i>Tie-bar</i> .....	12
2.3. Pengendalian Mutu.....	12
2.3.1. Uji Keleccakan Beton ( <i>Slump</i> ).....	12
2.3.2. Uji Kuat Tekan dengan CTM ( <i>Compression Testing Machine</i> ) .	13
2.3.3. Uji Kuat Tekan dengan <i>Hammer Test (Non-Destructive Test)</i> ...	13
2.3.4. Uji Kuat Lentur .....	14
2.4. Deformasi .....	16
2.4.1. Susut ( <i>Shrinkage</i> ) Beton .....	16
2.4.2. Rangkak ( <i>Creep</i> ) Beton.....	18
2.5. Penelitian Terdahulu.....	20
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>22</b>
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian .....	22
3.2. Peralatan Penelitian .....	23
3.2.1. <i>Vibrating Wire Strain Gauge</i> .....	23
3.2.2. <i>Vibrating Wire Readout</i> .....	25



3.2.3. <i>HTC</i> .....	26
3.2.4. <i>Hammer Test</i> .....	27
3.3. Data Penelitian.....	28
3.4. Analisis Data Penelitian .....	29
3.5. Diagram Alir Penelitian.....	31
<b>IV. ANALISA DATA DAN HASIL PENELITIAN .....</b>	<b>32</b>
4.1. Pelaksanaan Penelitian .....	32
4.2. <i>Job Mix Formula</i> .....	34
4.3. Hasil dan Analisa Pengujian Beton .....	35
4.3.1. Hasil Kuat Tekan Beton .....	35
4.3.2. Hasil Kuat Lentur Beton .....	37
4.3.3. Hasil dan Analisis <i>Hammer Test</i> .....	40
4.4. Analisis Regangan Perkerasan Kaku.....	43
4.4.1. Regangan pada beton sebelum menerima beban kendaraan .....	43
4.4.2. Regangan pada beton setelah menerima beban kendaraan .....	45
4.4.3. Perbandingan hasil regangan beton dengan ACI 209R-92 .....	48
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>58</b>
5.1. Kesimpulan.....	58
5.2. Saran .....	59

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Skema JPCP .....	8
Gambar 2.2. Skema JRCP .....	9
Gambar 2.3. Skema JRCP .....	10
Gambar 2.4. Skema JPCP .....	10
Gambar 2.5. Perbedaan gerakan pelat akibat beban roda oleh pengaruh dowel...	11
Gambar 2.6. Patah pada 1/3 bentang tengah .....	14
Gambar 2.7. Patah di luar 1/3 bentang tengah dan garis patah pada <5% dari panjang bentang .....	15
Gambar 2.8. Patah di luar 1/3 bentang tengah dan garis patah pada >5% dari panjang bentang .....	16
Gambar 2.9. Kurva hubungan antara susut dan waktu.....	17
Gambar 3.1. Lokasi penelitian .....	22
Gambar 3.2. <i>Vibrating wire strain gauge</i> .....	23
Gambar 3.3. Kabel <i>vibrating wire strain gauge</i> .....	24
Gambar 3.4. <i>Connector</i> .....	24
Gambar 3.5. Penempatan <i>strain gauge</i> .....	25
Gambar 3.6. <i>Vibrating wire readout</i> .....	25
Gambar 3.7. HTC .....	26
Gambar 3.8. <i>Hammer test</i> .....	27
Gambar 3.9. Posisi pengujian <i>hammer test</i> .....	27
Gambar 3.10. Grid pengujian <i>hammer test</i> .....	28
Gambar 3.11. Grafik nilai konversi angka pantul <i>hammer test</i> .....	28
Gambar 3.12. Diagram alir penelitian.....	31
Gambar 4.1. Pengikatan alat dengan tali.....	32
Gambar 4.2. Pengecekan ketinggian alat. ....	33
Gambar 4.3. Alat sudah tertanam pada pelat. ....	33
Gambar 4.4. Pengambilan data regangan.....	34
Gambar 4.5. Pelaksanaan uji <i>hammer test</i> . ....	34
Gambar 4.6. Grafik hasil pengolahan data kuat tekan. ....	37
Gambar 4.7. Grafik hasil pengolahan data kuat lentur.....	39
Gambar 4.8. Pengamatan data terpercil untuk data <i>hammer test</i> . ....	42
Gambar 4.9. Kuat tekan rata-rata dari <i>hammer test</i> setelah dikonversi. ....	42
Gambar 4.10. Grafik regangan beton setelah <i>curing</i> . ....	43

Gambar 4.11. Hubungan regangan dan RH terhadap waktu.....	44
Gambar 4.12. Hubungan regangan dan suhu terhadap waktu.....	45
Gambar 4.13. Regangan beton setelah menerima beban kendaraan.....	45
Gambar 4.14. Hubungan jumlah kendaraan dengan regangan yang terjadi. ....	47
Gambar 4.15. <i>Creep</i> berdasarkan ACI 209R-92.....	55
Gambar 4.16. <i>Creep strain</i> pada perkerasan kaku. ....	55
Gambar 4.17. Perbandingan regangan yang diteliti dengan ACI 209R-92.....	56

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Toleransi Umur Pengujian Beton.....	13
Tabel 3.1 Pengaturan <i>Readout</i> GK-404. ....	26
Tabel 3.2. Jadwal Pembacaan VWSG.....	28
Tabel 4.1. Hasil Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari .....	35
Tabel 4.2. Hasil Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari. ....	36
Tabel 4.3. Hasil Kuat Lentur Beton Umur 7 Hari.....	38
Tabel 4.4. Hasil Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari .....	38
Tabel 4.5. Pembacaan Rebound Hammer Posisi 1 .....	40
Tabel 4.6. Pembacaan Rebound Hammer Posisi 2 .....	41
Tabel 4.7. Konversi Kuat Tekan Rebound Hammer Posisi 1 .....	41
Tabel 4.8. Konversi Kuat Tekan Rebound Hammer Posisi 2 .....	41
Tabel 4.9. Rata-rata Nilai Kuat Tekan dari Uji <i>Hammer Test</i> .....	42
Tabel 4.10. Persentase Perubahan <i>Strain</i> per Minggu .....	46
Tabel 4.11. Kendaraan yang Melewati Pelat Berdasarkan Golongan.....	46
Tabel 4.12. Faktor Koreksi karena <i>Curing</i> Basah.....	49
Tabel 4.13. Faktor Koreksi Kelembapan Relatif .....	49
Tabel 4.14. Faktor Koreksi Ketebalan Benda Uji.....	50
Tabel 4.15. Faktor Koreksi Rangkak karena <i>Curing</i> .....	53

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Berdasarkan Undang-undang Nomor 2 Tahun 2022, jalan dapat didefinisikan sebagai prasarana transportasi darat yang melingkupi seluruh bagian jalan, yang digunakan untuk lalu lintas, yang dimana posisinya bisa berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah (*elevated*), di bawah permukaan tanah dan/atau air (*underground*), serta di atas permukaan air, kecuali jalan rel, jalan lori, dan jalan kabel. Jalan berfungsi untuk menghubungkan satu daerah dengan daerah yang lain, sehingga mobilitas masyarakat dan barang/jasa bisa lebih baik dan meningkatkan kegiatan perekonomian di daerah tersebut.

Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dan bahan pengikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas (Akhmad dan Cahya, 2021). Perkerasan jalan dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan materialnya, antara lain perkerasan lentur (*flexible pavement*) yang memakai aspal sebagai material pengikat, perkerasan kaku (*rigid pavement*) yang menggunakan cor beton sebagai material pengikat, dan juga perkerasan komposit (*composite pavement*) yang menggunakan material beton dan juga aspal sebagai material pengikat. Dalam dekade terakhir, perkerasan kaku dipilih karena kekuatannya dan lebih tahan terhadap cuaca dibandingkan perkerasan lentur, Chatarina (2021).

Menurut Pd T-14-2003, perkerasan kaku adalah struktur pelat beton semen yang menerus atau tidak menerus, dengan tulangan atau tanpa tulangan yang terletak di atas lapis pondasi bawah atau tanah dasar, tanpa atau dengan lapis permukaan beraspal. Perkerasan kaku (*rigid pavement*) adalah struktur pelat yang secara terus-menerus terpapar ke lingkungan luar untuk waktu yang lama.



Indonesia merupakan negara dengan iklim tropis basah, dimana suhu tidak pernah konstan dan kelembapan yang tinggi sepanjang tahun. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi beton, diantaranya suhu sekitar (*surrounding temperature*) dan kelembapan relatif (*relative humidity*). Suhu sekitar dan juga kelembapan relatif dapat mempengaruhi beton dikarenakan suhu dan kelembapan bisa masuk ke dalam beton dan mempengaruhi karakteristik beton tersebut. Menurut Chatarina (2021) cuaca akan mempengaruhi proses hidrasi dan setiap proses kimiawi selalu berkorelasi dengan perubahan panas.

Perkerasan kaku pada umumnya dipakai pada jalan yang memiliki lalu lintas yang cukup padat dan memiliki distribusi beban yang besar, seperti pada jalan lintas antar provinsi, jembatan layang, jalan tol, maupun pada persimpangan bersinyal (Tenriajen, 1999 dalam Susanto dkk, 2016). Dalam kondisi sebenarnya, regangan pada beton akan tercipta akibat menerima beban dari kendaraan yang melewati jalan beton secara berulang-ulang. Hal tersebut harus menjadi perhatian karena beban kendaraan menjadi faktor yang berpengaruh terhadap deformasi pada jalan.

