

**SUSUT PADA KOLOM BETON K250
DENGAN SEMEN PCC**

(Skripsi)

Oleh

**FATWA ADITYA PUTRA
1915011027**



**PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2024**

**SUSUT PADA KOLOM BETON K250
DENGAN SEMEN PCC**

Oleh

FATWA ADITYA PUTRA

Skripsi

**Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2024**

ABSTRACT

SHRINKAGE ON K250 CONCRETE COLUMNS WITH PCC CEMENT

By

FATWA ADITYA PUTRA

A concrete column is defined as a vertical structural element designed to withstand compressive axial loads and ensure the stability and integrity of the building. Column deformation and shrinkage need to be understood because column destruction can result in the destruction of the entire building. This research aims to determine the deformation behavior that occurs in concrete columns with portland composite cement. The research was carried out experimentally at the University of Lampung. 3 column as the specimens dimensions of 15 cm × 15 cm × 60 cm and K-250 compressive strength concrete. Mix design method based on SNI 03-2834-2000. The research used a VWESG (Vibrating Wire Embedded Strain Gauge) as measuring device which was embedded in each specimens. Observations made for 90 days and dixon criteria for data processing. Divided into 3 phases, namely the first 24 hour phase with 15 minute intervals, the curing phase for 7 days, then the post-curing phase for up to 90 days. In the first 24 hour phase, the fluctuating concrete shrinkage deformation due to the hydration process that occurs start from the concrete being poured. The temperature in concrete and the maximum shrinkage in this phase are 38°C, 5.67E-05 (m/m) respectively. During the curing period, concrete is fluctuating deformation caused by temperature changes in the concrete, surrounding air temperature and relative humidity. After curing period, the concrete shrinks slowly due to evaporation in the concrete mixture and the hardening process. In this phase, temperature in the concrete is stable state with a range of 26.1 – 30.3 °C, slowly the concrete temperature begins to align with the air temperature around of concrete. Observations showed that the hydration process continued at a slower rate along with the evaporation of water in the concrete influenced by relative humidity and ambient temperature, so that the concrete behavior showed relatively stable shrinkage up to 90 days.

Keywords : hydration of cement, concrete, columns, shrinkage of concrete, deformation.

ABSTRAK

SUSUT PADA KOLOM BETON K250 DENGAN SEMEN PCC

Oleh

FATWA ADITYA PUTRA

Kolom beton didefinisikan sebagai suatu elemen struktur vertikal yang dirancang untuk menahan beban aksial tekan serta memastikan stabilitas dan integritas bangunan secara keseluruhan. Deformasi kembang susut kolom perlu difahami karena kehancuran kolom dapat berakibat kehancuran seluruh bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku deformasi yang terjadi pada kolom beton dengan semen PCC. Penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Benda uji menggunakan 3 sampel kolom berukuran $15\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 60\text{ cm}$ dengan kuat tekan beton K-250. Metode *mix design* berdasarkan SNI 03-2834-2000. Penelitian menggunakan alat pengukur VWESG (*Vibrating Wire Embedded Strain Gauge*) yang ditanamkan pada setiap benda uji. Pengamatan dilakukan selama 90 hari, dengan pengolahan data menggunakan *dixon criteria*. Pengolahan data dibagi menjadi 3 fase, yaitu fase 24 jam pertama dengan interval 15 menit sekali, fase *curing* selama 7 hari, kemudian fase setelah curing sampai dengan 90 hari. Pada fase 24 jam pertama, deformasi beton fluktuatif mengembang dan menyusut akibat proses hidrasi yang terjadi sejak awal beton dituangkan. Suhu dalam beton dan penyusutan maksimal pada fase ini berturut turut 38°C , $5,67\text{E-}05\text{ (m/m)}$. Pada fase *curing*, beton mengalami deformasi secara fluktuatif dengan diiringi perubahan suhu dalam beton serta dipengaruhi perubahan suhu udara sekitar dan kelembapan relatif selama masa curing. Fase setelah curing, beton mengalami penyusutan secara perlahan dikarenakan adanya penguapan di dalam campuran beton serta berlangsungnya proses pengerasan pada beton. Pada fase ini suhu dalam beton pada keadaan stabil dengan rentang $26,1 - 30,3^{\circ}\text{C}$. Secara perlahan suhu dalam beton mulai selaras dengan suhu udara di sekitar beton. Hasil pengamatan menunjukkan proses hidrasi tetap berlangsung dengan tingkat kelajuan yang lebih lambat seiring dengan penguapan air di dalam beton yang dipengaruhi kelembapan relatif dan suhu sekitar, sehingga perilaku beton menunjukkan penyusutan yang relatif stabil sampai dengan 90 hari.

Kata kunci : hidrasi semen, beton, kolom, kembang susut beton, deformasi.

Judul Skripsi

SUSUT PADA KOLOM BETON K250 DENGAN SEMEN PCC

Nama Mahasiswa

Fatwa Aditya Putra

Nomor Pokok Mahasiswa

1915011027

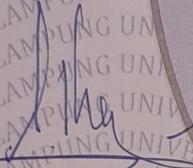
Program Studi

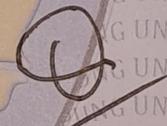
S1 Teknik Sipil

Fakultas

Teknik

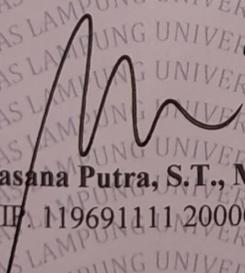


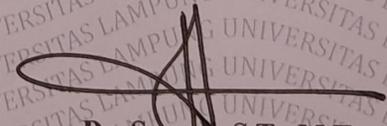

Prof. Dr. Ir. C. Niken D.W.S.B.U, M.T.
NIP. 19580613 198403 2 003


Bayzoni, M.T.
NIP. 19730514 200003 1 001

Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil


Sasana Putra, S.T., M.T.
NIP. 119691111 200003 1 002


Dr. Suyah, S.T., M.T.
NIP. 19741225 200501 1 003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

Prof. Dr. Ir. C. Niken D.W.S.B.U, M.T.

Sekretaris

Bayzoni, S.T., M.T.

Penguji

Bukan Pembimbing

Andi Kusnadi, M.T., M.M.

2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi **12 Agustus 2024**



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Fatwa Aditya Putra
Nomor Pokok Mahasiswa : 1915011027
Prodi/Jurusan : S1/Teknik Sipil
Fakultas : Teknik Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa dalam skripsi yang berjudul "*SUSUT PADA KOLOM BETON K250 DENGAN SEMEN PCC*" 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 tertulis diacu dalam naskah ini dan disebut dalam daftar pustaka. Ide penelitian didapatkan dari pembimbing I, oleh karena itu baik atas data penelitian berada pada Saya dan Pembimbing I, Prof. Dr. Ir. C. Niken D.W.S.B.U. M.T.

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

Bandar Lampung, 12 Agustus 2024

Penulis



FATWA ADITYA PUTRA
NPM. 1915011027

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Ambarawa, Kecamatan Ambarawa, Kabupaten Pringsewu, pada tanggal 28 Februari 2001, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Putra dari (Alm) Bapak Ahmad Miladi dan Ibu Tusriyah. Penulis memiliki dua orang kakak perempuan dan laki-laki yang bernama Melina Aditya Putri dan Ibnu Aditya Faisal. Penulis memulai jenjang pendidikan tingkat Sekolah Dasar di SD Muhammadiyah Ambarawa 2007-2013. Dilanjutkan pendidikan tingkat pertama di SMP Negeri 1 Ambarawa pada tahun 2013-2016. Setelah tamat SMP penulis melanjutkan Pendidikan Tingkat menengah atas di SMA Negeri 1 Pringsewu pada tahun 2016 - 2019.

Pada tahun 2019 penulis diterima di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama menjadi seorang mahasiswa, penulis berperan aktif di dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung (HIMATEKS UNILA) sebagai anggota Departemen Kerohanian dan Keolahragaan Periode 2020-2022. Penulis telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) periode I di Desa Karangsari, Kecamatan Pagelaran, Kabupaten Pringsewu selama 40 hari, Januari – Februari 2022. Di tahun yang sama, tepatnya di bulan Juni – September penulis juga telah melakukan Kerja Praktik (KP) di Proyek Pembangunan Gedung Serbaguna Universitas Mitra Indonesia selama 3 bulan. Penulis mengambil tugas akhir dengan judul “SUSUT PADA KOLOM BETON K250 DENGAN SEMEN PCC”.

MOTTO

“Jangan pernah menyesali segala perbuatan baikmu, tapi sesalilah mengapa tidak pernah berbuat baik”
(Penulis)

“Barangsiapa mengerjakan kebaikan seberat zarah pun, niscaya dia akan melihat balasannya”
(QS. Az-Zalzalah: 7)

“Mereka merencanakan dan Allah (Tuhan) merencanakan. Sesungguhnya, Allah (Tuhan) adalah perencana terbaik”
(QS. Al-Anfal:30)

“Allah senantiasa menolong seorang hamba selama hamba tersebut menolong saudaranya yang lain”
(HR Muslim)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirobbil alamin

Puji dan syukur tercurahkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala Rahmat dan Karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu

Alaihi Wasallam.

