**TUGAS AKHIR**

# STUDI EKSPERIMENTAL TAHANAN UJI PULL-OUT ANGKUR MEKANIS DENGAN METODE PEMASANGAN POST INSTALLED (*EXPERIMENTAL STUDY OF PULL-OUT TEST RESISTANCE OF MECHANIC ANCHORES USING THE POST INSTALLED METHOD*)

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu Teknik Sipil**


**Daya Tanlalana Arya Sangkan**

**18511045**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**PROGRAM SARJANA**

**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**

**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

**YOGYAKARTA**


**2025**

# TUGAS AKHIR

# STUDI EKSPERIMENTAL TAHANAN UJI PUL-OUT ANGKUR DENGAN METODE PEMASANGAN POST INSTALLED

## (*EXPERIMENTAL STUDY OF PULL-OUT TEST RESISTANCE OF MECHANIC ANCHORES USING THE POST INSTALLED INSTALLATION METHOD*)

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**

Disusun oleh

**Daya Tanlalana Arya Sangkan**
**18511045**

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji Pada Tanggal 28 Februari 2025
Oleh Dewan Penguji

| Pembimbing | Penguji I | Penguji II |
|---|---|---|
| 24.03.25 | 21/03 2025. | 20.04.2025 |
| **Astriana Hardawati S.T., M.Eng.** | **Jafar S.T., MURP., M.T.** | **Prof. Ir. Sarwidi, MSCE., Ph.D., IP-U** |
| **NIK : 165111301** | **NIK :185111305** | **NIK : 845110101** |

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

20/5 2025

**Ir. Yunalia Muntafi S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM.**
**NIK : 095110101**

# PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana (S1) di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau Sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 28 February 2025

Yang membuat pernyataan




Daya Tanlalana Arya Sangkan

(18511045)

Dipindai dengan CamScanner

# LEMBAR DEDIKASI

*Bismillahirrohmanirrohim*

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang atas segala hidayah dan rahmat-Nya dipermudahkan untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Dengan segala rasa terimakasih saya persembahkan tugas akhir ini

1. Allah SWT yang telah memberi Kesehatan dan kemudahan dalam Menyusun tugas akhir ini
2. Bapak Arif Prastowo, Ibu Dewi Kurniatiningsih, selaku orang tua yang selalu memberi dukungan
3. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan ilmu dan waktunya untuk membimbing
4. Bapak Prof, Ir. Sarwidi, MSCE., Ph.D., IP-U. selaku dosen penguji tugas akhir ini.
5. Bapak Jafar S.T., MURP., M.T. selaku dosen penguji tugas akhir ini.

# KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul "*Study Eksperimental Tahanan Uji Pull out Angkur Mekanis Dengan Metode Pemasangan Angkur Post Installedi*", sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program sarjana (S1) di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya dukungan, bantuan, bimbingan, dan nasehat dari berbagai pihak selama penyusunan Tugas Akhir ini. Pada kesempatan penulis ingin menyampaikan terimakasih setulus-tulusnya kepada :

1. Fathul Wahid, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Rektor Universitas Islam Indonesia,
2. Ir. Ilya Fadjar Maharika, MA., IAI., selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII Yogyakarta,
3. Jafar, S.T., M.T., MURP., selaku dosen penguji tugas akhir saya
4. Bapak Prof, Ir. Sarwidi, MSCE., Ph.D., IP-U. selaku dosen penguji tugas akhir ini.
5. Astriana Hardawati, S.T., M. Eng., selaku dosen pembimbing tugas akhir atas segala bimbingan, arahan, serta saran yang diberikan kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik,
6. Kedua orang tua penulis, Bapak Arif Prastowo dan Ibu Dewi Kurniatiningsih, yang selalu memberikan kasih sayang, doa, nasehat, serta kesabaran yang luar biasa dalam setiap langkah hidup penulis,
7. Teman penulis, Imron Ryan, Muhammad Ghifari, Majid Hilmy, Kadafi Jati, Bintang Bagaskara, Denny Yudha, Rizqullah Rafi, Manikmaya Yusuf.
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah dengan tulus.

# DAFTAR ISI


TUGAS AKHIR i

TUGAS AKHIR ii

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii

LEMBAR DEDIKASI iv

KATA PENGANTAR v

DAFTAR ISI vi

DAFTAR TABEL ix

DAFTAR GAMBAR xi

DAFTAR LAMPIRAN xiii

ABSTRAK xiv

ABSTRACT xv

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 3

1.3 Tujuan Penelitian 4

1.4 Manfaat Penelitian 4

1.5 Batasan Penelitian 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6

2.1 Eksperimen Tarik Angkur Tipe Ekspansi Secara *Cast in Place* dan *Post Installed* Dengan Kegagalan Breakout Concrete 6

2.2 Eksperimen *Pullout Test Hammer Drive Anchor* M10 x 120 mm Dengan Jarak Angkur Tepi Beton Kritis Melalui Metode Pemasangan *Cast-In Place* Dan *Post Installed* 6

2.3 Studi Eksperimental Perilaku Pull-out Pada Angkur Mekanis Dengan Perbandingan Kekuatan Metode Pemasangan *Cast-In Place* Dan *Post Installed* 7

2.4 *An Analytical Study on the Pull-Out Strenght of Anchor Bolts Embedded* in *Concrete Members by SPH Method* 8

2.5 *Behavior of Post-Installed Large Diameter Anchors in Concrete Foundatio* 8

2.6 Perbandingan Dengan Penelitian Terdahulu 9

BAB III LANDASAN TEORI 11

3.1 Beton 11

3.1.1 Jenis Beton 12

3.1.2 Bahan Penyusun Beton 13

3.1.3 Perencanaan Campuran Beton (SNI 2843-2000) 15

3.1.4 *Slump* Beton 20

3.1.5 Kuat Tekan Beton 20

3.2 Angkur 22

3.3 Kuat Tarik Angkur 24

3.4 Tegangan Lekat 25

3.5 Kegagalan Cabut Angkur (*Pull Out Failure*) 26

3.6 Kegagalan Angkur Patah Akibat Gaya Tarik (*Steel failure*) 27

3.7 Metode *Post Installed* 28

BAB IV METODE PENELITIAN 29

4.1 Umum 29

4.2 Waktu dan Tempat Penelitian 29

4.3 Alur Penelitian 30

4.4 Alat dan Bahan 31

4.5 Pengujian Kuat Tarik Angkur 31

4.6 Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder 33
4.7 Perawatan Benda Uji 35
4.8 Pengujian *Pull Out Test* 36
4.9 Standar Pengujian 37
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 39
5.1 Tinjauan Umum 39
5.2 Pengujian Agregat 39
5.2.1 Pengujian Agregat Halus 39
5.2.2 Pengujian Agregat Kasar 49
5.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*) 56
5.4 Hasil Pemeriksaan Berat Volume Beton 66
5.5 Hasil Pemeriksaan Kuat Tekan Beton 66
5.6 Hasil Pengujian Kuat Tarik Material Angkur 68
5.7 Hasil Pengujian *Pull-Out* Angkur 74
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 84
6.1 Kesimpulan 84
6.2 Saran 85
DAFTAR PUSTAKA 86
LAMPIRAN 88