Peningkatan jalan ruas SP. Kopri-Purwotani dibangun untuk melayani lalu lintas dan menghubungkan pintu keluar tol Kotabaru dengan Kota Bandar Lampung. Jalan ruas SP. Kopri-Purwotani berlokasi di Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung. Provinsi Lampung, sama seperti daerah di Indonesia pada umumnya, merupakan daerah beriklim tropis lembap dengan kondisi kelembapan yang tinggi sepanjang tahun. Oleh sebab itu, sangat menarik untuk diteliti perilaku perkerasan kaku yang diakibatkan oleh beberapa faktor seperti suhu, kelembapan sekitar, dan juga beban lalu lintas yang bekerja di atasnya.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan identifikasi masalah yang sudah diterangkan sebelumnya, maka dapat ditentukan rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana hubungan antara suhu sekitar, kelembapan relatif dengan deformasi beton.

2. Bagaimana pola regangan pada perkerasan kaku di jalan ruas SP. Kopri-Purwotani setelah pembebanan.
3. Bagaimana perbandingan antara hasil penelitian regangan dan prediksi dari ACI 209R-92.

### 1.3. Batasan Masalah

Agar pembahasan dari masalah yang sudah diuraikan tidak melenceng jauh, masalah dalam penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Benda uji yang diteliti yaitu *rigid pavement* dengan 1 segmen berukuran panjang, lebar, dan tinggi  $5 \times 4,5 \times 0,3$  (m) pada jalan ruas SP. Kopri-Purwotani.
2. Metode pengujian yang dilakukan adalah metode eksperimental menggunakan empat buah *strain gauge* pada benda uji *rigid pavement* untuk mengetahui reaksi regangan dan suhu pada beton.
3. Beton yang digunakan diproduksi oleh PT Rindang Tigasatu Pratama di *batching plant* yang berlokasi di Lematang, Kecamatan Tanjung Bintang, Kabupaten Lampung Selatan.
4. Beban kendaraan adalah jumlah kendaraan yang melewati benda uji *rigid pavement* dengan mengabaikan berat kendaraan itu sendiri.
5. Penelitian dilakukan setelah proses curing selesai, dari beton berumur 15 hari hingga 90 hari.

### 1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis hubungan antara suhu, kelembapan relatif, dan deformasi.
2. Menganalisis pola regangan yang terjadi pada *rigid pavement* akibat pembebanan akibat kendaraan yang melintas.
3. Menganalisis perbedaan antara hasil penelitian regangan dan prediksi dari ACI 209R-92.

### 1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Memberikan ilmu pengetahuan dan penambahan wawasan mengenai perkerasan kaku.
2. Mengetahui hubungan antara kelembapan relatif dengan *shrinkage* pada perkerasan kaku.
3. Mengetahui reaksi regangan (*strain*) pada benda uji *rigid pavement* yang diberikan beban kendaraan.
4. Sebagai referensi untuk dilakukan penelitian lebih lanjut.

### 1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan penulis adalah sebagai berikut :

1. BAB I: PENDAHULUAN  
Terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.
2. BAB II: TINJAUAN PUSTAKA  
Berisikan landasan teori dari beberapa literatur yang mendukung pembahasan tentang studi kasus yang diambil, yaitu studi eksperimental tegangan dan regangan perkerasan kaku (*rigid pavement*) akibat cuaca sekitar dan juga pembebanan kendaraan.
3. BAB III: METODE PENELITIAN  
Terdiri dari hal-hal yang berhubungan dengan waktu dan tempat, alat dan bahan, metode-metode, pelaksanaan dan pengujian.
4. BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN  
Terdiri dari hasil penelitian dan pembahasan dari data-data yang diperoleh setelah pengujian.
5. BAB V: KESIMPULAN DAN SARAN  
Terdiri dari hal-hal yang dapat disimpulkan dan saran-saran yang ingin disampaikan berdasarkan hasil dari penelitian.

6. DAFTAR PUSTAKA

Berisikan referensi-referensi yang digunakan dalam penelitian ini

7. LAMPIRAN

Terdiri dari data dan gambar yang mendukung penelitian ini.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Perkerasan Jalan

Jalan merupakan salah satu jenis prasarana transportasi darat yang memegang peranan penting bagi pengembangan suatu daerah (Yudaningrum dan Ikhwanudin, 2017). Kondisi jalan yang baik akan memudahkan mobilitas penduduk dalam mengadakan hubungan perekonomian dan kegiatan sosial lainnya (Priana, 2018). Tanpa perkerasan jalan yang baik, sistem transportasi tidak dapat beroperasi dengan baik, perjalanan memakan biaya yang lebih besar, waktu tempuh yang lebih lama, dan kegiatan ekonomi akan terganggu (Barde *et al.*, 2023).

Ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi agar perkerasan jalan menjadi ideal, yaitu sebagai berikut:

- a. Perkerasan jalan harus memiliki ketebalan yang cukup sehingga dapat mendistribusikan tegangan yang dihasilkan akibat beban berat kendaraan yang bergerak ke tanah dasar dengan baik;
- b. Perkerasan jalan harus lebih tahan lama dan membutuhkan lebih sedikit perawatan;
- c. Perkerasan jalan harus kuat dan stabil secara struktural sehingga dapat secara efisien memikul beban tanpa kegagalan yang dibebankan padanya;
- d. Perkerasan jalan harus memiliki koefisien gesekan yang memadai untuk mencegah kendaraan selip;
- e. Perkerasan jalan harus cukup halus untuk memberikan kenyamanan bagi pengemudi bahkan pada kecepatan tinggi;
- f. Perkerasan jalan harus ekonomis dan mudah dibangun.



Terdapat beberapa tipe perkerasan jalan yang ada di Indonesia berdasarkan material pengikatnya, diantaranya:

1) Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Perkerasan lentur merupakan salah satu jenis perkerasan jalan yang menggunakan material aspal yang terdiri dari lapisan-lapisan di atas tanah dasar yang dipadatkan dan aspal sebagai pengikat. Lapisan-lapisan tersebut menerima beban lalu lintas yang kemudian didistribusikan ke lapisan di bawahnya.

2) Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Pasir, batu, semen, dan rangka besi sebagai tulangan merupakan komponen beton yang digunakan untuk membuat perkerasan kaku (*rigid pavement*) untuk jalan raya. Beton telah banyak digunakan dalam rekayasa jalan dikarenakan karakteristiknya yang unggul, seperti kekuatan yang tinggi, teknologi produksi yang mudah, konsumsi energi yang rendah, dan kinerja yang baik dengan tulangan (Zhang *et al.*, 2021; Fattouh *et al.*, 2023). Perkerasan kaku dapat menjadi pilihan yang lebih murah untuk jalan perkotaan dengan akses terbatas bagi kendaraan yang sangat berat (Bina Marga, 2017).

3) Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*)

Perkerasan komposit (*composite pavement*) adalah jenis perkerasan jalan raya yang terdiri dari material gabungan antara tanah dasar, beton cor, dan aspal.

## 2.2. Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku (*rigid pavement*) adalah perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya (Sidabutar *et al.*, 2021) yang biasanya digunakan untuk pembebanan berat dan/atau dimana terdapat tanah dasar yang buruk (Hakim, 2009).

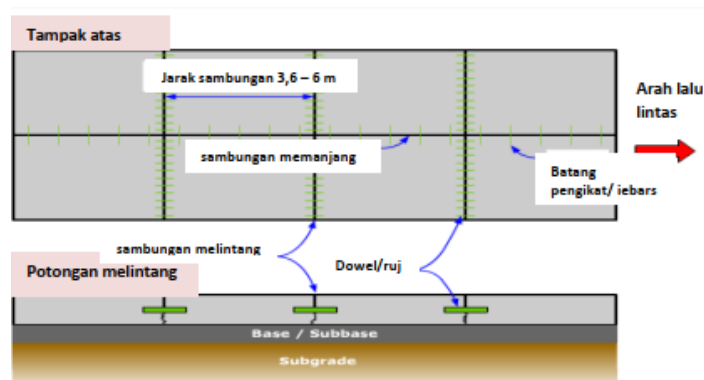
### 2.2.1. Jenis Perkerasan Kaku

Berdasarkan Pedoman Teknis Bidang Jalan Kementerian PUPR Pd T-14-2003 tentang perencanaan perkerasan jalan beton semen, perkerasan kaku dapat diklasifikasikan menjadi 4 jenis, diantaranya:

- a. Perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan (*jointed plain concrete pavement*)

Perkerasan ini merupakan jenis perkerasan kaku yang paling banyak digunakan karena lebih murah dalam pelaksanaan dibandingkan jenis perkerasan kaku lainnya. Sambungan jenis perkerasan kaku ini berjarak relatif dekat, antara 4,5 m dan 5 m, sehingga retak tidak akan terbentuk pada pelat sampai akhir masa layan dari perkerasan tersebut.

Pada perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan, tidak ada tulangan pada pelat, kecuali dowel yang ditempatkan pada sambungan melintang, dan *tiebar* yang ditempatkan pada sambungan memanjang.



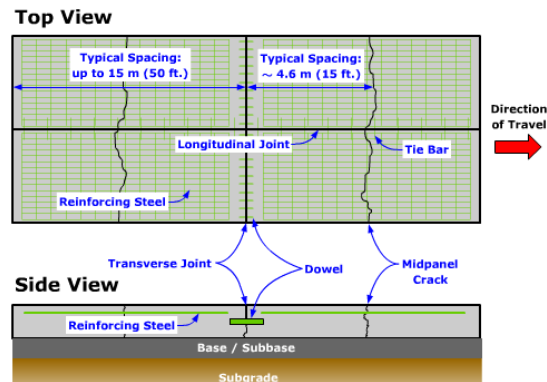
Gambar 2.1. Skema JPCP (Sumber: Diklat perkerasan kaku, 2017).

- b. Perkerasan kaku bersambung dengan tulangan (*jointed reinforced concrete pavement*)

Perkerasan kaku jenis ini hampir sama dengan perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan (JPCP). Perbedaan diantara keduanya adalah JRCP memiliki ukuran yang lebih panjang dan terdapat tulangan tambahan. Jarak sambungan umumnya antara 7,5 m hingga 12 m, bahkan ada yang mencapai 30 m.