Kupersembahkan karya ini kepada:

Orang Tua dan Kedua Kakak Tercinta

Yang senantiasa memberikan yang terbaik, dan melantunkan do'a yang selalu menyertaiku. Kuucapkan terima kasih sebesar-besarnya karena telah mendidik dan membesarkanku dengan cara yang dipenuhi kasih sayang, dukungan dan pengorbanan yang belum bisa terbalaskan.

**Ibu Prof. Dr. Ir. C. Niken D.W.S.B.U, M.T., Bapak Bayzoni, M.T.,
Bapak Andi Kusnadi, M.T.,M.M.**

Sebagai dosen pembimbing dan penguji yang telah memberikan ilmu dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan hidayah-Nya skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi dengan judul “Susut pada Kolom Beton K250 dengan Semen PCC” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Sipil di Universitas Lampung. terselesaikannya Skripsi ini tentu tidak terlepas dari dukungan dan motivasi dari berbagai pihak yang telah banyak membantu dan memberi masukan serta arahan dalam penyusunan Skripsi ini. Untuk itu, Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
2. Bapak Sasana Putra, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Bapak Suyadi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
4. Bapak Sasana Putra, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan arahan, masukan, dan motivasi kepada penulis selama perkuliahan.
5. Ibu Prof. Dr. Ir. C. Niken D.W.S.B.U, M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama atas kesediannya untuk memberikan bimbingan, saran, dan motivasi dalam proses penyelesaian skripsi ini.
6. Bapak Bayzoni, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Kedua yang selalu memberikan masukan dan saran kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Bapak Andi Kusnadi, M.T., M.M., selaku Dosen Penguji. Terima kasih untuk masukan dan saran dalam penyempurnaan skripsi ini.

8. Seluruh Dosen Program Studi S1 Teknik Sipil atas semua ilmu pengetahuan dan didikannya selama masa perkuliahan.
9. Seluruh staf dan karyawan Program Studi S1 Teknik Sipil atas segala bantuannya dalam hal administrasi.
10. Alm Bapak Ahmad Miladi selaku ayah kandung penulis.
11. Bapak Wasimin dan Ibu Tusriyah selaku orang tua penulis, serta Melina Aditya Putri dan Ibnu Aditya Faisal selaku kakak penulis yang selalu mendoakan, memotivasi, memberikan dukungan dalam semua hal dan selalu memberikan segala hal demi kelancaran dan keberhasilan penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan perkuliahan dengan baik.
12. Teman-teman penelitian Aji Saputra, Aditya Wisnu Nugraha, Anggita Yuliana Lestari, Doni Irawan terima kasih atas kebersamaannya, bantuan, dan dukungan selama proses penelitian penulis.
13. Teman-teman SOLID 19. menjadi keluarga selama mengarungi kehidupan kampus dan memberikan banyak pengalaman serta kenangan selama perkuliahan.
14. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, terima kasih atas semua bantuan dan dukungannya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Besar harapan penulis agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca, khususnya bagi penulis dalam mengembangkan dan mengamalkan ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung,
Penulis,

2024

Fatwa Aditya Putra

**SUSUT PADA KOLOM BETON K250
DENGAN SEMEN PCC**

(Skripsi)

Oleh

**FATWA ADITYA PUTRA
1915011027**



**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2024**

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	v
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Sistematika Penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Penelitian Terdahulu	6
2.2. Beton	8
2.3. Kuat Tekan Beton	13
2.4. Uji <i>Slump</i> Beton.....	14
2.5. Susut Beton (<i>Shrinkage in Concrete</i>)	14
III. METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1. Umum	16
3.2. Persiapan Alat dan Bahan	19
3.3. Pemeriksaan Material.....	23
3.4. Hasil Uji <i>Properties</i> Material.....	24
3.5. Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>).....	25
3.6. Pembuatan Benda Uji	25
3.7. Uji <i>Slump</i>	26
3.8. Perawatan (<i>curing</i>) Benda Uji	27
3.9. Uji Kuat Tekan.....	28
3.10. Metode Pengamatan Susut, Temperatur dan RH Sekeliling Sampel....	28
3.11. Analisis Hasil Penelitian	29
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1. Umum	31

4.2. Keleccakan Beton (<i>Workability</i>).....	31
4.3. Benda Uji	33
4.4. Hasil Pengujian Kuat Tekan	39
4.5. Hasil Penelitian Susut Kolom Beton.....	41
V. KESIMPULAN DAN SARAN	64
5.1. Kesimpulan	64
5.2. Saran	65

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Ilustrasi benda uji kolom dengan VWESG	16
2. Diagram alir penelitian.....	18
3. <i>Vibrating wire embeded strain gauge</i>	19
4. <i>Vibrating wire readout</i>	20
5. Termometer <i>hygrometer</i>	20
6. Ilustrasi penempatan benda uji selama <i>curing</i>	27
7. Nilai <i>slump</i> sampel kuat tekan menggunakan CTM	32
8. Nilai <i>slump</i> sampel beton	32
9. Ilustrasi pemasangan EVWSG pada sampel	34
10. Posisi EVWSG dalam bekisting.....	34
11. Pemasangan EVWSG pada bekisting	35
12. Bekisting kolom terisi adukan beton	36
13. Penutup <i>styrofoam</i> permukaan beton	36
14. Sampel beton kolom setelah 24 jam	37
15. Proses <i>curing</i> sampel beton kolom	37
16. Peletakan benda uji setelah <i>curing</i>	38
17. Pengamatan sampel menggunakan alat <i>read out</i>	38
18. Sampel uji tekan CTM	39
19. <i>Outlying</i> kuat tekan menggunakan CTM	40
20. Kuat tekan CTM.....	41
21. Susut beton pada 24 jam pertama.....	42
22. Suhu dalam beton pada 24 jam pertama	43

23. <i>Outlying shrinkage</i> pada 24 jam pertama.....	43
24. <i>Outlying</i> data suhu dalam beton pada 24 jam pertama	44
25. Susut rata-rata pada sampel kolom beton.....	44
26. Suhu dalam rata-rata pada sampel.....	45
27. Hidrasi alite atau C ₃ S (Paulini, 1990)	47
28. Pertumbuhan produk hidrasi dan pengurangan pori	48
29. Susut pada kolom saat <i>curing</i>	49
30. Suhu udara lingkungan dan suhu dalam beton saat <i>curing</i>	50
31. <i>Outlying</i> data susut saat <i>curing</i>	50
32. <i>Outlying</i> suhu dalam beton saat <i>curing</i>	51
33. Susut rata-rata sampel beton saat <i>curing</i>	51
34. Suhu rata-rata dalam beton, kelembapan relatif, suhu air dan udara sekitar beton saat masa <i>curing</i>	52
35. Susut pada kolom beton setelah <i>curing</i>	54
36. Suhu rata-rata dalam beton, kelembapan relatif, dan udara sekitar beton setelah masa <i>curing</i>	54
37. <i>Outlying</i> susut pada sampel.....	55
38. <i>Outlying</i> suhu dalam beton sampel	55
39. Susut sampel beton rata-rata setelah masa <i>curing</i> atau perawatan beton.....	56
40. Suhu rata-rata dalam beton, kelembapan relatif, dan udara sekitar beton setelah masa <i>curing</i>	56
41. Perbandingan hasil pengamatan susut pada beton dengan ACI 209R-92.....	59
42. <i>Creep coeficient</i> berdasarkan ACI 209R-92	61
43. <i>Creep strain</i> berdasarkan ACI 209R.....	62
44. Perbandingan susut hasil pengamatan dengan ACI 209R	62

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Persentase lolos ayakan untuk agregat menurut ASTM C33.....	11
2. Senyawa utama dalam semen <i>portland</i>	12
3. Nilai <i>slump</i> yang dianjurkan berdasarkan SNI 7656-2012	14
4. Hasil uji material penyusun beton.....	24
5. Jumlah benda uji silinder dan kode benda uji	25
6. Kode benda uji susut kolom.....	26
7. <i>Interval</i> waktu pengamatan benda uji	28
8. Hasil uji tekan sampel beton menggunakan CTM	40
9. Nilai kritis <i>dixon criteria</i>	40
10. Faktor koreksi <i>creep</i> karena <i>curing</i>	60

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan infrastruktur yang cukup pesat di Indonesia menjadi tantangan bagi dunia konstruksi untuk mewujudkan suatu infrastruktur yang aman dan nyaman. Pertimbangan penting dalam pembangunan konstruksi diantaranya ketahanan serta keawetan bahan konstruksi. Salah satu bahan bangunan yang paling banyak digunakan yaitu beton. Beton merupakan suatu campuran homogen antara agregat halus, agregat kasar, air dan semen *portland*. Campuran beton tersebut, dapat ditambah dengan bahan aditif apabila diperlukan untuk tujuan tertentu (Mooy dkk., 2017). Kualitas dari beton tidak hanya terpengaruh oleh material penyusun beton, namun proses pembuatannya juga mempengaruhi kualitas beton. Semua proses perlu diperhatikan guna mencapai kualitas yang disyaratkan (Mulyati & Arkis, 2020; Supriani & Islam, 2019). Selama proses hidrasi beton memerlukan perawatan (*curing*) agar ikatan silika dapat tumbuh optimum dengan demikian kekuatan beton rencana terpenuhi. *Curing* sekaligus mencegah keretakan yang disebabkan oleh kehilangan air terlalu cepat dalam beton dimana air tersebut untuk proses hidrasi (Iskandar, 2020; Supriani & Islam, 2019).