# DAFTAR TABEL


Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya dan Sekarang 11
Tabel 3.1 Mutu Beton dan Penggunaanya 12
Tabel 3.2 Faktor Pengali Devisiasi Standar <30 Benda Uji 15
Tabel 3.3 Perkiraan Kuat Tekan (MPa) 16
Tabel 3.4 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum 17
Tabel 3.5 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/$m^3$) 19
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Persyaratan Air Agregat Halus 41
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Halus Pada Sampel 1 44
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Halus Pada Sampel 2 44
Tabel 5.4 Gradasi Agregat Halus 45
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus 47
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus 47
Tabel 5.7 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200 48
Tabel 5.8 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Jenis dan Serap Agregat Kasar 50
Tabel 5.9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Kasar Pada Sampel 1 52
Tabel 5.10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Kasar Pada Sampel 2 52
Tabel 5.11 Gradasi Agregat Kasar 53
Tabel 5.12 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar 56
Tabel 5.13 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar 56
Tabel 5.14 Faktor Pengalu Untuk Devisiasi Standar Bila Data Hasil Uji yang Tersedia Kurang Dari 30 57
Tabel 5.15 Perkiraan Kuat Tekan (MPa) Dengan fas 0,5 dan Jenis Semen Serta Agregat yang Dipakai di Indonesia 58
Tabel 5.16 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/$m^3$) yang Dibutuhkan Untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Semen 60
Tabel 5.17 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum 71

Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*) 65
Tabel 5.19 Rekapitulasi Perhitungan Berat Volume Beton 66
Tabel 5.20 Rasio Kuat Tekan Beton Terhadap Umur Beton 67
Tabel 5.21 Rekapitulasi Perhitungan Kuat Tekan Beton 68
Tabel 5.22 Rekapitulasi Perhitungan Kuat Tarik Angkur 71
Tabel 5.23 Hasil Pengujian *Pull out* berdasarkan tipe kerusakan 74
Tabel 5.24 Hasil Pengujian *Pull out* dan Pengukuran Dimensi Angkur 75
Tabel 5.25 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Pull out* Kerusakan Putus Baut 79
Tabel 5.26 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Pull out* Kerusakan *Slip* 79
Tabel 5.28 Rekapitulasi Perhitungan Tegangan Lekat 83

# DAFTAR GAMBAR


Gambar 3.1 *High Anchor Sanko* (a) dan *Dynabolt* (b) 3
Gambar 3.1 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen 4
Gambar 3.4 Grafik Persentase Pasir Terhadap Kadar Total Agregat (Ukuran Butir Maksimum 20 mm) 19
Gambar 3.5 Ilustrasi Kuat Tekan Beton 20
Gambar 3.6 Kurva Tegangan-Regangan Beton 21
Gambar 3.7 Jenis Baut Angkur Cor di Tempat (*Cast In Place*) 23
Gambar 3.8 Jenis Baut Angkur Pasca Pasang (*Post Installed*) 23
Gambar 3.9 Kinerja dan Cara Pemasangan angkur *Hammerdrive* 24
Gambar 3.10 Kinerja Pemasangan Angkur *Dynabolt* 24
Gambar 3.11 Grafik Tegangan-Regangan Baja 25
Gambar 3.12 Kegagalan *Pull Out* Angkur Terhadap Beton 26
Gambar 3.13 Keggalan Putus Angkur Terhadap Gaya Tarik 27
Gambar 4.1 Diagram Alir Penelitian 31
Gambar 4.2 Benda Uji Pengujian Tarik Angkur 32
Gambar 4.3 Pemasangan Benda Uji Pada Mesin UTM 33
Gambar 4.4 Proses *Capping* Pada Sampel Benda Uji Silinder 34
Gambar 4.5 Proses *Curing* Pada Benda Uji 35
Gambar 4.6 Proses Pemasangan Benda Uji Pada Pengujian *Pull Out* 37
Gambar 5.1 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah III Pada Sampel 1 45
Gambar 5.2 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah III Pada Sampel 2 46
Gambar 5.3 Kurva Gradasi Agregat Kasar Ukuran Maksimum 20 mm Pada Sampel 1 54
Gambar 5.4 Kurva Gradasi Agregat Kasar Ukuran Maksimum 20 mm Pada Sampel 2 54
Gambar 5.5 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas) Untuk Benda Uji Silinder Diameter 150 mm, Tinggi 300 mm 59
Gambar 5.6 Grafik Presentasi Pasir Terhadap Kadar Total Agregat (ukuran (Ukuran Butir Maksimum 20 mm) 62

Gambar 5.7 Perkiraan Berat Isi Beton Basah 63
Gambar 5.8 Grafik Tegangan Regangan Pada Sampel *Dynabolt* 1 71
Gambar 5.9 Grafik Tegangan Regangan Pada Sampel *Dynabolt* 2 71
Gambar 5.10 Grafik Tegangan Regangan Pada Sampel *Dynabolt* 3 72
Gambar 5.11 Grafik Tegangan Regangan Pada Sampel *Hammerdrive* 1 72
Gambar 5.12 Grafik Tegangan Regangan Pada Sampel *Hammerdrive* 2 72
Gambar 5.13 Grafik Tegangan Regangan Pada Sampel *Hammerdrive* 3 73
Gambar 5.14 Grafik Rekapitulasi Tegangan Regangan Pada Sampel *Dynabolt* 73
Gambar 5.15 Grafik Rekapitulasi Tegangan Regangan Pada Sampel *Hammerdrive* 73
Gambar 5.15 (a) Kerusakan Putus Baut ; (b) Kerusakan *Slip* 74
Gambar 5.16 Proses Pengeboran dan Pemasangan Angkur 76
Gambar 5.17 Perbandingan Hasil Pengujian *Pull Out* Laboratorium Dengan Perhitungan Teoritis Pada Kerusakan Slip 79
Gambar 5.18 Perbandingan Hasil Pengujian *Pull Out* Laboratorium Dengan Perhitungan Teoritis Pada Kerusakan Putus Baut 79

# DAFTAR LAMPIRAN


Lampiran 1 Data Pengujian Tarik Angkur *Hammerdrive* 1 87
Lampiran 2 Data Pengujian Tarik Angkur *Hammerdrive* 2 88
Lampiran 3 Data Pengujian Tarik Angkur *Hammerdrive* 3 89
Lampiran 4 Data Pengujian Tarik Angkur *Dynabolt* 1 90
Lampiran 5 Data Pengujian Tarik Angkur *Dynabolt* 2 91
Lampiran 6 Data Pengujian Tarik Angkur *Dynabolt* 3 92
Lampiran 7 Dokumentasi Pengujian Kuat Tekan *Trial And Error* Beton 93
Lampiran 8 Dokumentasi Proses Pembuatan Benda Uji 95
Lampiran 9 Dokumentasi Proses Pengujian Analisa Agregat 96
Lampiran 10 Pengujian Kuat Tarik Material Angkur 98

# ABSTRAK

Angkur merupakan suatu elemen baja yang sering digunakan pada suatu bangunan yang saat ini sering digunakan di berbagai jenis bangunan. Dengan adanya angkur mekanis, sistem pengangkuran yang digunakan untuk menghubungkan elemen struktural pada beton yang sudah mengeras tanpa memerlukan pembongkaran ataupun perombakan dengan skala besar. Keuntungan angkur *post installed* atau angkur pasca pemasangan adalah mempunyai fleksibilitas dalam perencanaan konstruksi sesuai kebutuhan, namun desain dan instalasi angkur pasca pasang ini perlu pertimbangan cermat terhadap faktor-faktor seperti kekuatan beton, kedalaman penanaman angkur, dan kondisi lingkungan untuk memastikan angkur terpasang dengan maksimal. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kapasitas kuat cabut angkur dengan cara melakukan pengujian *Pull out*.

Penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan pengujian *Pull out* angkur pasca pasang tipe *Dynabolt* dan *Hammerdriv* yang di pasang pa beton bermutu f'c 25 MPa berbentuk balok dengan ukuran dimensi panjang 40 cm dan tebal 20 cm sebanyak 10 sampel pada setiap kedua jenis angkur, kemudian di verifikasi dengan perhitungan teoritis yang mengacu pada SNI 2847-2019.