Persentase tulangan yang digunakan pada arah memanjang berkisar antara 0,1% dan 0,2% dari luas penampang beton, sedangkan tulangan pada arah melintang lebih kecil (Diklat Perkerasan Kaku, 2017).

Tujuan penulangan pada perkerasan kaku adalah untuk menahan retakan dan mempertahankan geser di sepanjang bidang retakan sebagai penyalur beban, dan bukan untuk memikul beban secara struktural.



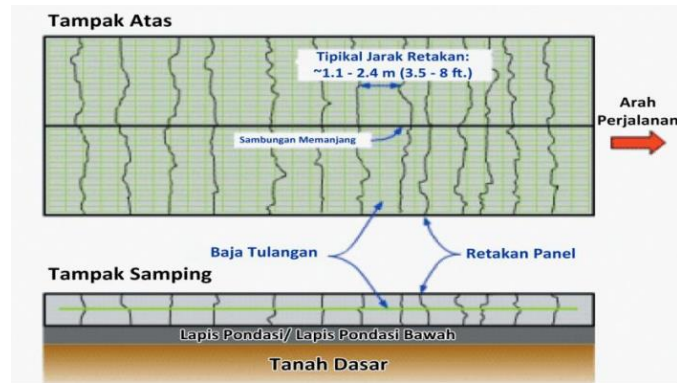
Gambar 2.2. Skema JRCP (Sumber: Diklat perkerasan kaku, 2017).

c. Perkerasan kaku menerus dengan tulangan (*continuously reinforced concrete pavement*)

Perkerasan jenis ini adalah pelat dengan jumlah tulangan yang cukup banyak dengan tidak menggunakan sambungan susut. Secara umum, jumlah tulangan yang digunakan pada arah memanjang antara 0.6% dan 0.8% dari luas penampang beton, dan jumlah tulangan pada arah melintang lebih kecil (Diklat Perkerasan Kaku, 2017).

Retak umumnya berjarak antara 0,6m - 2,4m. Perkerasan kaku menerus dengan tulangan akan meningkatkan kenyamanan berkendara karena perkerasan ini memiliki permukaan yang lebih rata dan umur yang lebih panjang dibandingkan dengan jenis perkerasan lainnya. (Diklat Perkerasan Kaku, 2017).

Karena banyaknya penggunaan tulangan, biaya perkerasan kaku menerus dengan tulangan lebih tinggi dibandingkan dengan perkerasan lainnya. Namun, pada jalan dengan lalu lintas tinggi, perkerasan kaku menerus dengan tulangan terbukti lebih ekonomis karena kinerja jangka panjangnya yang lebih unggul daripada bentuk perkerasan kaku lainnya.

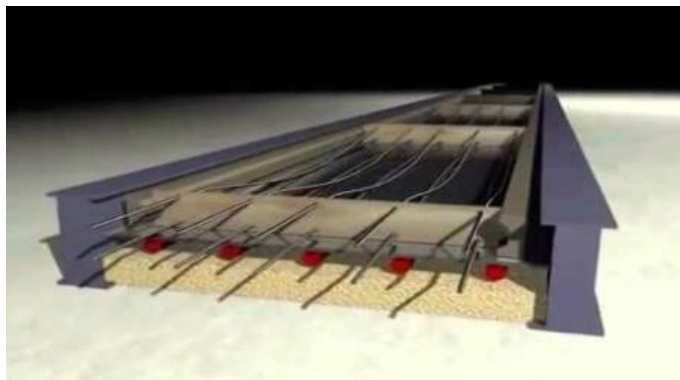


Gambar 2.3. Skema JRCP (Sumber: Diklat perkerasan kaku, 2017).

d. Perkerasan kaku prategang (*prestress concrete pavement*)

Pada perkerasan kaku konvensional, kekuatan tarik lentur beton membatasi tegangan yang disebabkan oleh beban roda pada perkerasan kaku, sehingga ketebalan perkerasan diatur oleh tegangan tarik yang disebabkan oleh beban roda yang tidak melebihi kekuatan tarik lentur beton.

Sebaliknya, pada perkerasan beton prategang, tegangan tekan diterapkan untuk meningkatkan kekuatan tarik lentur beton, dan tegangan yang disebabkan oleh beban roda tidak lagi dibatasi oleh kekuatan tarik lentur beton. Hasilnya, dibandingkan dengan perkerasan kaku konvensional, ketebalan perkerasan ini akan lebih tipis untuk beban tertentu. Tipe perkerasan kaku prategang yang umum memiliki panjang pelat sekitar 130 meter.



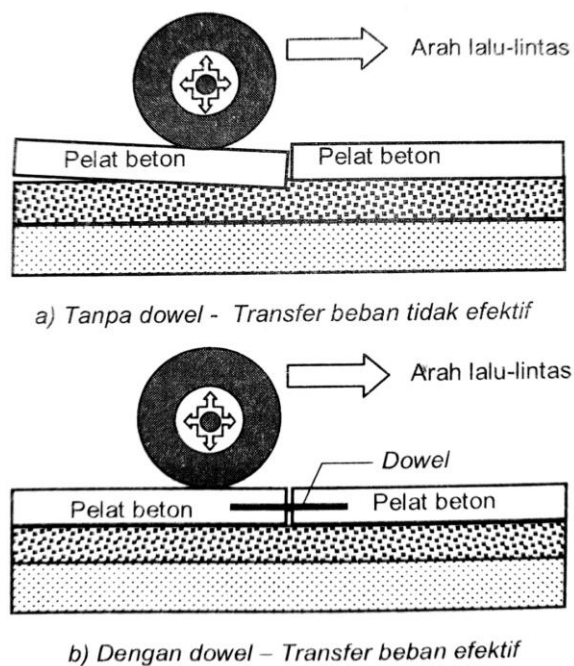
Gambar 2.4. Skema PCP (Sumber: Diklat perkerasan kaku, 2017).

### 2.2.2. Dowel

Dowel adalah sepotong batang baja polos yang memenuhi persyaratan dan diletakkan secara longitudinal dalam sambungan melintang. Tujuannya adalah untuk mengintegrasikan dua panel beton yang bersebelahan sehingga keduanya dapat beroperasi bersama saat kendaraan melintas. (Diklat Perkerasan Kaku, 2017). Menurut Hardiyatmo (2019) dowel harus mempunyai sifat sebagai berikut:

- 1) sederhana dalam perancangan dan pemasangan
- 2) mampu memberikan tahanan yang kecil, ketika terjadi gerakan ke arah memanjang dari sambungan pada sembarang waktu
- 3) mampu mendistribusikan tegangan akibat beban tanpa menimbulkan tegangan berlebihan antara alat transfer beban dan beton di sekitarnya
- 4) tahan terhadap korosi
- 5) stabil secara mekanis akibat beban lalu lintas berat

Dengan adanya *dowel* ini, pelat beton yang berdampingan dapat bekerja sama tanpa terjadi perbedaan penurunan yang signifikan jika pelat dibebani dengan beban lalu lintas.



Gambar 2.5. Perbedaan gerakan pelat akibat beban roda oleh pengaruh dowel (Hardiyatmo, 2019).



### 2.2.3. *Tie-bar*

*Tie-bar* adalah tulangan baja ulir yang digunakan untuk menjaga tepi pelat beton yang berdampingan agar tetap dalam kontak yang baik satu sama lain dan membantu terjadinya ikatan yang sempurna di antara sambungan. (Hardiyatmo, 2019). *Tie-bar* dipasang pada sambungan memanjang. *Tie-bar* berfungsi sebagai pengikat jalur, serta berfungsi untuk menjamin terjadinya penguncian antar agregat, dan bukan sebagai alat penyalur beban.

Dowel dan *tie-bar* pada dasarnya berbeda satu sama lain. Batang tulangan polos menahan beban yang disebut dowel memberikan kekuatan dan ketahanan pada pelat beton terhadap lentur dan geser. Sebaliknya, *tie-bar* adalah batang tulangan baja berulir yang digunakan untuk menjaga kontak antara ujung-ujung pelat beton yang berdekatan.

## 2.3. Pengendalian Mutu

### 2.3.1. Uji Keleccakan Beton (*Slump*)

Uji keleccakan beton (*slump*) menurut SNI 1972:2008 didefinisikan sebagai besaran kekentalan (*viscosity*)/plastisitas dan kohesif dari beton segar. Jarak vertikal antara ketinggian asli dan ketinggian pusat permukaan saat beton jatuh diukur sebagai nilai *slump* (kemerosotan) beton (ASTM C143). Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan konsistensi (kekentalan adukan beton). *Slump test* dapat dilakukan di laboratorium atau di lapangan pada saat pengecoran akan dilaksanakan. Nilai *slump* mengindikasikan *workability*/keleccakan suatu beton.

Nilai *slump* pada umumnya sebanding dengan kadar air dalam campuran beton, dan berbanding terbalik dengan kekuatan beton. Semakin tinggi nilai *slump* maka kuat tekan beton semakin turun demikian pula sebaliknya (Gobel, 2017).

### 2.3.2. Uji Kuat Tekan dengan CTM (*Compression Testing Machine*)

Kuat tekan beton ( $f_c'$ ) adalah besarnya beban per satuan luas, pada benda uji silinder dengan diameter 15cm, tinggi 30cm yang menyebabkan benda uji beton hancur. Gaya tekan tersebut dihasilkan oleh mesin tekan (SNI 03-1974-2011). Tujuan uji kuat tekan adalah untuk memperoleh nilai kuat tekan dengan prosedur yang benar. Pengujian kuat tekan beton biasanya dilakukan pada usia 1, 3, 7, 14, 21, 28, dan 56 hari dengan toleransi umur pengujian sebagai berikut:

Tabel 2.1. Toleransi Umur Pengujian Beton

Umur Pengujian	Toleransi yang diperbolehkan
24 jam	$\pm 0,5$ jam
3 hari	$\pm 2$ jam
7 hari	$\pm 6$ jam
28 hari	$\pm 20$ jam
90 hari	$\pm 2$ hari

(Sumber: ASTM C39/C39M, 2020)

Perhitungan kuat tekan beton dalam SNI 1974-2011 dicari dengan rumus:

$$\text{Kuat tekan beton ( dalam MPa atau } N/mm^2 \text{ )} = \frac{P}{A}$$

Dimana:

P = gaya tekan aksial (N);

A = luas penampang melintang benda uji ( $mm^2$ ).