Kehilangan atau penguapan air yang terjadi terlalu cepat akan mengganggu proses hidrasi sehingga mempengaruhi kualitas kuat tekan beton yang menjadi salah satu tolok ukur atau parameter kualitas beton (Li dkk., 2020).

Salah satu mekanisme yang terjadi pada beton adalah deformasi. Keandalan struktur tidak hanya dari kekuatannya, namun juga kemampuannya untuk

berdeformasi tanpa retak. Bila beton tidak mampu berdeformasi, beton akan retak. Deformasi merupakan peristiwa yang dapat terlihat nyata pada beton ditandai dengan adanya perubahan bentuk atau lendutan, ukuran ataupun volume. Deformasi penting untuk dipahami guna menjadi suatu gambaran yang dibutuhkan dalam suatu perancangann yang efektif dan efisien (Niken dkk., 2017). Deformasi terjadi sejak beton dituang, karena penyusutan volume dari material baku menjadi produk hidrasi. Susut beton merupakan salah satu deformasi yang dapat mempengaruhi kualitas beton serta dapat mengakibatkan terjadinya keretakan pada beton (Soliyansyah dkk., 2017).

Kolom merupakan suatu elemen struktural vertikal yang dirancang untuk menahan beban aksial tekan dan juga momen lentur. SNI 2874:2019 mendefinisikan kolom sebagai elemen struktur yang terutama mengalami beban aksial tekan dan lentur minor. Kolom didefinisikan memiliki dimensi tinggi yang lebih besar dibandingkan dimensi lateralnya. Kolom berfungsi untuk mendistribusikan beban dari struktur atas ke pondasi, serta memastikan stabilitas dan integritas bangunan secara keseluruhan.

Penelitian mengenai susut pada beton arah horizontal atau balok beton dan vertikal telah dilakukan (Khalawi, 2012; Niken dkk., 2017). Susut horizontal melambangkan deformasi pada balok, susut vertikal menggambarkan deformasi pada kolom. Penampang kolom mengalami beban beton sendiri lebih banyak dikarenakan volume kearah vertikal lebih besar dibanding volume kearah horizontal. Deformasi kolom perlu difahami karena kehancuran kolom dapat berakibat kehancuran seluruh bangunan.

Produksi semen OPC (*Ordinary Portland Cement*) sekarang dibatasi untuk mencegah pemanasan global, sebagai penggantinya produksi semen PCC (*Portland Composite Cement*) ditingkatkan. Semen PCC (*Portland Composite Cement*) merupakan material konstruksi yang termasuk dalam daftar Produk Hijau *Green Listing* Indonesia yang dikeluarkan oleh *Green Building Council* Indonesia (Yanita, 2020).

Semen PCC (*Portland Composite Cement*) adalah perekat hidrolis yang dihasilkan dari penggilingan bersama-sama klinker semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik. Bahan anorganik diantaranya yaitu terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), *pozolan*, silikat, batu kapur, dengan kadar total 6% - 35% dari massa semen PCC (BSN, 7064:2014).

Berdasarkan latar belakang tersebut, untuk mengetahui susut beton yang terjadi pada penampang kolom dengan arah vertikal perlu dilakukan penelitian. Maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Susut pada Kolom Beton K-250 dengan Semen PCC”. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan mutu beton K-250. Hal tersebut berdasarkan pelaksanaan kerja praktik yang dilakukan penulis pada pembangunan gedung serbaguna Universitas Mitra Indonesia menggunakan mutu beton K-250, serta digunakan pada proyek pembangunan gedung lain.

1.2. Rumusan Masalah

Dari uraian pada latar belakang tersebut, didapat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana susut beton pada sampel kolom?
2. Faktor apa saja yang mempengaruhi susut beton sampel kolom?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengamati susut beton K-250 yang terjadi pada kolom dengan semen PCC.

1.4. Batasan Masalah

Dengan mempertimbangkan luasnya permasalahan yang timbul dalam penelitian, maka perlu adanya batasan masalah dalam melakukan penelitian.

Untuk itu penulis memberikan batasan-batasan masalah dalam penelitian sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di Lingkungan Teknik Sipil Universitas Lampung.
2. Pengujian susut menggunakan 3 sampel kolom beton dengan ukuran 150 mm × 150 mm × 600 mm dengan menanamkan satu buah *vibrating wire embeded strain gauge* (VWESG) pada setiap sampel.
3. Pengujian kuat tekan beton menggunakan 9 silinder beton ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Uji kuat tekan beton dilakukan pada umur 28 hari, 56 hari dan 90 hari dengan masing-masing 3 sampel.
4. Pengujian menggunakan mutu beton K-250 dan semen PCC merek Tiga Roda.
5. Perencanaan campuran beton berdasarkan SNI 2834-2000.
6. Perawatan beton dilakukan berdasarkan SNI 2847-2019, dengan menggunakan metode perawatan basah atau terendam air selama 7 hari.
7. Pengamatan susut beton dilakukan mulai umur beton 1 sampai 90 hari.
8. Pengujian dilakukan di Laboratoium Bahan dan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Lampung.

1.5. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori-teori yang mendasari serta menunjang penelitian yang akan dilakukan dan diperoleh dari berbagai sumber.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan gambaran umum lokasi penelitian, material, perlakuan, diagram alir, dan metodologi yang digunakan dalam penelitian untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang pembahasan hasil pengamatan, pengumpulan, pengolahan, analisis data dan hasil yang diperoleh dengan teori dan literatur.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil-hasil yang didapat dari pengolahan data dan memberikan saran untuk hasil tersebut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Dalam melakukan penelitian perlu merujuk pada penelitian-penelitian sebelumnya yang telah dilaksanakan. Penelitian terdahulu yang mendukung penelitian ini, antara lain:

2.1.1. Niken dkk., (2017)

a. Judul Penelitian:

“Long Term Deformation of Beams and Columns of High Performance Concrete”.

b. Tujuan Penelitian:

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan deformasi antara kolom dan balok beton kinerja tinggi serta penyebabnya.

c. Hasil Penelitian:

Hasil dari penelitian tersebut didapatkan bahwa deformasi selama fase *autogeneous* menjadi pembeda antara perilaku deformasi jangka panjang kolom dan balok. Pada kolom terjadi pemuaian secara tidak normal yang disebabkan oleh tekanan berat sendiri kolom selama reaksi kimia baru timbul penyusutan. Hal tersebut tidak terjadi pada balok. Rentang umur 1 sampai 200 hari perilaku deformasi balok memiliki pola yang mirip dengan perilaku deformasi kolom yaitu tingginya laju deformasi. Kemudian pada umur 200 sampai 410 kolom mengalami perlambatan laju deformasi. Balok pada umur 410 hari mengalami laju deformasi jangka panjang yang lebih tinggi (64%) dibandingkan pada kolom dengan umur yang sama.

2.1.2. Aulia & Akoeb., (2013)

a. Judul Penelitian:

“Pengaruh Variasi Penambahan Air dan Semen pada Suatu Perencanaan Campuran (*Mix Design*) terhadap Susut Beton dan Kuat Tarik Belah Beton (Suatu penelitian peton dengan Fas 0,3; 0,4 dan 0,5)”.

b. Tujuan Penelitian:

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan air dan semen terhadap susut beton dan kuat tarik belah beton.

c. Hasil Penelitian:

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai susut beton akan meningkat dengan penambahan air dan semen, sedangkan peningkatan ketahanan retak beton yang optimal dicapai dengan penambahan 20% air dan semen untuk setiap fas. Hasil analisis varians menunjukkan bahwa penambahan kadar air dan semen berpengaruh terhadap kuat tarik beton. Persentase penambahan air dan semen yang semakin besar mengakibatkan regangan susut ultimate beton juga semakin besar. Dengan adanya penambahan air dan semen mengakibatkan waktu ikat awal beton menjadi lebih lama serta meningkatkan nilai absorpsi beton, sehingga nilai permeabilitas beton dapat meningkat.

2.1.3. Krisnamurti dkk., (2022)

a. Judul Penelitian:

“Perbandingan Mix Design SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012 Ditinjau dari Proses Pengecoran Beton Normal”.

b. Tujuan Penelitian:

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan proses pengecoran berdasarkan *mix design* dengan waktu durasi selama 11 menit guna

mendapatkan kuat tekan yang optimum. SNI 7656:2012 dan SNI 03-2834-2000.

c. Hasil Penelitian:

Berdasarkan penelitian, SNI 7656:2012 menghasilkan kuat tekan optimum beton menggunakan metode (*dry mixing*) dengan proses pengecoran kerikil dan semen selama 4 menit, dilanjutkan dengan menambahkan pasir selama 4 menit dan diakhiri dengan menambahkan air selama 3 menit.