Dari hasil penelitian yang dilakukan, didapatkan nilai kapasitas kuat cabut secara keseluruhan pada masing-masing tipe angkur rata-rata sebesar 23308,56 N pada angkur tipe *Dynabolt,* dan 39475,44 N pada angkur tipe *Hammerdrive.* Jenis kerusakan yang terjadi pada pengujian *Pull out* yang dilakukan berupa kerusakan putus baut (*Steel failure*) dan *slip*. Selisih antara pengujian yang dilakukan dengan perhitungan teoritis di klasifikasi berdasarkan jenis kerusakan, nilai rata-rata selisih perhitungan teoritis dengan pengujian yang dilakukan dilaboratorium yang didapat pada kerusakan putus baut (*Steel Failure*) pada tipe baut *Dynabolt* sebesar 13% dan pada tipe *Hammerdrive* 29% %, kemudian didapatkan nilai rata-rata selisih perhitungan teoritis dengan pengujian yang dilakukan dilaboratorium pada kerusakan *Slip* pada tipe baut *Dynabolt* sebesar 50% dan pada tipe *Hammerdrive* 4%.

**kata kunci** : Angkur, *Pull out*, *Post Installed*

# ABSTRACT

*An anchor is a steel element commonly used in buildings and is currently widely utilized in various types of structures. With the presence of mechanical anchors, the anchoring system is used to connect structural elements to hardened concrete without requiring large-scale demolition or reconstruction. The advantage of post-installed anchors is their flexibility in construction planning according to needs. However, the design and installation of post-installed anchors require careful consideration of factors such as concrete strength, anchor embedment depth, and environmental conditions to ensure optimal installation. This research was conducted to determine the pull-out capacity of anchors by performing pull-out tests.*

*The research was carried out by conducting pull-out tests on post-installed anchors of the Dynabolt and Hammerdrive types, which were installed on concrete beams with a compressive strength (f'c) of 25 MPa. The beams had dimensions of 40 cm in length and 20 cm in thickness, with 10 samples for each type of anchor. The results were then verified using theoretical calculations based on SNI 2847-2019.*

*From the research conducted, the average pull-out capacity values for each type of anchor were 23,308.56 N for the Dynabolt type and 39,475.44 N for the Hammerdrive type. The types of failures observed during the pull-out tests included bolt failure (steel failure) and slip. The difference between the experimental results and theoretical calculations was classified based on the type of failure. The average difference between theoretical calculations and laboratory testing results for bolt failure (Steel Failure) was 13% for the Dynabolt type and 29% for the Hammerdrive type. Meanwhile, the average difference for slip failure was 50% for the Dynabolt type and 4% for the Hammerdrive type.*

**Keywords** : *Anchor*, *Pull out*, *Post Instal*

# BAB I
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Angkur merupakan suatu elemen tulangan baja yang dipasang pada beton yang berfungsi untuk meneruskan beban tarik yang bekerja pada beton (SNI 2847: 2019). Angkur mempunyai peran penting dalam menghubungkan dan memasang suatu komponen struktur maupun non struktur. Berdasarkan cara pemasanganya, angkur di kategorikan menjadi dua macam, yaitu metode *cast in place* dan metode *post installed.* Perkembangan teknologi pada sistem pemasangan angkur sebelumnya pada sekitar tahun 1963 hanya berupa sistem pemasangan angkur yang dipasang ketika proses pengecoran beton. Seiring berjalanya waktu, metode pemasangan angkur terus berkembang, metode *post installed* merupakan pemasangan angkur setelah beton mengeras dengan cara di bor (Amirul, 2020). Adapun cara untuk mengetahui nilai kapasitas kuat cabut angkur tersebut diantaranya dapat dilakukan dengan cara pengujian tarik angkur atau dikenal dengan sebutan *pull out test.* Pengujian *pull out test* dilakukan sesuai peraturan yang terdapat pada *"Standart Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete "* ASTM C900.

*Post installed* merupakan proses pemasangan suatu angkur dengan cara dipasang kedalam beton yang sudah di bor dan sudah ditentukan titik lokasi lubang sesuai dengan desain yang sudah ditentukan. Oleh karena itu, dalam proses pemasangannya, beton harus di bor dengan kedalaman tanam sesuai dengan yang telah ditentukan kemudian dibersihkan debu dari sisa pengeboran agar lekatan (bond) yang terjadi lebih kuat saat pengujian *Pull Out* dilakukan (Bastian, 2022). Metode *post installed* memiliki beberapa jenis angkur yang dapat digunakan dalam pelaksanaan pengujiannya, diantaranya yaitu angkur *mechanical* dan angkur *chemical. Mechanical Anchor* merupakan angkur yang pada proses pemasangannya

tidak menggunakan bahan kimia sama sekali, sehingga kuat rekatangkur ditentukan oleh kinerja mekanis angkur yang digunakan dan kekuatan material beton yang digunakan. Sedangkan *Chemical Anchor* merupakan angkur yang dalam pemasangannya menggunakan bahan kima yang disebut dengan *Chemical Epoxy* yang berfungsi sebagai bahan perekat antara angkur yang tertanam pada beton.

Penulis melakukan uji *Pull Out Test* dengan metode pemasangan angkur *Post Installed* menggunakan angkur berjenis angkur mekanis. Faktor yang akan mempengaruhi pengujian ini antara lain diameter angkur, panjang angkur tertanam, dan mutu beton. Penelitian ini penulis menggunakan spesifikasi panjang, dan diameter angkur antara lain menggunakan angkur mekanis berjenis *Dynabolt* dengan spesifikasi diam eter 10 mm dengan panjang 150 mm mm dan angkur tipe *Hammer drive anchor* dengan spesifikasi diameter 10 mm dengan panjang 150 mm.

Pemilihan mutu beton menjadi hal yang penting pada penelitian ini, dalam hal ini penulis menggunakan mutu beton yang biasa digunakan pada masyarakat umum baik mutu beton untuk bangunan rumah non-struktural yang biasa dijumpai di berbagai daerah, dan mutu beton yang dipergunakan untuk bangunan gedung struktural. Untuk bangunan struktural pada umumnya menggunakan beton dengan kuat tekan berkisar 17 – 30 MPa, sedangkan untuk beton prategang menggunakan beton dengan kuat tekan yang lebih tinggi yaitu berkisar antara 30 – 40 MPa (Dipohusodo, 1994). Sedangkan penggunaan mutu beton non-struktural pada masyarakat umum biasanya dicampur menggunakan metode 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil dan 1 air, dimana metode pencampuran beton seperti diatas biasanya menghasilkan mutu beton sebesar f’c 14,5 atau beton K175 (Dipohusodo, 1994). Pada penelitian ini penulis menggukan mutu beton struktural kelas II dengan spesifikasi beton f’’c 25 MPa (K300) sebagai bahan dasar pembuatan benda uji dalam penelitian yang akan dilakukan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat *pull out* angkur terhadap beton yang dilakukan dengan melakukan pengujian *pull out* angkur dengan tipe *Hammerdrive* dan *Dynabolt* kemudian dipasang menggunakan metode *post installed*, kemudian memverifikasi analisis teoritis yang ada di dalam SNI 2847:2019 dengan hasil eksperimen terhadap tahanan *pull out* angkur. Maka diperlukan uji eksperimental yang dilakukan di laboratorium untuk dapat mengetahui masin-masing nilai kapasitas cabut angkur tersebut. Tipe angkur yang digunakan dalam pengujian *Pull Out* yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1.1 berikut.



(a) (b)

**Gambar 1.1 *Hammerdrive* (a) dan *Dynabolt* (b)**

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dapat diformulasikan sebagai berikut.