### 2.3.3. Uji Kuat Tekan dengan *Hammer Test* (*Non-Destructive Test*)

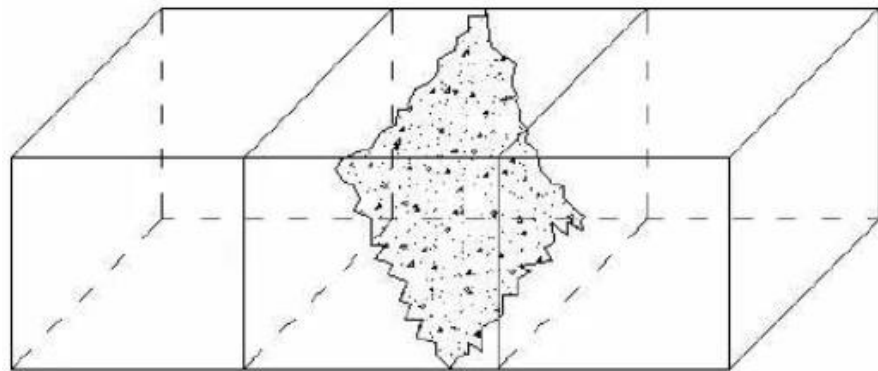
*Hammer test* adalah palu baja yang digerakkan oleh gaya pegas yang apabila dilepaskan akan memukul peluncur baja ke permukaan beton (SNI 03-4430-1997). Tujuan dari metode *hammer test* adalah untuk memperkirakan nilai kuat tekan dari beton pada suatu elemen struktur. Metode pengujian ini dapat digunakan untuk menilai keseragaman beton pada struktur, untuk menggambarkan variasi kualitas beton di seluruh struktur, dan untuk memperkirakan kekuatan suatu struktur (ASTM-C805).

#### 2.3.4. Uji Kuat Lentur

Menurut SNI 4431:2011, kuat lentur didefinisikan sebagai kemampuan balok beton untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, sampai benda uji patah. Hasil dari metode pengujian ini dapat digunakan untuk menentukan kesesuaian dengan spesifikasi atau sebagai dasar untuk proporsi campuran dan mengevaluasi keseragaman pencampuran (ASTM C78/C78M 2016). Metode ini digunakan terutama dalam pengujian beton untuk konstruksi pelat dan perkerasan jalan.

Cara menghitung *modulus of rupture*/modulus keruntuhan telah diatur dalam SNI 4431:2011 dan ASTM C78-16 adalah sebagai berikut:

- a. Patah pada 1/3 bentang bagian tengah



Gambar 2.6. Patah pada 1/3 bentang tengah. (Sumber: SNI 4431:2011).

Bila patahnya benda uji terjadi pada 1/3 bentang di bagian tengah, modulus keruntuhan dapat dihitung dengan persamaan

$$\delta_1 = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2}$$

Dimana:

$\delta_1$  = kuat lentur benda uji (MPa)

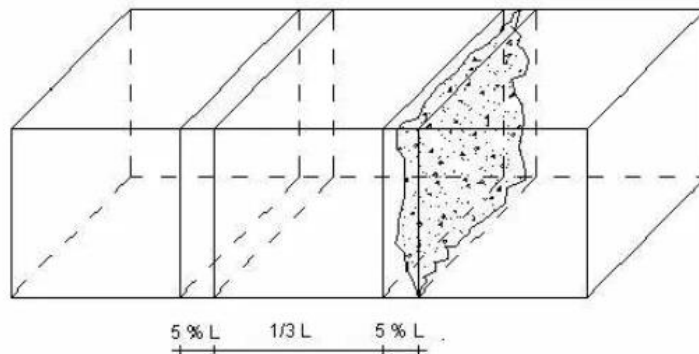
P = beban tertinggi yang terbaca (N)

L = jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)

b = lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

h = lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

- b. Patah di luar 1/3 bentang bagian tengah dan garis patah pada < 5% dari panjang bentang



Gambar 2.7. Patah di luar 1/3 bentang tengah dan garis patah pada < 5% dari panjang bentang (Sumber: SNI 4431:2011).

Bila benda uji patah diluar 1/3 bentang di bagian tengah, dan jarak antara titik pembebanan dan titik patah kurang dari 5% dari panjang bentang, modulus keruntuhan dapat dihitung dengan persamaan

$$\delta_1 = \frac{P \cdot a}{b \cdot h^2}$$

Dimana:

$\delta_1$  = kuat lentur benda uji (MPa)

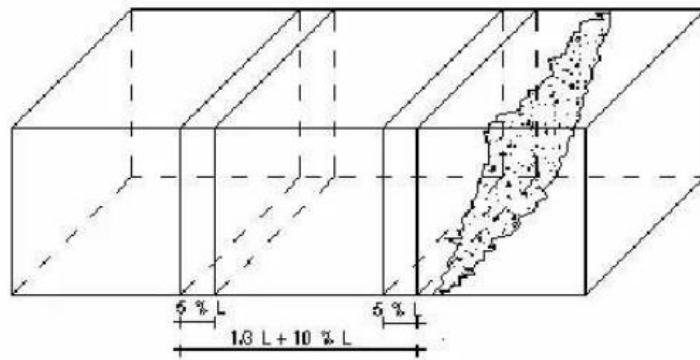
P = beban tertinggi yang terbaca (N)

a = jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur pada 4 tempat pada sudut dari bentang (mm)

b = lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)

h = lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

- c. Untuk benda uji yang patah di luar 1/3 bentang di bagian tengah dan jarak antara titik pembebanan dan titik patah lebih dari 5% bentang, hasil pengujian tidak digunakan.



Gambar 2.8. Patah di luar 1/3 bentang tengah dan garis patah pada  $>5\%$  dari panjang bentang (Sumber: SNI 4431:2011).

## 2.4. Deformasi

### 2.4.1. Susut (*Shrinkage*) Beton

Susut (*shrinkage*) dapat didefinisikan sebagai perubahan volume beton akibat berkurangnya kandungan air pada beton. Sifat susut beton tidak dipengaruhi oleh beban (Fadhilah *et al*, 2017). Susut merupakan proses yang *irreversible* yang artinya jika beton sudah benar-benar susut, tidak akan kembali lagi ke volume awal meskipun dijenuhkan dengan air.

Menurut Fadhilah *et al*. (2017), terdapat dua jenis susut beton, diantaranya:

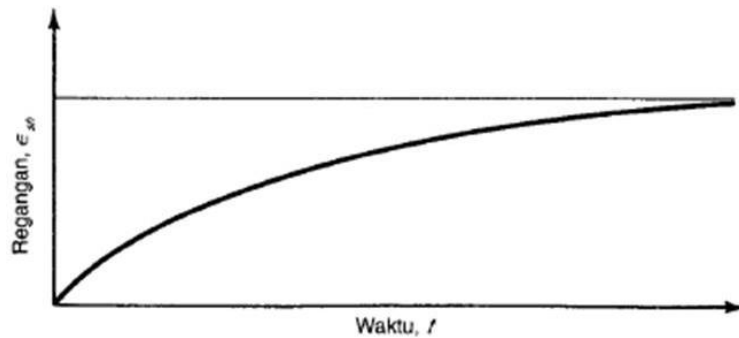
#### 1) Susut Plastis (*Plastic Shrinkage*)

Susut plastis adalah pengurangan volume beton dalam keadaan plastis setelah pengecoran beton. Pengurangan volume ini menyebabkan retakan pada beton, yang disebut sebagai retak susut plastis. Beton yang memiliki permukaan yang luas seperti pelat akan lebih beresiko susut plastis karena penguapan terjadi lebih cepat melalui permukaan beton dan juga mudah dipengaruhi oleh udara di sekitar beton.

#### 2) Susut Pengeringan (*Drying Shrinkage*)

Pengurangan volume elemen beton yang disebabkan oleh penguapan air dikenal sebagai susut pengeringan. Setelah proses hidrasi semen selesai dan beton mencapai bentuk akhirnya, susut pengeringan terjadi. Hilangnya air bebas yang terkandung dalam beton yang mengeras, tidak menghasilkan perubahan dimensi yang berarti tetapi hilangnya air yang

tertahan dalam pori-pori lah yang menyebabkan perubahan volume beton.



Gambar 2.9. Kurva hubungan antara susut dan waktu. (Sumber: [ilmutekniksipilindonesia.com](http://ilmutekniksipilindonesia.com)).

Semakin bertambah umur beton, semakin berkurang laju susutnya (Gambar 2.8). Laju susut pada umur awal beton dikarenakan perubahan volume bahan penyusun beton ke produk hidrasi dan penguapan air yang terjadi akibat panas dari reaksi hidrasi beton. Semakin lama, hidrasi akan berhenti, dan panas beton menurun, sehingga penguapan air pada beton berkurang.