2.2. Beton

Beton adalah campuran agregat halus, agregat kasar, semen serta air dan bahan penyusun beton tercampur rata dalam proporsi tertentu, sehingga mengalami hidrasi dan campuran tersebut berkumpul serta mengeras untuk membentuk sebuah bahan yang bersifat serupa bebatuan (Tjokrodimulyo, 2009).

Berdasarkan SNI 03 2847 2013 beton merupakan campuran semen *portland* atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar serta air dengan atau tanpa bahan tambah sehingga terbentuk suatu masa yang padat.

2.2.1. Bahan Penyusun Beton

Secara umum, mutu beton sangat tergantung pada jenis serta karakteristik dari material yang digunakan. Bahan penyusun beton terdiri atas pasta, agregat dan bahan tambahan (*admixture*). Pasta merupakan campuran antara air dengan semen yang berfungsi sebagai perekat antar agregat pada beton. Berdasarkan besarnya, agregat dibagi menjadi agregat kasar dan agregat halus.

2.2.1.1. Air

Air merupakan salah satu bahan penting dalam penyusun beton, guna memicu semen mengalami proses kimiawi dan mempermudah pekerjaan beton. Pada pekerjaan beton, kualitas air perlu diperhatikan untuk menghindari penurunan kualitas beton akibat tercemar oleh senyawa berbahaya seperti minyak, garam, atau senyawa kimia lainnya.

Adapun syarat air menurut SNI 03-2847-2002 sebagai berikut:

- a. Air pencampur harus bersih dan terbebas dari bahan-bahan merusak seperti oli, asam, garam, bahan organik, alkali atau bahan lainya yang merugikan terhadap tulangan atau beton.
- b. Air pencampur untuk beton prategang atau beton yang didalamnya terdapat logam alumunium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat tidak boleh melebihi kandungan ion klorida yang diizinkan pada point 6.4 (1) SNI 03-2847-2002.
- c. Air yang tidak dapat diminum tidak dapat digunakan pada beton, kecuali memenuhi ketentuan berikut:
 - (1) Pemilihan proporsi campuran beton berdasarkan pada campuran beton dengan sumber air yang sama.
 - (2) Hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat menggunakan air tersebut memiliki kekuatan mendekati 90% terhadap kuat benda uji dengan menggunakan air yang dapat diminum.

2.2.1.2. Agregat Kasar

Berdasarkan SNI 1969-2008 agregat kasar merupakan kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batu atau batu pecah yang didapat dari industri pemecah batu dengan ukuran butir 4,75 mm. Agregat kasar berfungsi sebagai penyusun kekuatan dalam beton dan diartikan sebagai agregat yang tertinggal pada saringan uji 4.75 mm (ASTM C33).

Menurut SII 0052-80 syarat mutu agregat kasar adalah sebagai berikut:

- a. Agregat kasar harus memiliki sifat kekal dengan artian tidak pecah atau hancur dengan pengaruh terik matahari dan hujan.
- b. Modulus halus butir antara 6.0 sampai 7.1.
- c. Kadar lumpur atau pada bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074 mm) maksimal 1%.
- d. Uji *Los Angeles* guna menentukan kekerasan butir dengan keausan maksimal 50% untuk beton mutu rendah (≤ 20 MPa) pada 500 putaran.
- e. Tidak mengandung zat reaktif alkali.
- f. Agregat memenuhi persyaratan untuk susunan gradasi agregat

2.2.1.3. Agregat Halus

Menurut SNI 1970:2008 agregat halus merupakan butiran yang melewati saringan 4,75 mm (No. 4) dapat berupa pasir alami, serta pecahan dari batuan alami. Agregat halus tidak diperbolehkan mengandung zat-zat organik serta mengandung lumpur melebihi 5% yang dapat merusak beton.

Berdasarkan SNI 03 6821 2002 persyaratan agregat halus secara umum adalah sebagai berikut

- a. Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras
- b. Butir-butir halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur karena faktor cuaca. Sifat kekal agregat halus dapat diuji dengan larutan jenuh garam. Jika dipakai natrium sulfat maksimum bagian yang hancur adalah 10% berat.
- c. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering), jika kadar lumpurnya melebihi 5% maka pasir harus di cuci.

Susunan besar butir-butir agregat halus memiliki batas-batas pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Persentase lolos ayakan untuk agregat menurut ASTM C33

Ukuran lubang ayakan (mm)	Persen lolos komulatif
9,50	100
4,75	95 – 100
2,36	80 – 100
1,19	50 – 85
0,595	25 – 60
0,30	10 – 30
0,15	2 - 10

2.2.1.4. Semen

Salah satu komponen penting pada pembuatan beton adalah semen. Menurut SNI 7064:2014 semen portland komposit merupakan bahan pengikat hidrolis yang dihasilkan dari penggilingan terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan non-organik. Perekat *non-organik* hidrolis dihasilkan oleh *klinker* yang dihaluskan serta terdiri dari silikat-silikat kalsium dan memiliki sifat hidrolis dengan bahan tambahan gips. Adapun fungsi dari semen yaitu sebagai perekat butir-butir agregat guna terjadinya suatu masa yang padat atau solid serta dapat mengisi rongga pada butiran-butiran agregat.

Pembuatan semen *portland* melalui beberapa proses untuk menghasilkan butiran yang sangat halus serta memiliki sifat *adhesif* maupun *kohesif*. Dengan membakar karbonat atau batu gamping yang memiliki kandungan *aluminium* berdasarkan perbandingan tertentu, kemudian dicampur serta dibakar dengan suhu 1400° C sampai 1500° C dengan hasil yang disebut *klinker*. Setelah tahapan tersebut kemudian ditambah gips atau kalsium sulfat (CaSO₄) sekitar 2-4 % dengan tujuan sebagai bahan tambah pada kontrol waktu pengikatan.

Beberapa senyawa kimia yang terdapat pada semen portland memiliki sifat masing-masing, diantaranya yaitu *Trikalsium Silikat (C₃S)*, *Dikalsium Silikat (C₂S)*, *Trikalsium Aluminat (C₃A)*, *Tetra Aluminoferrit (C₄AF)*. Beberapa senyawa tersebut dikenal dengan Komposisi Bogue pada Tabel 2.

Tabel 2. Senyawa utama dalam semen *portland*

Nama Oksida Utama	Rumus Empiris	Rumus Oksida	Notasi Pendek	Kadar Rata-rata (%)
Trikalsium Silikat	Ca ₃ SiO ₅	3CaO SiO ₂	C ₃ S	50
Dikalsium Silikat	Ca ₂ SiO ₄	2CaO SiO ₂	C ₂ S	25
Trikalsium Aluminat	Ca ₃ Al ₂ O ₆	3CaO Al ₂ O ₃	C ₂ A	12
Tetrakalsium Aluminoferrit	Ca ₃ SiO ₅	4CaO Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	C ₄ AF	8
Kalsium Sulfat Dihidrat (Gypsum)		CaSO ₄ 2H ₂ O	CSH ₂	3,5

Type semen berdasarkan ASTM (*American Standar for Testing Material*) dibagi menjadi lima, diantaranya sebagai berikut:

- a. **Type I:** Jenis semen yang digunakan pada konstruksi dengan tidak memerlukan persyaratan khusus pada panas hidrasi serta kuat tekan awal dan tidak terpapar cuaca ekstrim atau pada lingkungan korosif.
- b. **Type II:** Jenis semen dengan karakteristik panas hidrasi serta kecepatan penyebaran panas yang rendah. Digunakan pada konstruksi dengan ketahanan sulfat (lokasi tanah dan air dengan kandungan sulfat 0,10 sampai 0,20 %) seperti pada bangunan pantai dan tanah rawa.
- c. **Type III:** Jenis semen dengan karakteristik memiliki kuat tekan awal tinggi pada fase awal pengikatan terjadi. Digunakan pada konstruksi yang memerlukan kekuatan tekan awal tinggi seperti pada pembuatan jalan beton, serta pada bangunan air yang tidak memerlukan ketahanan terhadap sulfat.

- d. **Tipe IV:** Jenis semen dengan panas hidrasi yang rendah dan digunakan pada kebutuhan pengecoran yang tidak menimbulkan panas dapat berupa pengecoran cara penyempotan (*setting time* lama).
- e. **Tipe V:** Jenis semen dengan ketahanan sulfat serta menghasilkan panas hidrasi lebih rendah 23%-40% dari semen tipe I. Digunakan pada konstruksi dengan ketahanan sulfat lebih dari 20% seperti konstruksi dalam air, terowongan, pelabuhan serta instalasi limbah pabrik.

2.3. Kuat Tekan Beton

Indikasi dari kualitas beton yang baik berbanding lurus dengan kuat tekan beton itu sendiri. Beton yang baik dapat menahan gaya tekan maksimal sesuai dengan perencanaan dengan permeabilitas rendah serta tahan terhadap pengaruh lingkungan. Kuat tekan beton secara teori diartikan sebagai kemampuan beton dalam menerima gaya tekan persatuan luas dengan persamaan sebagai berikut:

$$f_c' = \frac{F}{A}$$

Keterangan:

- f_c' = Kuat tekan (MPa)
- F = Gaya beban maksimum (N)
- A = Luas bidang permukaan (mm²)

Adapun faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton antara lain:

- a. Faktor air semen (FAS) adalah perbandingan rasio air dengan semen (w/c), semakin sedikit jumlah air maka semakin kecil pula nilai FAS serta menghasilkan kuat tekan beton semakin besar dan sebaliknya.
- b. Kualitas agregat yang digunakan, semakin baik kualitas agregat yang digunakan maka semakin baik juga kuat tekan beton yang dihasilkan.