1. Bagaimana nilai kapasitas cabut angkur yang dipasang dengan cara menggunakan metode *post installed*?
2. Bagaimana bentuk kerusakan beton yang terjadi pada saat dilakukan pengujian *Pull-out* angkur?
3. Bagaimana hasil verifikasi analisis teoritis sesuai SNI 2847:2019 dengan hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dimuka, maka tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh :

1. Memperoleh data kapasitas cabut angkur yang dipasang menggunakan metode *Post Installed*,
2. Mengidentifikasi bentuk kerusakan beton yang terjadi pada saat pengujian pengujian *Pull-out* angkur, dan
3. Mengetahui hasil verifikasi analisis teoritis dengan hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui nilai kapasitas cabut angkur dalam pengujian *Pull out* dengan metode pemasangan *post installed.* Kemudian dapat mengetahui hasil uji lab yand di verifikasi dengan persamaan empiris yang ada di dalam SNI. Selain itu penelitian ini dapat dijadikan referensi an pengetahuan dalam pekerjaan konstruksi mengenai engerjaan pemasangan angkur dengan metode pemasangan *post-installed* dan juga dapat dijadikan referensi untuk penelitian dalam ilmu ketekniksipilan, khususnya dalam hal pengangkuran. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai referensi bagi mahasiswa ntuk penelitian lebih lanjut mengenai pengujian kuat tarik cabut angkur.

## 1.5 Batasan Penelitian

Demi mendapatkan hasil yang optimal dan tepat sasaran sehingga tidak menyimpang dari tujuan penelitian, maka batasan penilitian dijabarkan sebagai berikut

1. Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan dengan menggunakan beton bermutu f’c 25 MPa (K300).
2. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah angkur dengan tipe *Hammer Drive Anchor* dan *Dynabolt* dengan masing-masing spesifikasi ukuran ber diameter 12 mm dan panjang 120 mm.

3. Pembuatan benda uji pada pengujian tarik angkur berpedoman pada ACI 318- 11, dan direncanakan mengunakan beton berbentuk kotak dengan dimensi lebar 40 cm dan tinggi 20 mm  mm  x 150 mm.
4. Dalam penelitian ini , penulis tidak melakukan analisis biaya dan metode pelaksanaan.
5. Dalam penelitian ini, sumber acuan yang digunakan adalah SNI 2847:2019, dan ACI 318-11.
6. Perilaku kegagalan angkur terhadap beton dalam penelitian ini hanya berfokus pada kegagalan *pull out.*
7. Diberikan jarak 1 mm pada setiap panjang jari-jarinya pada lubang yang akandigunakan dalam pemasangan angkur, sehingga lubang di bor dengan ukuran diameter sebesar 12 mm.

# BAB II
# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Eksperimen Tarik Angkur Tipe Ekspansi Secara *Cast in Place* dan *Post Installed* Dengan Kegagalan Breakout Concrete

Amirul, H., & Henry, A. (2020) melakukan penelitian mengenai: *Eksperimen Tarik Angkur Tipe Ekspansi Secara Cast In Place dan Porst Installed Dengan Kegagalan Breakout Concrete.* Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui perbedaan kekuatan angkur berdasarkan metode pemasangan yakni secara *cast in place* dibandingkan *post installed* melalui pengujian kuat tarik angkur terhadap beton dengan kegagalan breakout concrete. Benda uji yang digunakan yaitu dengan Angkur tipe ekspansi merk "sanko" M12x100 (hef: 60 mm, diameter 12 mm, Panjang 100 mm) dan beton *ready mix* fc 25 MPa. Adapun hasil penelitian yang dilakukan penilitian ini yaitu didapatkan kuat tarik angkur dengan rata rata sebesar 25,7 MPa. Kapasitas tarik angkur ke beton secara *cast in place* didapatkan nilai rata-rata sebesar 40506,67 N, sedangkan secara *post installed* didapatkan nilai rata-rata sebesar 38187,33 N. dan prediksi perhitungan kapasitas tarik kegagalan *breakout concrete* sebesar 40767 N.

## 2.2 Eksperimen *Pullout Test Hammer Drive Anchor* M10 x 120 mm Dengan Jarak Angkur Tepi Beton Kritis Melalui Metode Pemasangan *Cast-In Place* Dan *Post Installed*

Levina, , A., & Henry, A. (2020) melakukan penelitian tentang: *Eksperimen Pullout Test Hammer Drive Anchor M10 x 120mm Dengan Jakarak Tepi Beton Kritis Melalui Metode Pemasangan Cast-In Place dan Post Installed.* Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kegagalan yang terjadi dan kapasitas tarik angkur pada metode pemasangan *Cast-In Place* dan *Post Installed* dengan variasi pengaruh diameter angkur, kedalaman angkur, jarak antar angkur, jarak angkur ke tepi beton

kritis. Benda uji yang digunakan yaitu angkur tipe M10 x 120 mm sebanyak 6 sampel yang dipasang 4 angkur pada masing-masing benda uji. Dari penelitian ini didapatkan nilai rata-rata kapasitas tarik angkur dengan metode *Cast-In Place* sebesar 37, 24 kN dengan rata-rata angkur tercabut sebesar 7, 6 mm. Sedangkan kapasitas tarik angkur dengan metode *Post Installed* didapatkan nilai rata-rata sebesar 35,93 kN dengan rata-rata angkur tercabut sebesar 5, 67 mm.

## 2.3 Studi Eksperimental Perilaku Pull-out Pada Angkur Mekanis Dengan Perbandingan Kekuatan Metode Pemasangan *Cast-In Place* Dan *Post Installed*

Wiguntoro. & Henry, A. (2020) melakukan penelitian mengenai: "*Studi Eksperimental* Perilaku *Pull-Out Pada Angkur Mekanis Dengan Perbandingan Kekuatan Metode Pemasangan Cast-In dan Post Installed".* Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai efisien tegangan angkur pada beton mutu 25 MPa. Pengujian *Pull-Out* angkur menggunakan beton dengan daerah tinjauan berdimensi 300 mm *x* 300 mm *x* 150 mm sebanyak 6 unit. Benda uji yang digunakan yaitu adalah *hammer drive anchor sanko* berdiameter 10 mm sebanyak 4 unit untuk 1 spesimen beton dengan jarak antar angkur sebesar 100 mm. Dari penilitan ini didapatkan nilai kuat tekan beton sebesar 25,697 Mpa, Kuat Tarik belah beton sebesar 2,563 Mpa atau 9,97 % dari kuat tekan beton dan memenuhi syarat teoritis yaitu 8-15% dari kuat tekan beton. Pada pengujian *Pull-out* diperoleh nilai kuat tarik dengan rata-rata sebesar 39,16 kN dengan perpindahan rata-rata sebesar 13,81 mm. untuk pemasangan metode *cast in place* didapatkan nilai rata-rata sebesar 37, 37 kN dengan perpindahan rata-rata sebesar 8,89 untuk metode pemasangan *post installed*.

## 2.4 *An Analytical Study on the Pull-Out Strenght of Anchor Bolts Embedded* in *Concrete Members by SPH Method*

Lu, C & Sonoda, Y.(2022) melakukan penelitian mengenai :" *An Analyitical Study on the Pull-Out Strenght of Anchor Bolts Embedded in Concrete Members by SPH Method*" . Dalam penelitian ini, metode analisis yang dapat secara akurat mengevaluasi kapasitas kuat cabut angkur dari beton dengan menggunakan metode SPH (*Smoothed Particle Hydrodynamics*) dengan mempertimbangkan kekuatan maksimum dalam berbagai kondisi yang dipengaruhi oleh diameter angkur, kedalanam tertanam (hef), dan jarak antar baut. Dalam penelitian ini, ditunjukkanlah bagaimana nilai kuat tarik angkur yang tertanam di dalam beton dapat di evaluasi secara akurat dengan menggunakan metode SPH. Dengan menggunakan metode tersebut, sangat memungkinkan tidak hanya dapat memprediksi nilai kuat tarik dan retakan yang terjadi, tetapi juga dapat mengukur efek dari metode perkerasan, seperti metode PCM (*Polymer Cement Mortar*).