Terdapat faktor-faktor luar yang mempengaruhi *shrinkage*, diantaranya adalah:

a) Suhu sekitar

Suhu sekitar beton memiliki pengaruh terhadap susut, karena suhu dapat masuk ke dalam beton dan dapat mempengaruhi beton. Temperatur yang tinggi dapat mengubah sifat fisis dan mekanis pada beton. Cuaca akan mempengaruhi proses hidrasi beton dan setiap proses kimia selalu berhubungan dengan perubahan suhu. Panas dapat menyebabkan partikel bergerak dan terjadi perubahan volume. Suhu sekeliling berpengaruh langsung ke susut beton sampai umur 14 hari (Chatarina, 2021). Temperatur dapat mempercepat proses penguapan air. Laju penguapan yang cepat pada beton usia muda bisa menyebabkan retak susut plastis, karena pada beton usia muda, ada banyak pori-pori dan temperatur sekitar mudah untuk masuk ke dalam

beton. Pengaruh suhu sekitar dominan pada elemen struktur yang memiliki permukaan yang luas yang dapat berkontak langsung dengan udara sekitar seperti jalan, jembatan, dsb.

b) Kelembapan relatif

Kelembapan relatif tidak pernah konstan sepanjang waktu. Sama seperti suhu, kelembapan sekitar juga bisa masuk ke dalam beton dan mempengaruhi beton. Laju penguapan juga ditentukan oleh tingkat kelembapan. Laju penguapan cepat biasanya terjadi pada cuaca yang panas dan memiliki kelembapan yang rendah. Penelitian Al-Shathr *et al.* (2018) membandingkan *drying shrinkage* yang terjadi pada beton yang terpapar udara luar di Iraq yang panas dan memiliki kelembapan relatif yang rendah dengan beton terlindung. Hasilnya adalah beton yang terpapar udara dengan kelembapan relatif yang kecil menghasilkan *drying shrinkage* yang lebih besar.

#### 2.4.2. Rangkak (*Creep*) Beton

Rangkak adalah sifat beton yang dimana beton mengalami deformasi akibat beban yang bekerja padanya. Peningkatan regangan yang bergantung pada waktu pada pengerasan beton yang mengalami tegangan berkelanjutan didefinisikan sebagai rangkak (ACI209R-92).

Mekanisme rangkak hampir sama dengan mekanisme susut. Hanya saja pada susut beton, deformasi beton diakibatkan kehilangan air akibat hidrasi maupun penguapan, sementara deformasi rangkak terjadi karena adanya pembebanan yang bekerja pada beton.

Faktor yang mempengaruhi rangkak adalah:

a) Besarnya pembebanan

Semakin besar beban yang diterima beton, semakin besar rangkak yang terjadi. Sebaliknya, semakin kecil beban yang diterima, maka semakin kecil rangkak yang terjadi

- b) Lamanya waktu pembebanan  
Semakin lama pembebanan, maka rangkai akan semakin bertambah, tetapi laju rangkai semakin kecil.
- c) Umur beton saat pembebanan  
Pembebanan beton pada saat beton masih muda, akan memperbesar terjadinya deformasi rangkai dikarenakan kekuatan beton masih belum maksimal.

Beban yang bekerja pada beton dalam penelitian ini adalah kendaraan yang melewati beton tersebut. Berdasarkan BPJT (Badan Pengatur Jalan Tol), terdapat beberapa golongan kendaraan, yaitu:

- Golongan I  
Kendaraan yang masuk dalam golongan ini adalah sedan, jip, pick up/truk kecil, dan bus.
- Golongan II  
kendaraan golongan II adalah kendaraan truk besar dengan dua gandar, contohnya truk engkel.
- Golongan III  
kendaraan yang termasuk golongan III adalah kendaraan truk besar dengan tiga gandar seperti truk trinton dan tronton.
- Golongan IV  
Golongan IV adalah golongan truk besar dengan empat seperti pada truk trinton dan trailer engkel.
- Golongan V  
Kendaraan yang termasuk golongan IV adalah kendaraan truk besar dengan 5 (lima) gandar, contohnya truk trailer engkel 8 roda dan trailer tronton.
- Golongan VI  
Kendaraan yang masuk pada golongan ini adalah kendaraan bermotor roda dua.



## 2.5. Penelitian Terdahulu

Chatarina (2021) telah meneliti hubungan antara temperatur lingkungan sekitar dan perilaku deformasi dari satu pelat beton skala penuh dengan kuat tekan 60 MPa. Penelitian dilakukan di Indonesia yang memiliki iklim tropis yang lembap. Spesimen yang digunakan berukuran 3,00 m x 1,60 m x 0,15 m. Deformasi diperoleh dengan menggunakan empat buah VWSG (*Vibrating Wire Strain Gauges*). Pengamatan dilakukan antara 7 hingga 28 hari. Puncak deformasi mengikuti puncak suhu di sekitarnya. Waktu puncak deformasi yang terjadi setelah waktu puncak suhu di sekitarnya disebut sebagai *delay time*. Ada hubungan linier antara suhu dan deformasi dimana hubungan tersebut dipengaruhi oleh faktor-faktor yang mempresentasikan posisi dan waktu tunda. Kesalahan rata-rata model ini kurang dari 15% pada kisaran umur 7 sampai 14 hari, dan kurang dari 50% pada kisaran umur 15 - 28 hari.

Han *et al.* (2014) meneliti efek dari *internal curing* terhadap perkembangan kelembaban relatif internal dan penyusutan pada pelat beton berkekuatan tinggi. Kadar air, dalam hal ini adalah kelembaban relatif, di dalam pelat beton mutu tinggi, dengan dan tanpa penambahan (PSLWA) *pre-soaked lightweight aggregate*, yang terpapar pada lingkungan dalam ruangan normal diselidiki secara terus menerus segera setelah pengecoran pelat hingga 28 hari. Efek dari curing internal terhadap perkembangan kelembaban relatif internal dan penyusutan pada pelat beton mutu tinggi dianalisis. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa kelembaban relatif internal beton menurun seiring dengan bertambahnya umur beton. Tren kenaikan kelembaban relatif di dalam beton terjadi pada saat proses hidrasi berlangsung (tahap I) dan tahap dimana kelembaban relatif secara bertahap menurun (tahap II). Ketika PSLWA ditambahkan, tren penurunan kelembaban internal pada tahap II berkurang. Durasi dari tahap I diperpanjang dengan penambahan PSLWA. Pengurangan kelembaban internal tertinggi pada 28 hari sejak pengecoran pada pelat beton mutu tinggi berubah dari 46,5% menjadi 26,2% dengan rasio PSLWA sedang, dan menjadi 7,9% dengan rasio PSLWA tinggi. Dalam rentang penambahan

saat ini, semakin banyak PSLWA yang ditambahkan, semakin kuat efek curing internal.

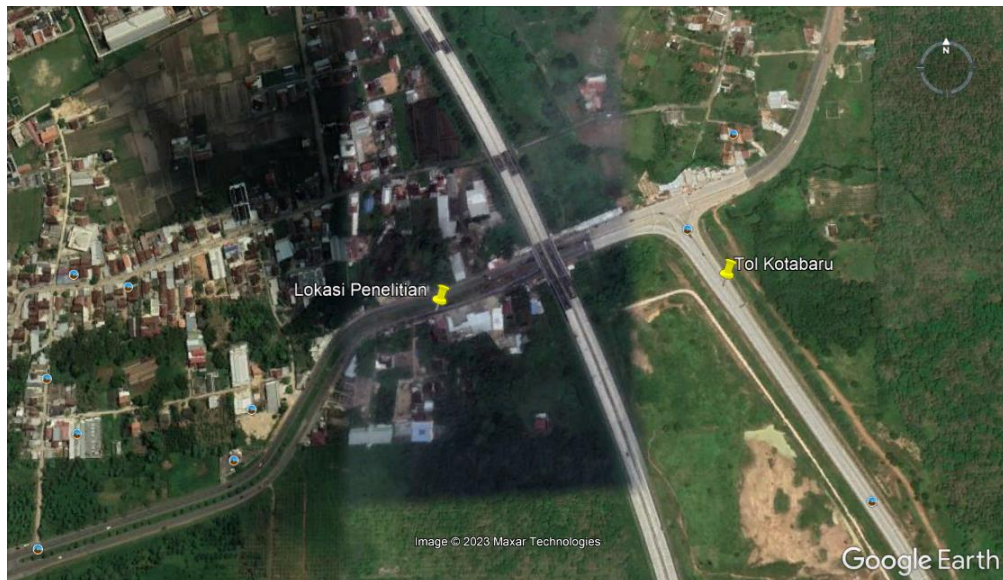
Al-Shathr *et al.* (2018) meneliti pengaruh kondisi variasi suhu yang besar antara siang dan malam hingga 20°C di Irak terhadap susut pengeringan beton *self-compacting* yang diproduksi dengan menggunakan semen Portland-Limestone cement (ASTM C595 - Tipe IL). Campuran SCC (*Self Compacting Cement*) dirancang untuk mencapai kuat tekan 40 dan 60 MPa pada umur 28 hari dengan dan tanpa *silica fume*. Campuran yang sama direproduksi dengan semen Portland biasa (ASTM C150 - Tipe I) sebagai pembanding. Dua ukuran agregat maksimum yaitu 10 dan 20 mm digunakan dalam penelitian ini. *Drying shrinkage* diukur selama 180 hari setelah 7 hari perawatan dalam air. Kisaran variasi suhu lingkungan (luar ruangan) adalah dari - 4 hingga +39°C dan kelembapan relatif berkisar antara 15 hingga 60%. Hasilnya dibandingkan dengan spesimen yang disimpan dalam *shrinkage chamber*, dengan suhu 21°C dan kelembapan relatif 35%. Hasilnya menunjukkan bahwa, karena sifat regangan penyusutan yang tidak dapat dipulihkan, penurunan suhu lingkungan dan peningkatan kelembapan atmosfer atau kelembapan relatif tidak akan membalikkan regangan susut. Penting untuk mengetahui total regangan akumulasi akhir ketika berhadapan dengan variasi suhu lingkungan. Karakteristik *drying shrinkage* untuk beton yang dibuat dengan semen Tipe IL ternyata serupa dengan beton yang diproduksi dengan semen Tipe I.