- c. Perawatan (*curing*), masa perawatan beton bertujuan untuk mengoptimalkan ikatan silika dengan menjaga temperatur serta kelembapan dalam beton.

2.4. Uji *Slump* Beton

Menurut SNI 1972:2008 *slump* adalah penurunan ketinggian yang terjadi pada pusat permukaan beton yang segera dilakukan pengukuran setelah mengangkat cetakan uji *slump*. Uji dilakukan dengan mengisi baja berupa kerucut terpancung atau *slump cone* dengan beton, kemudian *slump cone* diangkat secara perlahan dan diukur ketinggian awal dengan ketinggian runtuh yang terjadi.

Berdasarkan SNI 7656-2012 jika *slump* tidak disyaratkan serta beton dipadatkan dengan digetar, maka dianjurkan dengan rentang nilai *slump* pada Tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 3. Nilai *slump* yang dianjurkan berdasarkan SNI 7656-2012

Tipe konstruksi	<i>Slump</i> (mm)	
	Maksimum	Minimum
Pondasi beton bertulang (dinding dan pondasi telapak)	75	25
Pondasi telapak tanpa tulangan, pondasi tiang pancang, dinding bawah tanah	75	25
Balok dan dinding bertulang	100	25
Kolom bangunan	100	25
Perkerasan dan pelat lantai	75	25
Beton massa	50	25

2.5. Susut Beton (*Shrinkage in Concrete*)

Susut beton dapat terjadi selama proses hidrasi beton, ketika air bercampur dengan semen akan timbul panas dengan ditandai adanya kenaikan suhu dalam beton. Susut beton dapat diartikan adanya perubahan volume beton

dengan berkurangnya kandungan air serta mengecilnya volume beton tersebut yang tidak berhubungan dengan beban.

Ada dua jenis utama susut beton menurut Edward G. Nawi 1990 yaitu:

- a. Susut plastis: Susut ini terjadi selama tahap awal pengecoran beton, ketika air dalam campuran beton mulai menguap dengan cepat. Susut plastis dapat menyebabkan terbentuknya retakan kecil di permukaan beton yang dikenal sebagai retakan susut plastis.
- b. Susut kering: Setelah beton mengeras, proses penyusutan masih terjadi karena kehilangan air secara perlahan. Susut kering dapat menyebabkan terbentuknya retakan yang lebih besar dalam struktur beton jika pergerakan yang terhambat tidak diakomodasi.

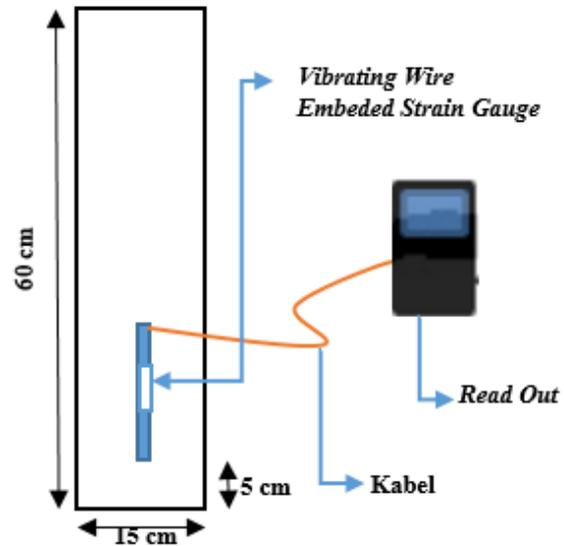
Susut beton dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk perbandingan air-semen, sifat agregat, suhu, kelembapan, dan penggunaan bahan tambahan semen. Kandungan air dalam beton yang tinggi, suhu lingkungan yang tinggi, dan tingkat kelembapan rendah umumnya meningkatkan susut.

Penyusutan beton dapat memiliki konsekuensi negatif, seperti retakan yang tidak diinginkan atau deformasi struktur. Oleh karena itu, penting untuk memperhitungkan susut beton dalam desain dan konstruksi, serta mengambil langkah-langkah yang tepat untuk mengurangi dampaknya, seperti memilih campuran yang sesuai, mengendalikan kondisi pengerasan dan perawatan beton, dan mempertimbangkan penggunaan bahan tambahan untuk mengurangi susut.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Umum

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung menggunakan 3 sampel kolom berukuran 15 cm × 15 cm × 60 cm dengan mutu beton K-250 serta menggunakan semen PCC. Penelitian menggunakan alat pengukur regangan tertanam kawat getar VWESG (*Vibrating Wire Embeded Strain Gauge*) pada setiap benda uji. Penempatan VWESG berada pada 5 cm dari ujung bawah benda uji. Skema dapat dilihat pada Gambar 1.



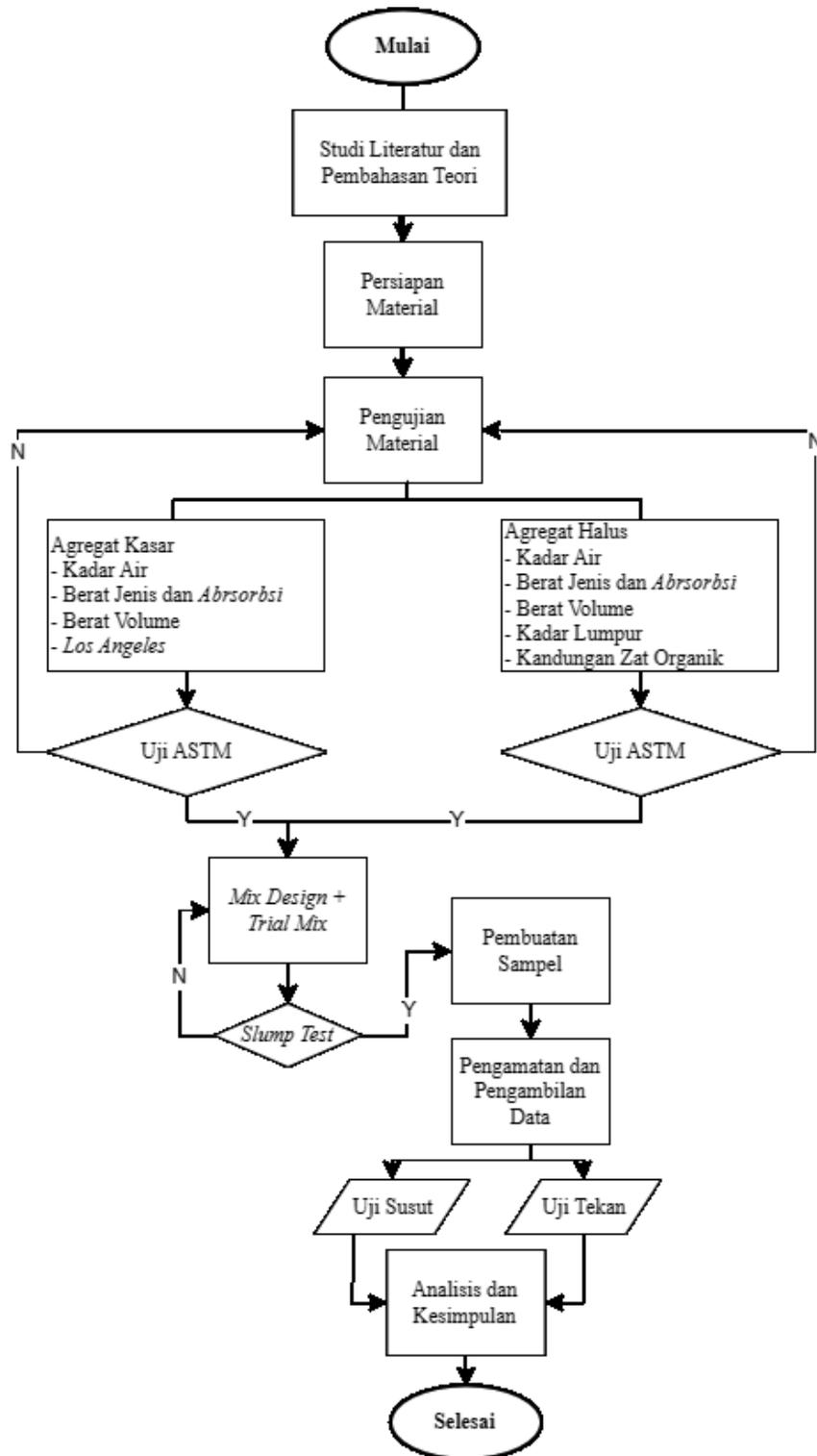
Gambar 1. Ilustrasi benda uji kolom dengan VWESG.

Penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan, diantaranya studi literatur, pengujian material di laboratorium, pengambilan serta analisis data hasil praktikum. Beton yang akan diuji yaitu mutu beton rencana K-250 dengan menggunakan semen PCC (*Portland Composite Cement*) merk Tiga Roda.