## 2.5 *Behavior of Post-Installed Large Diameter Anchors in Concrete Foundation*

Wang, D, Dongsheng, W & Siming, H. (2015) melakukan penelitian mengenai "*Behavior of Post-Installed Large Diameter Anchors in Concrete Foundation*" . Dalam penelitian ini, pengujian *Pull-out* dilakukan pada sistem angkur *Post-installed* dengan diameter besar yang tertanam di dalam beton dalam pembebanan statis. Kapasitas kuat cabut angkur dapat ditingkatkan dengan membesarkan diameter batang, hal tersebut disebabkan oleh kontak area diantara tulangan dan juga beton. Dalam penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa gaya aksial pada angkur akan berkurang seiring dengan ketika angkur ditanam dengan lebih dalam. Ketika nikai kapasitas cabut angkur mencapai nilai tertentu, angkur yang terletak dekat ke permukaan mulai terlepas dan tegangan gaya aksial maksimum meningkat. Dalam penelitian tersebut disebutkan ada 3 tipe kegagalan pada angkur seperti angkur tercabut dari beton, kerusakan anulus beton, dan kegagalan breakout berbentuk kerucut. Untuk kasus *Post-installed* dengan diameter besar, kerusakan

primer yang terjadi adalah kerusakan pada anulus beton disertai kerusakan berbentuk kerucut pada beton. Maka dengan bertambahnya diam eter angkur kerusakan yang mungkin terjadi akan berubah dari kerusakan angkur tercabut dari beton menjadi disertai kerusakan kegagalan beton berbentuk kerucut dan kerusakan anulus pada beton. Selanjutnya jenis besi tulangan baik itu tulangan polos atau tulangan ulir memiliki pengaruh yang besar terhadap jenis kegagalan yang akan terjadi. Dengan alasan tersebut, disimpulkan bahwa besi tulangan ulir lebih cocok digunakan untuk penggunaan pemasangan angkur dengan metode *Post-installed* angkur, karena hal tersebut memungkinkan untuk digunakan sebagai alternative pemasangan angkur dan material pondasi pada beton untuk diuji secara maksimal.

## 2.6 Perbandingan Dengan Penelitian Terdahulu

Untuk memudahkan dalam dalam memahami maksud dan tujuan dipaparkannya penelitian terdahulu di atas dan untuk membandingkan penelitian ini dengan penelitian terdahulu, maka dibuat Tabel 2.1 sebagai berikut

## Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian

| Aspek | Penelitian Terdahulu | | | | | Penelitian Sekarang |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Peneliti** | Amirul, H., & Henry, A. (2020) | Levina, A., & Henry, A. (2020) | Wiguntoro., & Henry, A. (2020) | Lu, C & Sonoda, Y.(2022) | Wang, D, Dongsheng, W & Siming, H. (2015) | Daya Tanlalana Arya Sangkan (2022) |
| **Judul** | Eksperimen Tarik Angkur Tipe Ekspansi Secara *Cast In Place* Dan *Post Installed* Dengan Kegagalan Breakout Concrete | Eksperimen *Pullout Test Hammer Drive Anchor* M10 x 120 mm Dengan Jarak Angkur Tepi Beton Kritis Melalui Metode Pemasangan *Cast-In Place* Dan *Post Installed* | Analisis spektrum Studi Eksperimental Perilaku Pull-out Pada Angkur Mekanis Dengan Perbandingan Kekuatan Pemasangan *Cast-In Place* Dan *Post Installed* | *An Analyitical Study on the Pull-Out Strenght of Anchor Bolts Embedded in Concrete Members by SPH Method* | *Behavior of Post-Installed Large Diameter Anchors in Concrete Foundation.* | Studi Eksperimental Tahanan Uji *Pull out* Angkur Dengan Metode Pemasangan *Post Installed* |
| **Tujuan** | Untuk mengetahui perbedaan kekuatan angkur berdasarkan metode pemasangan yakni secara *cast in place* dibandingkan *post installed* melalui pengujian kuat tarik angkur terhadap beton dengan kegagalan breakout concrete. | Untuk mengetahui kegagalan yangterjadi dan kapasitas tarik angkur pada metode pemasangan *Cast-In Place* dan *Post Installed* dengan variasi pengaruh diameter angkur, kedalaman angkur, jarak antar angkur, jarak angkur ke tepi beton kritis. | Mengetahui nilai efisien tegangan angkur pada beton mutu 25 MPa. Pengujian *Pull-Out* angkur menggunakan beton dengan daerah tinjauan berdimensi 300 mm *x* 300 mm *x* 150 mm sebanyak 6 unit. | Mengetahui dan mengevaluasi kapasitas kuat cabut angkur dari beton (*Pull-out*) dengan menggunakan metode SPH (*Smoothed Particle Hydrodynamics*) dengan mempertimbangkan kekuatan maksium yang dipengaruhi Oleh beberapa faktor | Mengetahui perilaku jenis kerusakan angkur berdasarkan pengaruh ukuran diameter angkur dan jenis angkur yang digunakan yang dilakukan dengan cara pengujian kuat tarik cabut angkur (*Post-installed*). | mengetahui nilai tahanan *Pull Out* angkur terhadap beton yang dilakukan dengan melakukan pengujian *pull out* angkur yang dipasang menggunakan metode *post installed*, kemudian memverifikasi dengan persamaan empiris yang ada di SNI dengan hasil Eksperimen. |

# BAB III
# LANDASAN TEORI

## 3.1 Beton

Beton (*Concrete)* adalah campuran semen *Portal Cement* atau semen hidrolis lainya), pasir (Agregat halus), kerikil (Agregat kasar), dan air, dengan atau tanpa bahan campuran (*admixture*) (SNI 2847:2019). Menurut Dipohudsodo (1994), beton merupakan fungsi dari banyak faktor seperti nilai banding campuran dan mutu bahan penyusun, metode pelaksanaan pengecoran, pelaksanaan finishing, temperatur, dan kondisi perawatan. Mulyono (2013) mengatakan bahwa beton perlu disesuaikam dengan kelas dan mutu beton, oleh sebab itu dapat di sesuaikan dengan keperluan dan peruntukan beton yang akan dibuat. Menurut Puslitbang Prasarana Transportasi Departemen Pekerjaan Umum Divisi 7 – 2005, beton diklasifikasikan berdasarkan mutu dan fungsi penggunaanya sebagai berikut.

**Tabel 3.1 Mutu Beton dan Penggunaanya**

| Jenis Beton | *f'c* (MPa) | Uraian |
|---|---|---|
| Mutu Tinggi | 45 | Umumnya digunakan untuk beton prategang seperti tiang pancang beton prategang, gelagar beton prategang, pelat beton prategang dan sejenisnya |
| Mutu Sedang | 20-45 | Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma, kereb beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan, perkerasan kaku jalan |
| Mutu Rendah | 15-20 | Umumnya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti beton siklop, trotoar dan pasangan batu kosong yang diisi adukan |
| | 10-15 | Digunakan sebagai lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton |

(Sumber : Puslitbang Prasarana Transportasi, Divisi & 2005)

Kuat tekan beton pada umur 28 hari nilainya berkisar antara kurang lebih 10 – 65 MPa. Untuk struktur beton bertulang pada umumnya menggunaan beton dengan kuat tekan berkisar 17 – 30 MPa, sedangkan untuk beton prategang digunakan beton dengan kuat tekan yang lebih tinggi yaitu antara 30 – 40 MPa (Dipohusodo, 1994).