Penelitian Yuvaraj dan Irshad (2015) membahas tentang analisis numerik pengaruh beban berjalan pada perkerasan kaku dan membandingkan dengan pengaruh beban statis. Penelitian ini mencari defleksi dan tekanan beton yang dibebani beban statis dan dinamis di posisi tengah bentang beton, sisi sudut beton, dan sisi tepi beton. Dimisalkan ukuran pelat 4,8 x 4,8 m, kecepatan kendaraan 100 km/jam, dan berat ban 2000 kg. Didapatkan defleksi yang terbesar terjadi pada sisi sudut, dan defleksi akibat beban dinamis lebih besar dibandingkan defleksi akibat beban statis. Nilai tekanan yang terjadi akibat beban statis lebih besar dibandingkan akibat beban dinamis.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Lokasi penelitian berada di Jalan Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan. Lokasi penelitian berdekatan dengan *Exit Toll* Kotabaru. Waktu penelitian dilaksanakan selama 76 hari dimulai pada tanggal 11 Juni 2023 dan selesai pada tanggal 26 Agustus 2023. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



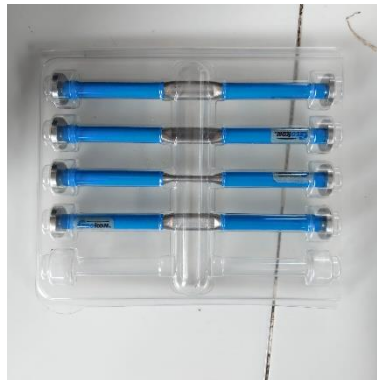
Gambar 3.1. Lokasi penelitian. (Sumber: Google Earth)

### 3.2. Peralatan Penelitian

Terdapat beberapa alat yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

#### 3.2.1. *Vibrating Wire Strain Gauge*

*Vibrating Wire Strain Gauge* (VWSG) adalah alat yang digunakan untuk mengukur regangan dan suhu internal pada struktur beton. *Strain gauge* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Geokon 4200 *Series Concrete Strain Gauge*. Dimana *strain gauge* ini memiliki deskripsi panjang 153 mm, memiliki kemampuan untuk mendeteksi regangan hingga  $3000\mu\epsilon$  dengan akurasi sekitar  $\pm 0,5\%$ , dan dapat mendeteksi suhu dengan rentang  $-20^{\circ}\text{C}$  sampai  $80^{\circ}\text{C}$ . *Strain gauge* ini nantinya akan ditanam pada benda uji guna membantu mendeteksi regangan dan suhu internal yang terjadi pada benda uji. *Strain gauge* yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.3 di bawah ini

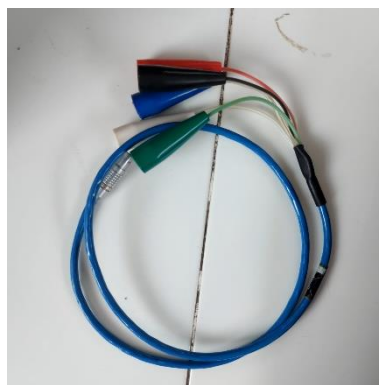


Gambar 3.2. *Vibrating wire strain gauge*.

*Vibrating Wire Strain Gauge* ini dihubungkan ke kabel sepanjang 3 meter. Dan selanjutnya ada *connector* yang berfungsi untuk menghubungkan kabel ke *readout* sehingga hasil regangan dari *Vibrating Wire Strain Gauge* dapat terbaca oleh alat *readout*.

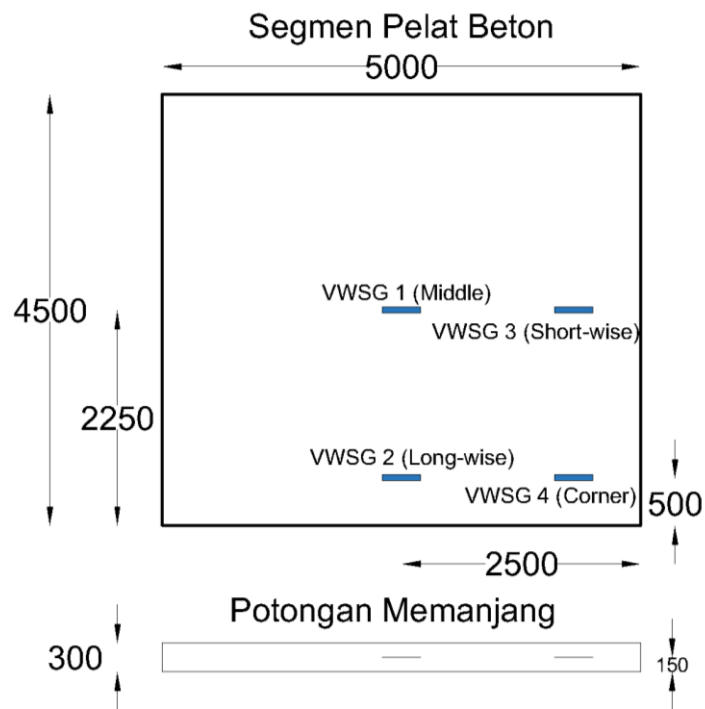


Gambar 3.3. Kabel VWSG.



Gambar 3.4. *Connector*.

Ada 4 buah *strain gauge* yang digunakan dalam penelitian ini. SG (*Strain Gauge*) 1 diletakkan di tengah (*middle*), SG 2 diletakkan di sisi panjang (*long-wise*), SG 3 diletakkan di sisi pendek (*short-wise*), dan SG diletakkan pada ujung (*corner*) dari *rigid pavement*. Semua *strain gauge* diposisikan pada setengah dari tebal *rigid pavement*. Posisi *strain gauge* diilustrasikan pada Gambar 3.5 di bawah ini.



Gambar 3.5. Penempatan *strain gauge*.

### 3.2.2. *Vibrating Wire Readout*

*Vibrating wire readout* digunakan untuk membaca hasil regangan dan temperatur internal yang dihasilkan oleh *vibrating wire strain gauge*. *Readout* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Geokon GK-404 *vibrating wire readout*.



Gambar 3.6. *Vibrating wire readout*.

Tabel 3.1 Pengaturan *Readout* GK-404.

Posisi	A	B	C	D	E	F
Digunakan dalam Geokon Tipe:	Semua	4300x 4400 4500 4600 4700 4800 4900	4000	4200	4100	4300EX
Mode 1: Satuan: Perhitungan:	Dg Digit $F^2 \times 10^{-3}$		$F^2 \times 10^{-3} \times 4,062$	$\mu\epsilon$ $\mu\text{Strain}(\epsilon)$ $F^2 \times 10^{-3} \times 3,304$	$F^2 \times 10^{-3} \times 0,39102$	Dg Digit $F^2 \times 10^{-3}$
Mode 2: Satuan: Perhitungan:	Hz Hertz F=Frekuensi dalam Hertz					
Mode 3: Satuan: Perhitungan:	$\mu\text{S}$ $\mu\text{Sec}$ T=Periode (1/F) dalam $\mu\text{Sec}$					
Frekuensi (Hz)	450-6000	1500-3500	450-1200		1500-3500	2500-6000

Pengaturan untuk Geokon GK-404 *Vibrating Wire Readout* pada penelitian ini

- *Readout* diatur pada posisi D, karena *strain gauge* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan model Geokon 4200 *Series Concrete Strain Gauge*
- Mode yang digunakan adalah mode 1, dikarenakan data yang diinginkan dalam bentuk microstrain dengan satuan  $\mu\epsilon$

### 3.2.3. HTC

Alat ini berfungsi untuk mengukur temperatur sekitar (*ambient temperature*) dan kelembapan relatif (*relative humidity*).



Gambar 3.7. HTC.

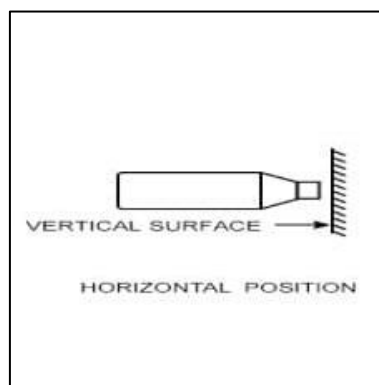
### 3.2.4. *Hammer Test*

*Hammer test* digunakan dalam penelitian ini untuk mengetahui kekuatan beton tanpa merusak beton tersebut.



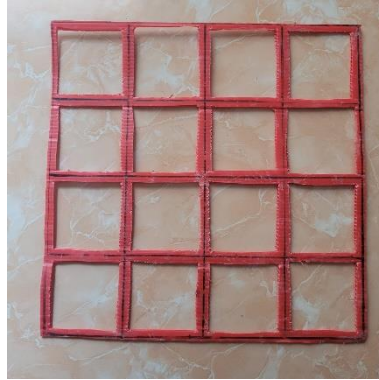
Gambar 3.8. *Hammer test*.

Dalam pengujian, *hammer test* diposisikan secara *horizontal* untuk mengukur sisi depan dari *rigid pavement* karena permukaan sisi depan lebih halus dan datar dibandingkan sisi atas. Cara pengambilan data *hammer test* ialah dengan membuat 16 grid yang masing-masing berukuran 7,5cm x 7,5cm, setelah itu dilakukan pengujian pada 12 titik yang berbeda dan dilakukan secara acak, setelah itu konversi nilai yang terdapat di pembacaan *hammer test* dengan menggunakan kurva yang ada di Gambar 3.13. Pada grafik, skala yang di bawah merupakan rentang angka yang didapatkan pada pembacaan *hammer test*. Cara pembacaannya adalah dengan menarik garis vertikal dari sumbu horizontal ke kurva A, kemudian tarik garis horizontal dan didapatkan nilai kuat tekan, dan data tersebut akan dirata-rata.