Secara garis besar penelitian dilakukan melingkupi proses kegiatan sebagai berikut:

- a. Mempersiapkan material penyusun beton seperti agregat, air dan semen.
- b. Memeriksa *properties* pada material yang akan digunakan diantaranya agregat kasar, agregat halus.
- c. Merencanakan komposisi campuran pada beton berdasarkan *mix design* SNI 03-2834-2000.
- d. Membuat benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm, tinggi 30 cm sebanyak 9 buah untuk uji tekan 28, 56, 90 hari dan sampel kolom susut 15 cm × 15 cm × 60 cm sebanyak 3 buah.
- e. Melakukan perawatan pada beton (*curing*) dengan perendaman.
- f. Melakukan uji kuat tekan pada beton untuk 28, 56 dan 90 hari serta melakukan pengamatan susut selama 90 hari.
- g. Melakukan olah data dan analisa dari hasil percobaan.
- h. Menyimpulkan hasil percobaan.

Diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

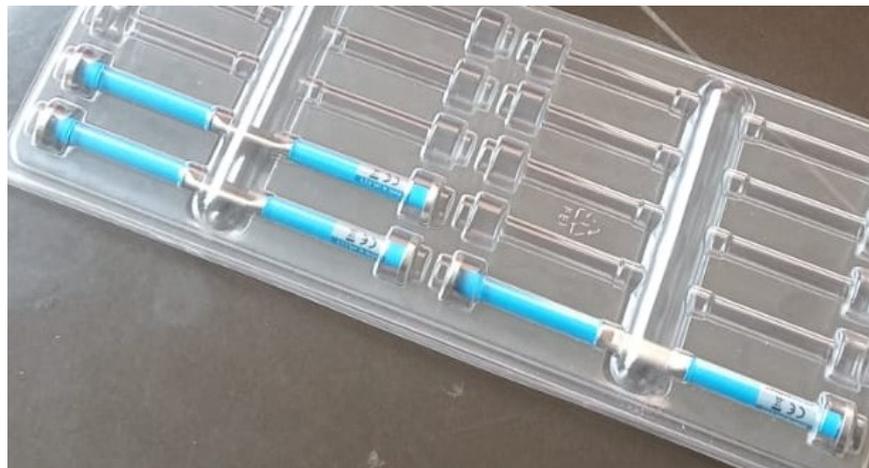
3.2. Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dan bahan dilakukan untuk kelancaran serta mengurangi resiko kegagalan dalam penelitian. Alat dan bahan yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.2.1. Alat

a. VWESG (*Vibrating Wire Embedded Strain Gauge*)

VWESG digunakan sebagai pengukur perubahan regangan terhadap waktu yang dipasang pada setiap spesimen. VWESG mampu mendeteksi regangan hingga $3000 \mu\epsilon$ dengan akurasi sekitar 0,025% dan suhu beton antara -80°C dan 60°C dengan akurasi sekitar 0,5%. VWESG yang digunakan adalah tipe Geokon 4200.



Gambar 3. *Vibrating wire embeded strain gauge.*

b. *Vibrating Wire Readout*

Vibrating wire readout merupakan alat yang digunakan untuk melakukan pembacaan pada kawat getar yang tertanam dalam beton. Pada penelitian ini *readout* yang digunakan yaitu model GK-404.



Gambar 4. *Vibrating wire readout.*

c. *Termometer hygrometer*

Termometer ini digunakan untuk mengukur temperatur dan kelembapan relatif atau *relatif humidity* (RH) pada sekeliling beton.



Gambar 5. *Termometer hygrometer.*

d. *Styrofoam*

Styrofoam terbuat dari jenis busa *polystyrene* serta memiliki sifat kedap air. *Styrofoam* digunakan sebagai penutup benda uji tepat setelah dilakukan pengecoran untuk menghindari penguapan air dan menjaga proses hidrasi pada beton.

e. Timbangan

Timbangan berfungsi untuk mengukur berat masing-masing material penyusun beton sesuai dengan komposisi yang direncanakan. Timbangan yang digunakan yaitu timbangan manual dengan kapasitas maksimum 50 kg digunakan untuk mengukur berat beton (timbangan besar) dan timbangan elektronik dengan kapasitas maksimum 20 kg digunakan untuk mengukur berat bahan campuran beton.

f. Oven

Oven adalah alat yang digunakan untuk mengeringkan material yang akan diuji. Oven yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kapasitas suhu maksimum 110° C dan memiliki daya sebesar 2800 watt.

g. Satu set saringan

Alat ini digunakan untuk mengukur gradasi agregat sehingga dapat ditentukan nilai modulus kehalusan butir agregat halus dan agregat kasar. Pada penelitian ini gradasi agregat halus dan agregat kasar berdasarkan standar ASTM C-33.

h. Satu set alat *slump test*

Kerucut abrams biasa digunakan dengan tilam pelat baja dan tongkat baja untuk mengetahui kelecakan (*workability*) adukan dengan percobaan *slump test*. Untuk ukuran kerucut mempunyai diameter 100 mm di bagian atas dan 200 mm di bagian bawah, dan tinggi 300 mm. Sedangkan ukuran tongkat baja dengan diameter 16 mm dan panjang 60 cm.

i. Meteran/penggaris

Alat ini digunakan untuk mengukur tinggi *slump test* pada beton segar.

j. Cetakan benda uji

Cetakan benda uji adalah alat yang digunakan untuk mencetak beton sesuai dengan bentuk dan kebutuhan. Cetakan benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah berbentuk kolom berukuran 15 cm × 15 cm × 60 cm serta sampel silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

k. *Concrete mixer*

Concrete mixer adalah alat yang digunakan untuk mencampur semua material. Kapasitas maksimal *concrete mixer* yang digunakan pada penelitian ini yaitu 0,125 m³ yang memiliki kecepatan 20-30 rpm

l. Bejana silinder

Bejana silinder adalah alat yang digunakan untuk pengujian berat volume pada agregat halus dan kasar. Terdapat 2 bejana yang digunakan yaitu bejana yang berkapasitas 5 liter digunakan untuk pengujian berat volume agregat halus dan bejana yang berkapasitas 10 liter digunakan untuk pengujian berat volume agregat kasar.

m. Bak perendam

Bak perendam adalah alat yang digunakan saat proses perawatan beton. Hal ini dilakukan untuk menjaga kelembapan beton agar beton tidak cepat kehilangan air.

n. *Compression testing machine* (CTM)

Compression testing machine (CTM) adalah alat yang digunakan untuk menguji kuat tekan beton. Alat *compression testing machine* (CTM) yang digunakan memiliki kapasitas beban maksimal 3000 kN dengan merek CONTROLS.

o. Alat bantu

Alat bantu adalah alat yang digunakan untuk membantu penelitian, seperti tongkat pemadat, sekop, sendok semen, ember, *container*, *trolley*, *stopwatch*, gelas ukur, dan alat tulis.

3.2.2. Bahan

a. Semen PCC (*Portland Composite Cement*)

Semen berfungsi sebagai pengikat butiran agregat dan mengisi ruang antar agregat sehingga terbentuk massa yang padat. Semen yang digunakan dalam pembuatan beton ini adalah semen jenis PCC dengan merek Tiga Roda.

b. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Air yang digunakan harus bersih, tidak mengandung minyak, lumpur, garam dan benda-benda lainnya yang dapat dilihat secara kasat mata sehingga dapat larut dan merusak beton.

c. Agregat Halus

Agregat halus atau pasir yang digunakan pada penelitian berasal dari Gunung Sugih, Lampung Tengah. Pengujian dilakukan untuk memenuhi persyaratan campuran beton diantaranya uji kadar air, berat jenis dan penyerapan, kadar lumpur, berat volume, kandungan zat organik.

d. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian sudah memenuhi standar ASTM dalam beberapa pengujian seperti kadar air, berat jenis dan penyerapan, dan berat volume. Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini yaitu berasal dari PT. Sumber Batu Berkah, Lampung Selatan.

3.3 Pemeriksaan Material

Pada penelitian ini dilakukan pemeriksaan material pada agregat kasar, agregat halus dan semen. Data yang didapat dari hasil pemeriksaan material tersebut digunakan untuk perhitungan *mix design* beton.