### 3.1.1 Jenis Beton

Jenis-jenis beton digunakan sesuai dengan keperluan agar dapat menjalankan fungsi yang dikehendaki dengan baik. Menurut Mulyono (2005) jenis- jenis beton diantaranya meliputi:

1. Beton bertulang

   Beton bertulang merupakan beton yang diberi tambahan besi tulangan dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncakanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja Bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja.

2. Beton normal

   Beton normal merupakan beton yang memiliki massa jenis 2200 kg/$m^3$ yang dibuat menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah.

3. Beton pracetak

   Beton pracetak merupakan elemen atau komponen beton tanpa atau dengan tulangan yang dicetak terlebih dahulu sebelum dirakit menjadi bangunan.

4. Beton prategang

   Beton prategang merupakan beton yang telah diberikan tegangan dalam bentuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat pemberian beban yang bekerja.

5. Beton ringan

   Beton ringan yaitu beton yang memakai agregat ringan atau campuran antara agregat kasar ringan dan pasir alami sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton 1850 kg/$m^3$ kering udara dan harus memenuhi ketentuan kuat tarik tekan dan kuat tarik beton ringan untuk tujuan structural.

### 3.1.2 Bahan Penyusun Beton

Beton terbentuk oleh campuran bahan-bahan dasar penyusun diantaranya sebagai berikut.

1. Agregat Kasar

   Agregat kasar adalah butiran butiran mineral yang tertinggal atau tidak lolos saringan / ayakan 4,8 mm (ASTM C33,1994). Agregat kasar memiliki sifat yang keras dan tidak berpori, pada umumya agregat kasar adalah agregat yang berukuran lebih dari 5 mm. agregat kasar dapat diperoleh dari alami atau dari pemecahan dengan alat atau mesin. sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahanya terhadap desentegrasi beton, cuaca dan hal yang dapat mempengaruhi kerusakan beton lainya, jenis agregat kasar yang umum digunakan adalah:

   a. Batu pecah alami, yaitu agregat kasar yang didapat dari cadas atau batu pecah alami tang digali
   b. Kerikil alami, yaitu agregat kasar yang diperoleh dari hasil pengikisan alami oleh air yang berada diteoi maupun dasar sungai
   c. Agregat kasar buatan, yaitu agregat yang diperoleh dari hasil buatan berupa *slag* atau *shale* yang umumnya digunakan pada beton ringan

2. Agregat halus

   Agregat halus adalah bahan pengisi berupa pasir alami maupun buatan yang berfungsi sebagai pengisi dalam campuran beton yang terdiri dari butir tajam dan keras, butit butir agregat halus harus bersifat kekal, yang berarti tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, ukuran dari agregat halus aadalah kurang dari 4,75 mm atau dengan kata lain lolos saringan No.4 dan tertahan pada saringan No.200. Menurut PBI 1971 persyaratan agregat halus sebagai bahan pengisi beton ialah sebagai berikut:

   a. Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras
   b. Butiran halus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur karena faktor cuaca. Sifat kekal agregat halus dapat diuji dengan larutan jenuh garam, jika

tercampur dengan natrium sulfat maksimum bagian yang hancur adalah 10% dari berat agregat

3. Semen *Portland*

   Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah dicampurkan dengan air. Semen memiliki peranan sangat penting dalam komposisi pencampuran beton, karena semen digunakan sebagai bahan pengikat butiran agregat hingga terbentuk menjadi suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di sela-sela antar agregat. Semen yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan beton tergolong ke dalam jenis semen hidrolis, semen hidrolis merupakan semen yang dapat bereaksi dengan air, tahan terhadap air, dan stabil di dalam air setelah mengeras. Selain itu, semen juga berfungsi untuk bereaksi dengan air hingga menjadi pasta semen yang nantinya digunakan untuk merekatkan butiran agregat agar dapa menjadi suatu massa yang padat (Tjokrodimuljo, 2007). Menurut SNI-03- 2834-2000 semen Portland di bagi menjadi beberapa jenis antara lain sebagai berikut:

   a. Semen *Portland* jenis I, yaitu semen *Portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus sepeerti yang disyaratkan pada semen jenis-jenis lain.
   b. Semen *Portland* jenis II, yaitu semen *Portland* yang dalam penggunaanya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
   c. Semen *Portland* jenis III, yaitu semen *Portland* yang dalam penggunaanya membutuhkan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
   d. Semen *Portland* jenis IV, yaitu semen *Portland* yang dalam penggunaanya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

4. Air

   Air merupakan salah satu bahan penyusun beton alami yang mudah ditemukan di sekitar lingkungan kita. Berdasarkan SNI 7974-2013, air yang digunakan dalam campuran beton harus bersih, tidak mengandung minyak, asam alkali, garam, zat organik atau bahan lainnya yang dapat merusak beton atau semua

logam yang ada di dinding. Pada pembuatan beton, air berperan sebagai pemicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pengerjaan beton. Air yang digunakan untuk bereaksi dengan semen *Portland* 25-30% dari berat semen, akan tetapi jika nilai faktor air semen kurang dari 0,35 adukan beton sulit dikerjakan, sehingga umumnya nilai faktor air semen lebih 0,40 agar adukan beton mudah di tuangkan ke bekisting, akan tetapi jumlah air juga tidak boleh terlalu banyak karena beton akan poros setelah mengeras yang mengakibatkan kualitias kekuatanya menjadi rendah.

3.1.3 Perencanaan Campuran Beton (SNI 2843-2000)

Perencanaan campuran beton (*Mix design*) bertujuan untuk mengetahui proporsi campuran yang sesuai dengan mutu beton yang akan direncanakan. Perencanaan dilakukan dengan menggunakan metode SNI 03-2834-2000. Berikut ini adalah tatacara perencanaan campuran beton berdasarkan ketentuan SNI 02-2834-2000.

1. Menentukan nilai standar devisi (Sd) penentuan nila standar deviasi berdasarkan tingkat pengendalian mutu pekerjaan Apabila mutu pekerjaan semakin baik maka nilai deviasi standar akan semakin kecil, apabila jumlah data hasil uji kurang dari 30 buah maka dilakukan koreksi terhadap nilai deviasi standar dengan factor pengali pada Tabel 3.1 dibawah dan apabila data hasil uji kurang dari 15, maka nilai tambah (M) yang diambil tidak kurang dari 12 MPa.