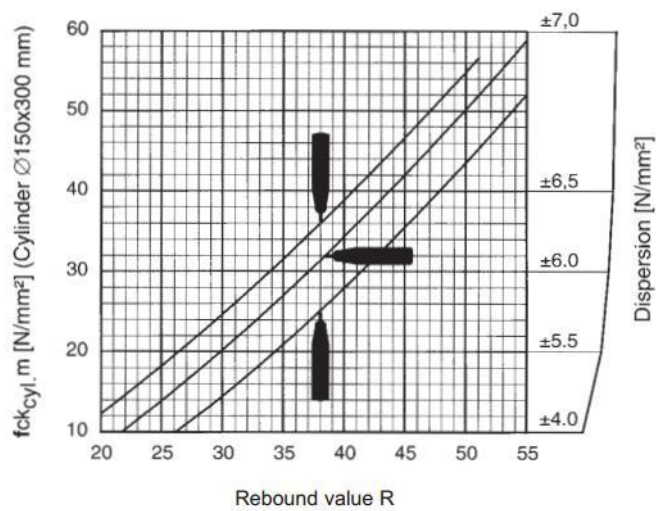


Gambar 3.9. Posisi pengujian *hammer test*.





Gambar 3.10. Grid pengujian *hammer test*.



Gambar 3.11. Grafik nilai konversi angka pantul *hammer test*.  
(Sumber: afdconsultants.com)

### 3.3. Data Penelitian

Dalam pengambilan data regangan dan suhu internal beton, temperatur sekitar, dan kelembapan relatif ditentukan dalam interval seperti Tabel 3.1:

Tabel 3.2. Jadwal Pembacaan VWSG

Hari ke-	Dibaca 1 x setiap-
15-21	1 hari
28-90	1 minggu

Untuk pengambilan data pengujian *Hammer Test*, dilakukan saat beton berusia 14, 28, 56, dan 90 hari.

Perhitungan volume kendaraan yang melewati pelat dilakukan setiap jam selama 24 jam. Dan setiap 2 jam sekali, dilakukan pengambilan data strain beton dan yang nantinya akan kedua data tersebut dihubungkan untuk mencari korelasi antara beban kendaraan dengan regangan yang terjadi.

### 3.4. Analisis Data Penelitian

Pada penelitian ini penulis melakukan analisis nilai regangan yang terjadi pada benda uji berdasarkan hasil pengujian dengan alat *strain gauge*, guna mengetahui pengaruh suhu sekitar dan kelembapan relatif dan juga pengaruh beban kendaraan terhadap regangan yang terjadi pada *rigid pavement*.

Data yang sudah didapatkan dari pembacaan VWSG Readout kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai regangan yang sebenarnya dengan rumus sebagai berikut:

$$\mu\epsilon_{\text{true}} = (R_i - R_{i-1})B + (T_i - T_{i-1})(C_1 - C_2)$$

Dimana:

- $\mu\epsilon_{\text{true}}$  : Regangan yang terjadi sebenarnya
- $R_i$  : Regangan pada data ke-i
- $R_{i-1}$  : Regangan pada data ke-i-1
- $B$  : Koefisien kalibrasi VWSG = 0,99
- $T_i$  : Suhu pada data ke-i
- $T_{i-1}$  : Suhu pada data ke-i
- $C_1$  : Koefisien ekspansi VWSG = 12,2
- $C_2$  : Koefisien ekspansi beton = 10,4

Data pengujian kuat tekan dan kuat lentur beton terlebih dulu dilakukan analisis menggunakan kriteria dixon. Analisis kriteria dixon mencakup pengamatan data terpencil (*outlier*) pada sampel dan cara menguji signifikansi statistiknya (ASTM E 178-02). Tahap pertama dalam analisis kriteria dixon adalah urutkan data terlebih dahulu dari yang terkecil ( $X_1$ ) hingga terbesar ( $X_n$ ). Kemudian, lakukan perhitungan berdasarkan Tabel 3.3 disesuaikan dengan jumlah data yang diteliti.

Tabel 3.3. Kriteria *Dixon*.

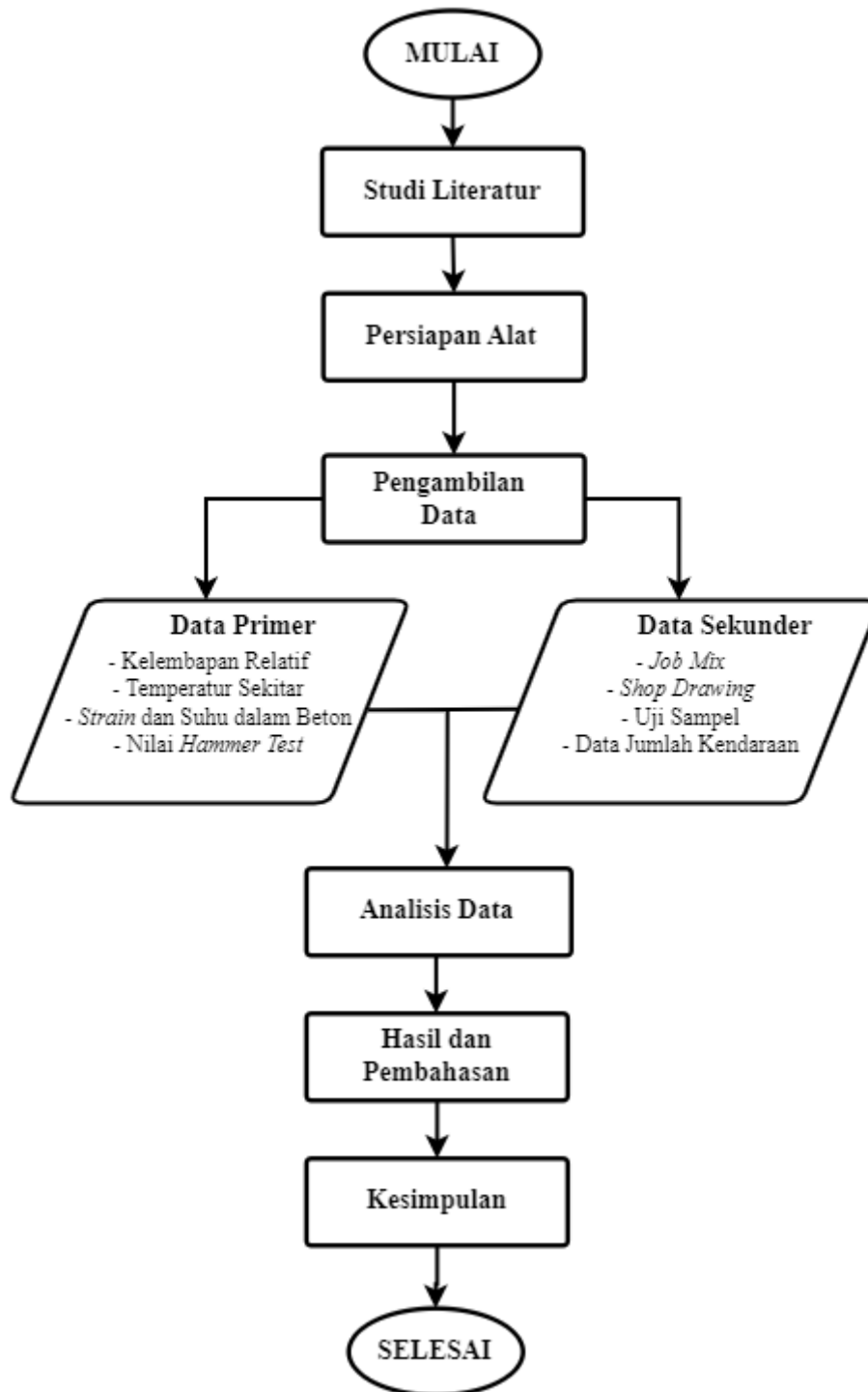
N	Kriteria	Significance Level (One-Sided Test)		
		10 persen	5 persen	1 persen
3	$r_{10} = (X_2 - X_1)/(X_n - X_1)$ jika yang terkecil yang dicurigai $(X_n - X_{n-1})/(X_n - X_1)$ jika yang terbesar yang dicurigai	0.886	0.941	0.988
4		0.679	0.765	0.889
5		0.557	0.642	0.780
6		0.482	0.560	0.698
7		0.434	0.507	0.637
8	$r_{11} = (X_2 - X_1)/(X_{n-1} - X_1)$ jika yang terkecil yang dicurigai $(X_n - X_{n-1})/(X_n - X_2)$ jika yang terbesar yang dicurigai	0.479	0.554	0.683
9		0.441	0.512	0.635
10		0.409	0.477	0.597
11	$r_{21} = (X_3 - X_1)/(X_{n-1} - X_1)$ jika yang terkecil yang dicurigai $(X_n - X_{n-2})/(X_n - X_2)$ jika yang terbesar yang dicurigai	0.517	0.576	0.679
12		0.490	0.546	0.642
13		0.467	0.521	0.615
14	$r_{22} = (X_3 - X_1)/(X_{n-2} - X_1)$ jika yang terkecil yang dicurigai $(X_n - X_{n-2})/(X_n - X_3)$ jika yang terbesar yang dicurigai	0.492	0.546	0.641
15		0.472	0.525	0.616
16		0.454	0.507	0.595
17		0.438	0.490	0.577
18		0.424	0.475	0.561
19		0.412	0.462	0.547
20		0.401	0.450	0.535
21		0.391	0.440	0.524
22		0.382	0.430	0.514
23		0.374	0.421	0.505
24		0.367	0.413	0.497
25		0.360	0.406	0.489
26		0.354	0.399	0.486
27		0.348	0.393	0.475
28		0.342	0.387	0.469
29		0.337	0.381	0.463
30		0.332	0.376	0.457

(Sumber: ASTM E 178-02)

Jika hasil  $D_{hitung} > D_{tabel}$ , maka data tersebut merupakan data terpecil (*outlier*) dan dapat dibuang. Perhitungan akan terus dilakukan sampai  $D_{hitung} < D_{tabel}$ , atau dengan kata lain, sampai tidak ada data yang terpecil.