Pada agregat halus dilakukan pengujian, sebagai berikut:

1. Kadar air agregat halus (ASTM C 566-78)
2. Berat jenis dan penyerapan agregat halus (ASTM C 128-98)
3. Kadar lumpur agregat halus (ASTM C 117-80)
4. Kandungan zat organis agregat halus (ASTM C 40-92)
5. Berat volume agregat halus (ASTM C 29)

Pada agregat kasar dilakukan pengujian, sebagai berikut:

1. Kadar air agregat kasar (ASTM C 556-78)
2. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar (ASTM C 127-88).
3. Berat volume agregat kasar (ASTM C 29)
4. Uji *Los Angeles* (ASTM C 131-03)

3.4 Hasil Uji *Properties Material*

Pengujian pada material bertujuan untuk mengetahui data fisik material yang akan digunakan pada campuran beton. Adapun pengujian material diantaranya kadar air, berat jenis, penyerapan, berat volume, kadar lumpur, dan kandungan zat organik. Data yang diperoleh kemudian digunakan untuk perhitungan *mix design*. Hasil pengujian dan perhitungan material dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil uji material penyusun beton

Jenis pengujian	Material yang dipakai	Nilai hasil pengujian	Standar ASTM
Kadar Air	Agregat Halus	0,88 %	0 – 1 %
	Agregat Kasar	2,35 %	0 – 3 %
Berat Jenis	Agregat Halus	2,50 %	2,0 – 2,9
	Agregat Kasar	2,66 %	2,5 – 2,9
	Semen PCC	3,05 %	3,0 – 3,2
Penyerapan	Agregat Halus	1,03 %	1 – 3 %
	Agregat Kasar	2,22 %	1 – 3 %
Berat Volume	Agregat Halus	1535 kg/m ³	-
	Agregat Kasar	1537,90 kg/m ³	-
<i>Los Angeles</i>	100 putaran	3%	-
	500 putaran	15%	-
Kadar Lumpur	Agregat Halus	2,67 %	< 5 %
Kandungan Zat Organik	Agregat Halus	Nomor warna 2	< Nomor warna 3

Berdasarkan data yang diperoleh pada Tabel 4, maka dapat dikatakan bahwa material penyusun beton yang digunakan telah memenuhi standar ASTM sehingga dapat digunakan sebagai campuran beton.

3.5 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Terdapat empat penelitian terdahulu yang telah melakukan perbandingan *mix design* antara SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656-2012 diantaranya Hunggurami dkk (2017), Santoso dkk (2017), Kuntari dkk (2019) dan Krisnamurti dkk (2022). Tiga diantaranya mengatakan bahwa SNI 03-2834-2000 menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan SNI 7656-2012. Berdasarkan hal tersebut maka perencanaan campuran beton pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-2834-2000 dengan kuat beton yang direncanakan adalah kuat tekan ($f'c$) = 20,75 MPa atau K-250.

3.6 Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang akan dibuat berupa silinder dengan ukuran 15 cm × 15 cm × 30 cm sebanyak 9 sampel untuk uji kuat tekan pada umur 28, 56 dan 90 hari dan sampel kolom dengan ukuran 15 cm × 15 cm × 60 cm, terdiri dari 3 sampel pengamatan susut yang akan dilakukan selama 90 hari. Kode benda uji silinder dan susut kolom dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Jumlah benda uji silinder dan kode benda uji

Umur	Kode Benda Uji		
Kuat Tekan Umur 28 Hari	T.A1	T.B1	T.C1
Kuat Tekan Umur 56 Hari	T.A2	T.B2	T.C2
Kuat Tekan Umur 90 Hari	T.A3	T.B3	T.C3
Jumlah	3	3	3

Tabel 6. Kode benda uji susut kolom

Sampel	Kode Benda Uji
1	KS. 1
2	KS. 2
3	KS. 3

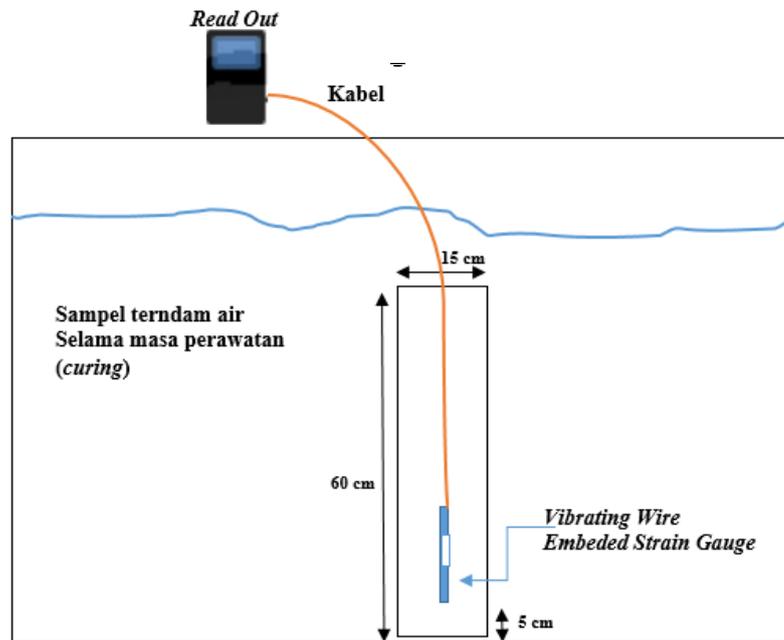
3.7 Uji *Slump*

Pada saat beton dalam kondisi segar diuji kelecakannya dengan menggunakan *slump test*. Berdasarkan SNI 1972:2008 tahapan pelaksanaan pengujian nilai *slump test* sebagai berikut:

1. Membasahi cetakan dan meletakan di atas permukaan datar, tidak menyerap air, kaku serta lembap. Menahan cetakan secara kokoh selama pengisian. Dilakukan pengisian dalam tiga lapis, dengan setiap lapis diperkirakan sepertiga dari volume cetakan.
2. Memadatkan setiap lapisan dengan 25 tusukan menggunakan batang pemadat secara merata di atas permukaan untuk setiap lapisan.
3. Mengisi dan memadatkan lapisan atas, adukan beton dlebihkan di atas cetakan sebelum pemadatan. Bila beton turun di bawah cetakan setelah pemadatan, tambahkan adukan kemudian ratakan permukaan beton dengan cara menggelindingkan batang pemadat di atasnya. Cetakan diangkat dengan arah vertikal secara hati-hati berjarak 300 mm dalam waktu 2-5 detik tanpa gerakan lateral atau torsional. Langkah pengujian dari awal pengisian hingga pelepasan cetakan dilakukan tanpa gangguan dalam waktu kurang dari 2,5 menit.
4. Mengukur nilai *slump* dengan menentukan perbedaan vertikal antara bagian atas cetakan dengan bagian pusat permukaan atas beton setelah beton menunjukkan penurunan pada permukaan.

3.8 Perawatan (*curing*) Benda Uji

Setelah pengecoran dilakukan, *styrofoam* digunakan untuk menutup benda uji untuk menghindari penguapan air dan menjaga suhu beton seperti apa adanya. Setelah 24 jam di dalam cetakan, benda uji dibuka dan dilakukan perawatan (*curing*) dengan cara direndam dalam bak air tawar sampai beton berumur 7 hari dengan posisi vertikal. Ilustrasi penempatan benda uji selama perawatan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Ilustrasi penempatan benda uji selama *curing*.

Perawatan pada benda uji dilakukan untuk menjaga proses hidrasi dapat berlangsung dengan baik sehingga mencegah terjadinya retak pada beton serta untuk mendapatkan mutu beton yang optimal. Benda uji ditempatkan pada ruangan terlindung dan sebaiknya benda uji tidak berpindah ruangan sampai penelitian selesai dilakukan agar tidak terjadi perbedaan temperatur dan RH sekeliling sampel secara signifikan serta menghindari hal yang tidak diinginkan terjadi pada benda uji.

3.9 Uji Kuat Tekan

Uji kuat tekan pada penelitian ini dilakukan sebagai indikator untuk mengetahui kekuatan sampel beton sesuai dengan kekuatan rencana. Uji kuat tekan dilakukan dengan metode CTM (*Compression Testing Machine*). CTM merupakan metode uji kuat tekan *destructive* yang mana sampel beton dibebani sampai mengalami kehancuran untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton. Sembilan sampel silinder ukuran 15 cm × 30 cm digunakan pada uji kuat tekan menggunakan CTM (*Compression Testing Machine*).

3.10 Metode Pengamatan Susut, Temperatur dan RH Sekeliling Sampel

Pengamatan pada penelitian ini dilakukan setelah pengecoran dengan ketentuan pembacaan seperti pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. *Interval* waktu pengamatan benda uji

Hari ke-	Dibaca 1 × setiap-
1	15 menit
2	1 Jam
3-7	2 Jam
8-14	12 Jam
15-21	24 Jam
22-28	48 Jam
29-56	84 Jam
57-90	168 jam

Pengamatan susut beton dapat dilihat pada alat *readout* yang tersambung dengan VWESG yang tertanam pada beton. Sedangkan untuk pembacaan temperatur dan RH di sekeliling beton menggunakan alat termometer digital dan *hygrometer*.

3.11 Analisis Hasil Penelitian

Data dari tiga sampel benda uji dianalisis menggunakan kriteria *dixon* sebagai praktik standar untuk menangani pengamatan data pencilan. Kriteria *dixon* dapat digunakan untuk pengujian yang jumlah sampelnya mulai dari 3 buah. ASTM E 178-02 telah menyebutkan bahwa kriteria *dixon*, yang sepenuhnya didasarkan pada rasio perbedaan antara pengamatan dapat digunakan pada kasus dimana ingin menghindari perhitungan deviasi standar atau dimana penilaian cepat diperlukan (Niken dkk., 2017).