**Tabel 3.2 Faktor Pengali Deviasi Standar <30 Benda Uji**

| Jumlah Pengujian | Faktor Pengali Devisiasi Standar |
|---|---|
| <15 | - |
| 15 | 1,16 |
| 20 | 1,08 |
| 25 | 1,03 |
| ≥30 | 1,00 |

Sumber : SNI 03-2843-2000

Nilai tambah dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut ini M = 1,64 x Sr

Dengan:

M = nilai tambah (MPa)
Sr = devisiasi Standar Rencana (MPa)

2. Menentukan nilai kuat tekan rata-rata yang direncanakan menggunakan persamaan sebagai berikut.

   F'cr = f'c + M

   Dengan:

   F'cr = kuat tekan rata-rata yang direncanakan (MPa)

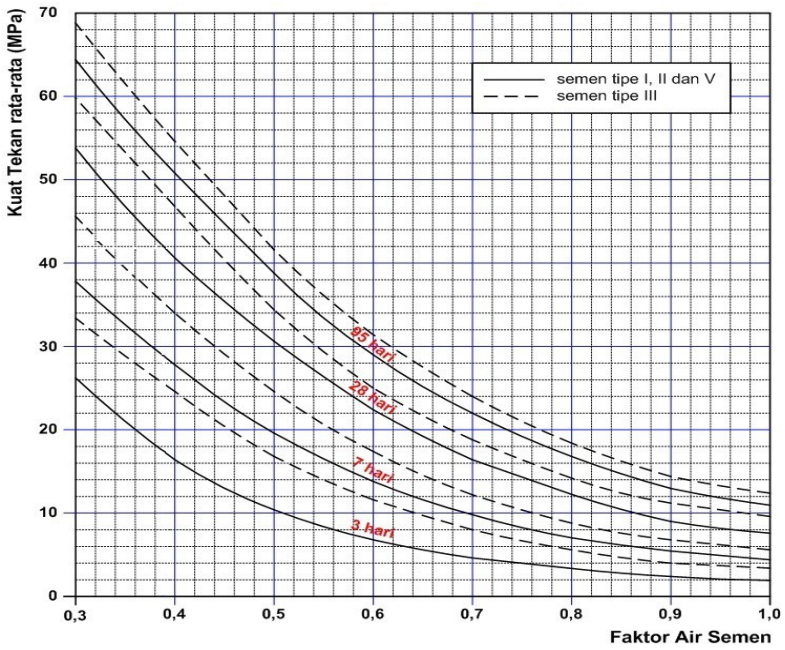
   F'c = kuat tekan beton (MPa)

   M = Nilai tambah
3. Menentukan jenis semen yang akan digunakan dalam proses pembuatan beton
4. Menentukan agregat yang digunakan untuk mengisi beton
5. Menentukan nilai faktor air semen (fas) dengan menggunakan tabel sebagia berikut.

**Tabel 3.3 Perkiraan Kuat Tekan (MPa)**

| **Jenis Semen** | **Jenis Agregat Kasar** | **Kekuatan tekan (MPa)** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **Umur (hari)** | | | | **Bentuk uji** |
| | | **3** | **7** | **28** | **29** | |
| Semen Portland Tipe 1 | Batu tak dipecahkan | 17 | 23 | 33 | 40 | Silinder |
| | Batu Pecah | 19 | 27 | 37 | 45 | |
| Semen tahan sulfat Tipe II,V | Batu tak dipecahkan | 20 | 28 | 40 | 48 | Silinder |
| | Batu Pecah | 25 | 32 | 45 | 54 | |
| Semen Portland Tipe III | Batu tak dipecahkan | 21 | 28 | 38 | 44 | Silinder |
| | Batu Pecah | 25 | 33 | 44 | 48 | |
| Semen Portland Tipe III | Batu tak dipecahkan | 25 | 31 | 46 | 53 | Kubus |
| | Batu Pecah | 30 | 40 | 53 | 60 | |

Sumber : SNI 03-2834-2000




**Gambar 3.3 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen**
Sumber : SNI 03-2834-2003

6. Menentukan jumlah jumlah semen minimum yang digunakan dan menentukan factor air semen maksimum berdasarkan Tabel 3. dibawah ini.

**Tabel 3.4 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum**

| Lokasi | Jumlah Semen Minimum Per $m^3$ beton (Kg) | Nilai Faktor Air Semen Maksimum |
|---|---|---|
| Beton didalam ruangan : | | |
| a. Keadaan keliling non-korosif | 275 | 0,60 |
| b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif | 325 | 0,52 |
| Beton diluar bangunan : | | |
| a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung | 325 | 0,60 |
| b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung | 325 | 0,60 |

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

**Lanjutan Tabel 3.4 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen**

| Lokasi | Jumlah Semen Minimum Per $m^3$ beton (Kg) | Nilai Faktor Air Semen Maksimum |
|---|---|---|
| Beton masuk kedalam tanah :<br>a. Mengalami keadaan basah dan kering<br>b. Mendapatkan pengaruh sulfat dan alkal dari tanah | 325<br>- | 325<br>Tabel 5 |
| Beton yang berhubungan terus dengan airtawar dan air laut | - | Tabel 6 |

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

7. Menentukan nilai *Slump* untuk mengetahui tingkat kelecakan (*workability*) pada suatu adukan beton
8. Menentukan ukuran butir agregat maksimum
9. Menentukan kadar air bebas agregat campuran dengan persamaan berikut.

   W = 2/3 W h + 2/3 Wk

   Dengan:

   W = kadar Air Bebas (kg/$m^3$)

   Wh = perkiraan jumlah air untuk agregat halus (kg/$m^3$)

   Wk = perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (kg/$m^3$)

   Nilai Wh dan Wk pada persamaan diatas diperoleh dari tabel sebagai berikut ini.

**Tabel 3.5 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m$^3$)**

| Slump | | 0-10 | 30-60 | 30-60 | 60-180 |
|---|---|---|---|---|---|
| Ukuran Besar Butir Agregat Maksimum | Jenis Agregat | - | - | - | - |
| 10 | Batu Tidak Dipecahkan | 150 | 180 | 205 | 225 |
| | Batu Pecah | 180 | 205 | 230 | 250 |
| 20 | Batu Tidak Dipecahkan | 135 | 160 | 180 | 195 |
| | Batu Pecah | 170 | 190 | 210 | 225 |
| 40 | Batu Tidak Dipecahkan | 115 | 140 | 160 | 175 |
| | Batu Pecah | 155 | 175 | 190 | 205 |

(Sumber : SNI 03-2834-2000)

10. Menghitung kadar semen yang dipakai perkubik beton dengan persamaan berikut

    C = W/Fas

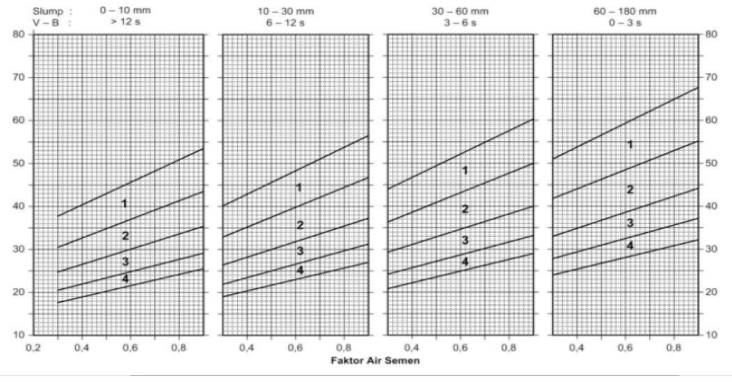
    Keterangan:

    C = jumlah semen (kg/m$^3$)

    W = kadar air bebas (kg/m$^3$)

    Fas= faktor air semen

11. Menentukan persentase agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan gambar grafik berikut ini.




**Gambar 3.4 Grafik Persentase Pasir Terhadap kadar Total Agregat (Ukuran Butir Maksimum 20mm)**

### 3.1.4 *Slump* Beton

Slump beton merupakan penurunan ketinggian pada pusat permukaan atas beton yang diukur segera setelah cetakan uji slump diangkat (SBI 03-1972-2008). Uji *Slump* dilakukan ketika beton dalam kondisi masih segar supaya dapat diketahui tingkat kemudahan pengerjaan atau *workability* dari beton tersebut. Nilai *slump* yang rendah menunjukkan bahwa campuran beton dalam keadaan kental sedangkan nilai *slump* yang tinggi menunjukkan bahwa camp

### 3.1.5 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban maksimal per satuan luas yang dapat ditahan beton sebelum beton mengalami pecah atau hancur. Kuat tekan beton diperoleh dengan melakukan pengujian pemberian tekanan pada permukaan benda uji beton menggunakan alat penguji sampel beton. Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar, agregat halus, dan air. Perbandingan dari air semen, semakin tinggi kekuatan tekanya, suatu julah tertentu airdiperlukan untuk memberi aksi kimiawi dalam pengerasan beton, kelebihan air meningkatkan kemampuan pekerjaan akan tetapi mengurangi kekuatan (Wang dan Salmon,1990). Berdasarkan SNI 1974-2011, nilai kuat tekan beton dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.9 berikut ini.