### 3.5. Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini divisualisasikan dalam diagram alir pada Gambar 3.12



Gambar 3.12. Diagram alir penelitian.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan untuk meneliti perilaku perkerasan kaku dengan beban lalu lintas diperoleh kesimpulan, antara lain:

1. Saat beton berusia 15-20 hari, regangan susut beton berkurang. Hal ini dapat disebabkan adanya penurunan suhu dan juga kenaikan kelembapan relative pada hujan dengan intensitas tinggi, sehingga penguapan air dalam beton berkurang.
2. Regangan terbesar terjadi pada bagian tengah (SG 1) karena daerah tengah memiliki luasan yang berkontak langsung dengan udara sekitar paling luas sehingga suhu dan kelembapan di sekitar bisa masuk ke dalam beton dan mempercepat penguapan air yang ada dalam beton.
3. Setelah perkerasan kaku dilalui kendaraan, regangan susut terus menerus terjadi pada beton, tetapi laju susut yang terjadi semakin berkurang seiring bertambahnya usia beton.
4. Regangan susut yang terjadi pada penelitian ini jika dibandingkan dengan ACI 209R-92 terdapat perbedaan dimana regangan susut menurut ACI 209R-92 lebih rendah 13,5%-26,8% daripada regangan susut yang terjadi pada penelitian kali ini dikarenakan iklim yang berbeda.
5. Perilaku susut memiliki pengaruh lebih besar bagi perkerasan kaku dibandingkan dengan rangkai (*creep*).

## 5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, adapun saran yang dapat disampaikan untuk penyempurnaan dan/atau kelanjutan penelitian dapat dirangkum ke dalam poin-poin berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih mendalam mengenai susut dan rangkai pada perkerasan kaku dalam jangka waktu yang lebih lama.
2. Dalam pengambilan data dengan *hammer test*, pastikan posisinya benar saat pengambilan data, agar data yang dihasilkan lebih akurat.
3. Cari alternatif material lain yang digunakan untuk pemasangan alat *Vibrating Wire Strain Gauge* (VWSG) seperti kayu dsb, agar memudahkan pemasangan alat.

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 209. 1997. *ACI 209R-92: Prediction of Creep, Shrinkage, Temperature Effects in Concrete Structures*. American Concrete Institute.
- Aji, N.F. 2019. *Analisis Pengaruh Beban Dinamis Kendaraan Menggunakan Metode Numeris Cyclic 1D dengan Peletakan Accelerometer di Atas Perkerasan Jalan*. (Tesis). Universitas Negeri Semarang, Semarang <http://lib.unnes.ac.id/>
- Al-Shathr, B., Abdulameer, A., & Al-Attar, T. 2018. The role of ambient temperature variation on drying shrinkage development of self-compacting Portland-limestone cement concrete. *MATEC Web of Conferences* 162. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816202021>.
- Anonim. Manual Desain Perkerasan Jalan No. 02/M/BM/2017. Direktorat Jendral Bina Marga, Jakarta.
- ASTM C143/C143M-10: *Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete*. ASTM International, United States.
- ASTM C496/C496M-11: *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. ASTM International, United States.
- ASTM C805/C805M-13: *Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete*. ASTM International, United States.
- ASTM C39/C39M-20: *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. ASTM International, United States.
- Barde, D., Harinkhede, B., & Gajghate, V. 2023. Evolution of Cement Concrete Road in Highway: A Review. *International Journal of Research Publication and Reviews* 4(5): 3696-3699.
- Brencich, A., Bovolenta, R., Ghiggi, V., Pera, D., & Redaelli, P. (2020). Rebound Hammer Test: An Investigation into Its Reliability in Applications on Concrete Structures. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/6450183>
- Budi, A.S., Safitri, E., & Kuncoro, F. B. 2021. Kajian kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton dengan bahan pengganti semen fly ash kadar 15%, 30%, dan 40% terhadap beton normal. *Jurnal Matriks Teknik Sipil* 9(3). <https://doi.org/10.20961/mateksi.v9i3.54494>.

- Chatarina, N. 2021. Short-term deformation model of high-performance concrete plate based on surrounding temperature. *The Journal of Asian Concrete Federation* 7(2): 63–73. <https://doi.org/10.18702/acf.2021.12.7.2.63>.
- Civeng. 2015. Faktor Besar Susut Pengeringan Pengecoran Beton. Ilmu Teknik Sipil Indonesia. <https://www.ilmutekniksipilindonesia.com/>. Diakses tanggal 22 Juli 2023.
- Diklat Perkerasan Kaku 2017. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Bandung.
- Fadhillah, G. M., Putri, R. A., Tudjono, S., & Priastiwi, Y. A. 2017. Kajian susut beton pada struktur beton bertulang yang cepat bongkar perancah studi kasus Gedung ICT Center Universitas Diponegoro. *Jurnal Karya Teknik Sipil* 6(2): 214-227.
- Fattouh, M. S., Tayeh, B. A., Agwa, I. S., & Elsayed, E. K. 2023. Improvement in the flexural behaviour of road pavement slab concrete containing steel fibre and silica fume. *Case Studies in Construction Materials*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01720>.
- Gobel, F. M. V. 2017. Nilai kuat tekan beton pada slump beton tertentu. *RADIAL-Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa, dan Teknologi* 5(1).
- Gundaraniya, N. 2019. What Is Road Pavement. <https://civiljungle.com/road-pavement/>. Diakses tanggal 20 Juli 2023.
- Han, Y., Zhang, J., Luosun, Y., & Hao, T. 2014. Effect of internal curing on internal relative humidity and shrinkage of high strength concrete slabs. *Construction and Building Materials*: 61: 41-49. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.060>.
- Hardiyatmo, H. C. 2019. *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah* (3,1). Gadjah Mada University Press, Yogyakarta. 648 hlm.
- Khalawi, G., M. 2012. *Studi Susut Beton Berkinerja Tinggi Tanpa Menggunakan Fly Ash pada Arah Vertikal*. (Skripsi). Universitas Indonesia, Depok. <https://lib.ui.ac.id/>.
- Mishra, G. 2021. Rebound Hammer Test on Concrete-Principle, Procedure, Advantages & Disadvantages. <https://theconstructor.org/concrete/rebound-hammer-test-concrete-ndt/2837/>. Diakses pada 8 Agustus 2023.
- Mohebbi, A., Haber, Graybeal, B. 2019. Evaluation of AASHTO Provisions for Creep and Shrinkage of Prestressed UHPC Girders. International Interactive Symposium on Ultra-high-Performance Concrete 2(1). <https://doi.org/10.21838/uhpc.9706>
- Nashruddin, A.Z., Buana, C. 2021. Analisis Penilaian Kerusakan Jalan dan Perbaikan Perkerasan pada Jalan Raya Roomo, Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik. *Jurnal Teknik ITS* 10(1): 27-34.



- Pd T-14-2003 Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen. Direktorat Jendral Bina Marga, Jakarta.
- Priana, S. E. 2018. Analisa faktor penyebab kerusakan jalan (studi kasus ruas jalan lingkaran utara Kota Padang Panjang). *Rang Teknik Journal 1*(1): 86-89. <https://doi.org/10.31869/rtj.v1i1.609>.
- Qomar, S. 2009. Pengaruh Rangkak Terhadap Kompatibilitas Dimensional antara Beton dan Mortar Repair dengan Bahan Tambah Serat Ban. (Skripsi). Universitas Sebelas Maret, Surakarta. [Library.uns.ac.id](http://library.uns.ac.id).
- Samuri. 2010. *Pengaruh Rangkak Terhadap Kompatibilitas Dimensional antara Beton Normal dan Repair Material dengan Bahan Tambah Polymer*. (Skripsi). Universitas Sebelas Maret, Surakarta. [Library.uns.ac.id](http://library.uns.ac.id).
- Sidabutar, R. A., Saragi, Y. R., Pasaribu, H., Pardede, M., & Hutabarat, T. 2021. Evaluasi Perkerasan Jalan Kaku (Rigid Pavement) Pada Jalan SM Raja Medan Dengan Metode Bina Marga. *Jurnal Visi Eksakta (JVIEKS) 2*(2): 215-224. <https://ejournal.uhn.ac.id/index.php/eksakta>.
- SNI 03-4430:1997 *Metode pengujian elemen struktur beton dengan alat palu beton tipe N dan NR*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- SNI 1972:2008 *Cara Uji Slump Beton*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- SNI 03-1974-2011 *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- SNI 4431:2011 *Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Susanto, M., Putra, S., Diana, I. W. 2016. Identifikasi Jenis Kerusakan Pada Perkerasan Kaku (Studi Kasus Ruas Jalan Soekarno-Hatta Bandar Lampung). *JRSDD 4*(3): 523-530.
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022 Tentang Perubahan Kedua Atas Undang-undang Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Wu, Y., Li, Q., Li, G., Tang, S., Niu, M., Wu, Y. 2021. Effect of Naphthalene-Based Superplasticizer and Polycarboxylic Acid Superplasticizer on the Properties of Sulfoaluminate Cement. *Materials 14*(662). <https://doi.org/10.3390/ma14030662>
- Yudaningrum, F., Ikhwanudin. 2017. Identifikasi Jenis Kerusakan Jalan (Studi Kasus Ruas Jalan Kedungmundu-Meteseh). *TEKNIKA 12*(2): 16-23. <http://dx.doi.org/10.26623/teknika.v12i2.638>.
- Yuvaraj, B., Irshad, M. 2015. Effect of dynamic load on rigid pavement. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) 4*(3). <http://dx.doi.org/10.17577/IJERTV4IS030387>.

Zhang, P., Li, Q., Chen, Y., Shi, Y., & Ling, Y. F. 2019. Durability of steel fiber-reinforced concrete containing SiO<sub>2</sub> nanoparticles. *Materials* 12(13). <https://doi.org/10.3390/ma12132184>.