Tahap awal dilakukan dengan menyusun data dari urutan terendah (X_1) hingga tertinggi (X_n). Disesuaikan berdasarkan jumlah data, pada uji *dixon* kumpulan data dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu kelompok pertama untuk jumlah data 3-7, kelompok kedua jumlah data 8-12 dan kelompok terakhir jumlah data 13-40. Masing-masing kelompok dibagi lagi dalam dua bagian, yaitu bagian data terendah dan tertinggi. Persamaan kriteria *dixon* untuk 3-7 sampel dengan $X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_n$ adalah sebagai berikut:

- Kriteria Dixon data terendah : $D_{3-7} = (X_2 - X_1) / (X_n - X_1)$
(3.1)
- Kriteria Dixon data tertinggi : $D_{3-7} = (X_n - X_{n-1}) / (X_n - X_1)$ (3.2)

Jika $D_{hitung} > D_{tabel}$, maka data tersebut merupakan pencilan dan dapat dibuang. Hal tersebut dilakukan terhadap data selanjutnya hingga tidak ada lagi data pencilan.

Setelah pengamatan dilakukan, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan dan analisis data sebagai berikut:

- Perhitungan kuat tekan beton pada benda uji silinder dilakukan saat umur beton 28, 56 dan 90 hari menggunakan kriteria *dixon*.

- Pengamatan susut yang telah dilakukan disajikan dalam bentuk grafik sampai dengan umur beton 90 hari.
- Penganalisisan data hasil pembacaan temperatur dan RH pada sekeliling beton.
- Penganalisisan data pengamatan benda uji dan dibandingkan dengan data temperatur dan RH sekeliling beton.
- Perbandingan dengan penelitian sebelumnya “*Long-term Shrinkage Empirical Model of High Performance Concrete in Humid Tropical Weather*” dan ACI 209R.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang susut pada kolom beton yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengamatan susut dibagi menjadi 3 bagian yaitu, 24 jam pertama, saat masa *curing* selama 7 hari dan setelah masa *curing* sampai dengan 90 hari.
 - a. Pada 24 jam pertama, beton menunjukkan perilaku mengembang dan menyusut akibat dari proses kimia hidrasi semen dan air setelah dilakukan pengecoran. Suhu dalam beton secara bertahap mulai menunjukkan kenaikan sampai dengan 38,5 °C ketika beton mencapai umur 8,5 jam. Susut yang terjadi pada sampel beton memiliki pola yang selaras dengan perubahan suhu dalam beton saat 24 jam pertama.
 - b. Pada saat masa *curing*, beton mengalami perilaku penyusutan dan mengembang yang fluktuatif selaras dengan perubahan suhu sekitar beton yang mempengaruhi suhu dalam beton melalui air perendam. Secara keseluruhan beton lebih dominan mengalami perilaku mengembang akibat dari perendaman yang dilakukan sehingga beton menyerap air. Suhu rata-rata dalam beton selama masa *curing* berkisar 27,41 °C dengan suhu rata-rata air perendam dan sekitar beton berkisar 27,43 °C - 28,02 °C.
 - c. Setelah masa *curing* sampai dengan 90 hari umur beton, penyusutan secara perlahan terus berlangsung selaras dengan berjalannya waktu. Pola perubahan suhu dalam beton setelah masa *curing* pada

penelitian ini secara perlahan mulai menyesuaikan dengan suhu sekitar beton. Proses hidrasi pada tahap ini tetap berlangsung dengan tingkat kelajuan yang lebih lambat seiring dengan penguapan air di dalam beton yang dipengaruhi kelembapan relatif dan suhu sekitar, sehingga perilaku beton menunjukkan penyusutan yang relatif stabil sampai dengan 90 hari umur beton sesuai dengan tujuan dari penelitian ini. Dibandingkan dengan prediksi ACI 209R-92, nilai susut pada penelitian ini lebih besar 22,83% karena adanya perbedaan iklim, suhu, kelembapan dan kandungan material penyusun beton di Indonesia dengan Negara yang mengeluarkan pedoman ACI yaitu Amerika Serikat.

2. Susut pada beton dapat dipengaruhi oleh temperatur dan kelembapan relatif di sekitar beton. Dibuktikan dengan laju penyusutan yang lebih rendah ketika kelembapan relatif disekitar beton tinggi dan sebaliknya. Kondisi lingkungan di sekitar beton dan perlakuan beton pada fase awal perkerasan merupakan saat yang penting dan rentan mendapatkan pengaruh eksternal seperti suhu dan kelembapan relatif, sehingga dapat meminimalisir perilaku kembang susut yang berlebihan serta menghindari terjadinya keretakan pada beton.

5.2. Saran

1. Kontrol suhu dan kelembapan pada pengujian perlu dijaga serta diperhatikan sehingga hasil lebih akurat dan menghindari adanya penyimpangan yang terjadi akibat dari kondisi yang berbeda.
2. Penyesuaian alat perlu lebih diperhatikan seperti kalibrasi alat sebelum penggunaan, sehingga alat dapat lebih akurat dan sesuai dengan standar.
3. Perletakan sampel pengamatan perlu diperhatikan keamanannya sehingga terhindar dari faktor eksternal yang dapat mempengaruhi akurasi hasil pengamatan.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI. 1992. ACI 209R-92. *Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures*. American Concrete Institute.
- ASTM E 178-02. 2002. *Standard Practice for Dealing with Outlying Observation*. American Society for Testing and Materials.
- Aulia, T. B. & M. A. Akoeb. 2013. *Pengaruh Variasi Penambahan Air dan Semen pada Suatu Perencanaan Campuran (Mix Design) terhadap Susut Beton dan Kuat Tarik Belah Beton (Suatu Penelitian Beton dengan FAS 0,3 0,4 dan 0,5)*. Jurnal Teknik Sipil.
- Badan Standarisasi Nasional. 2000. *SNI 03-2834-2000 Tata Cara Pembuatan Beton Normal*. Badan Standarisasi Nasional
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *SNI 03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *SNI 6821-2002 Spesifikasi Agregat Ringan untuk Batu Cetak Beton Pasangan Dinding*. Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. *SNI 1969-2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. *SNI 1970-2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. *SNI 1972-2008 Metode Pengujian Slump Beton*. Badan Standarisasi Nasional
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *SNI 7656-2012 Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa*. Badan Standarisasi Nasional
- Badan Standarisasi Nasional. 20014. *SNI 7064-2014 Semen Portland Komposit*. Badan Standarisasi Nasional.

- Depperind-RI. 1980. *SII 0052-80 Mutu dan Cara Uji Agregat Beton*. Jakarta:Depperind-RI
- Edward G. Nawy. 1990. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: PT. ERESKO
- Foulhudan, J., D. Nurtanto & K. Krisnamurti. 2022. *Perbandingan Mix Design SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012 Ditinjau Dari Proses Pengecoran Beton Normal*. Jurnal Riset Rekayasa Sipil.
- Hunggurami, E., Bolla, M. E., & Messakh, P. (2017). *Perbandingan Desain Campuran Beton Normal Menggunakan SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656-2012*. Jurnal Teknik Sipil, 6(2), 165-172.
- Khalawi, G. 2012. *Studi Susut Beton Berkinerja Tinggi Tanpa Menggunakan Fly Ash Pada Arah Vertikal*. Jakarta: Universitas Indonesia
- Kuntari, H. D., Lingga, A. A., & Supriyadi, A. (2019). *Analisis Perbandingan Desain Campuran Beton Normal Menggunakan SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656: 2012 dengan Kuat Tekan 30 MPa*. JeLAST: Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang, 6(3).
- Li, Z., J. Liu, J. Xiao & P. Zhong. 2020. *Internal curing effect of saturated recycled fine aggregates in early-age mortar*. *Cement and Concrete Composites*. Vol. 108, h. 103444.
- Mooy, M., P. H. Simatupang & J. H. Frans. 2017. *Pengaruh Suhu Curing Beton Terhadap Kuat Tekan Beton*. Jurnal Teknik Sipil. Vol. VI, No. 1, h. 47–60.
- Mulyati, M. & Z. Arkis. 2020. *Pengaruh Metode Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal*. Jurnal Teknik Sipil ITP. Vol. 7, No. 2, h. 78–84.
- Niken, C. 2019. *Early-Age Shrinkage of High-Performance Concrete Beam in Laboratory and Full-Scale*. Civil and Environmental Research. Vol. 11, No. 4, h. 1-11.
- Niken, C., E. Tjahjono & F. Supartono. 2017. *Long Term Deformation of Beams and Columns of High Performance Concrete*. International Journal of Technology. Vol. 8, No. 5, h. 811.
- Santoso, A., Darmono, D., Ma'arif, F., & Sumarjo, H. (2017). *Studi Perbandingan Rancang Campur Beton Normal Menurut SNI 03-2834-2000 Dan SNI 7656: 2012*. Inersia: Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur, 13(2), 105-115.
- Soliyansyah, I., E. K. Kurniawati & Tahadjuddin. 2017. *Karakteristik Susut Beton dengan Alwa Murni*. Jurnal SANTIKA. Vol. 7, No. 2, h. 609–619.

Tjokrodimulyo, Kardiyono. 2009. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada

Supriani, F. & M. Islam. 2019. *Pengaruh Metode Perlakuan dalam Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan dan Durabilitas Beton*. Inersia: Jurnal Teknik Sipil. Vol. 9, No. 2, h. 47–54.

Yanita, R. 2020. *Semen PCC Sebagai Material Green Construction dan Kinerja Beton yang Dihasilkan*. Jurnal Sains dan Teknologi. Vol. 19, No. 1, h. 13–18.