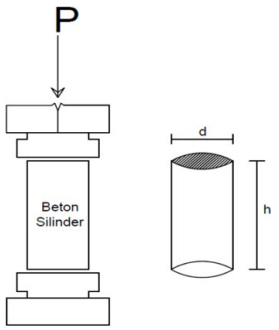
$f'c = P/A$

Dengan:

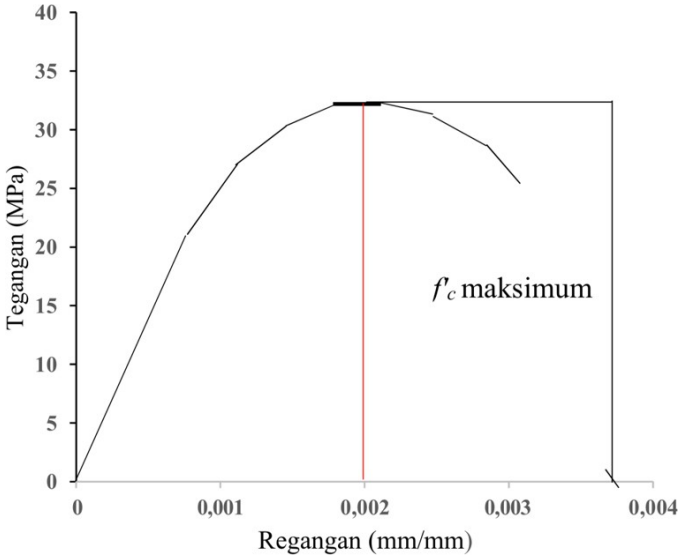
f'c = kuat tekan beton pada umur 28 hari (MPa)

P = gaya maksimum dari mesin tekan (N)

A = Luas penampang benda uji tekan ($mm^2$)




**Gambar 3.5 Ilustrasi Kuat Tekan Beton**




**Gambar 3.6 Kurva Tegangan – Regangan Beton**
(Dipohusodo, 1994)

Tegangan *f'c* bukanlah tegangan yang timbul pada saat benda ujii hancur, melainkan tegangan maksimum pada asaat regangan beton, selanjutnya nilai tegangan *f'c* akan turun dengan bertambahnya nilai regangan sampai benda uji hancur (Dipohusodo, 1994). Bahan beton bersifat elastoplastis dimana akibat beban yang sangat kecil sekalipun disamping memperlihatkan kemampuan elastis bahan, beton juga menunjukkan deformasi permanen (Dipohusodo, 1994).

Menurut Park dan Paulay (1975), tegangan lekat merupakan hubungan saling geser (*Shear interlock*) antara elemen tulangan dan beton disekitarnya yang disebabkan oleh berbagai faktor. Efek ini dapat dinyatakan dalam tegangan geser per satuan luas permukaan tulangan. Tegangan langsung ini ditransformasikan dari beton ke permukaan tulangan sehingga mengubah tegangan tarik diseluruh panjang tulangan melalui mekanis *bond*.

Menurut (Nawy, 1998 dan McGregor, J.M, 1992) secara umum kekuatan lekatan bergantung pada mekanisme utama sebagai berikut:

1. Adhesi, yaitu lekatan akibat adanya proses reaksi pengerasan semen dipermukaan tulangan
2. Friksi, merupakan tahanan geser terhadap gelinciran dan saling mengunci ketika tulangan mengalami tegangan Tarik

Beberapa kemungkinan yang dapat terjadi dari keruntuhan lekatan antara baja tulangan dan beton pada saat pengujian ditunjukkan oleh beberapa peristiwa berikut (Nuryani, 2005 dalam Sendow, 2018):

1. *Transfer Failure*

   *Transfer failure* yaitu adanya retakan pada beton arah melintang akibat tegangan tarik yang tidak dapat ditahan oleh selimut beton, keruntuhan ini akan menurunkan tegangan lekat antara baja tulangan dan beton.
2. *Splitting Failure*

   *Splitting failure* yaitu adanya retak pada beton arah memanjang akibat tegangan radial geser yang tidakn dapat ditahan oleh selimut beton, keruntuhan ini akan menurunkan tegangan lekat antara baja tulangan dan beton.
3. *Pullout Failure*

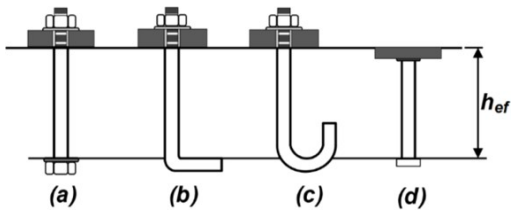
   *Pullout failure* yaitu dimana baja tulangan tercabut dari beton tanpa mengalami retak yang diakibatkan komponen tegangan geser yang memecah lekatan antara baja tulangan dan beton.
4. Baja tulangan mencapai leleh yaitu apabila baja tulangan meleleh diikuti oleh kontraksi atau pengecilan diameter tulangan, hal ini mengakibatkan tidak berfungsinya lekatan terhadap beton yang mengelilinginya, sehingga akan menurunkan atau bahkan hilangnya daya lekatan antara baja tulangan dan beton

### 3.2 Angkur

Angkur merupakan elemen baja baik ditanam dalam beton pada saat sebelum dicor (*cast in place)* atau dipasang setelahnya (*post installed)* ke dalam beton yang mengeras dan digunakan untuk menyalurkan beban (tarik dan geser) yang bekerja ke beton (SNI 2847:2019). Berdasarkan cara pemasangannya, angkur diklasifikasikan dalam 2 kelompok berdasarkan cara pemasangannya yaitu angkur untuk *cast in place* dan angkur pasca cor *post-installed*.

Pemasangan angkur *cast in place* merupakan metode yang paling sederhana dan kuat, namun memiliki beberapa kekurangan seperti proses pemasangan yang relatif sulit serta keterbatasan penggunaanya hanya pada konstruksi baru. Metode post installed memliki beberapa kelebihan diantaranya seperti proses pemasangan dan pelepasan yang relatif mudah dan cepat, dapat digunakan pada konstruksi baru maupun rehabilitasi konstruksi lama, serta banyaknya variasi jenis angkur yang menyesuaikan dengan kebutuhan konstruksi ( wiguntoro, 2020)

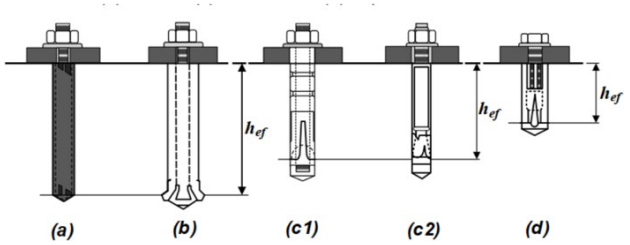
Jenis baut *cast in place* antara lain (a) baut segi enam dan ring; (b) baut-L; baut-J; dan (d) stud dilas ke *base-plate,* yang dipasang sebelum pengecoran beton. (Dewobroto, 2015).




**Gambar 3.7 Jenis Baut Angkur Cor di Tempat (*Cast in Place*)**

(Sumber : ACI 318)

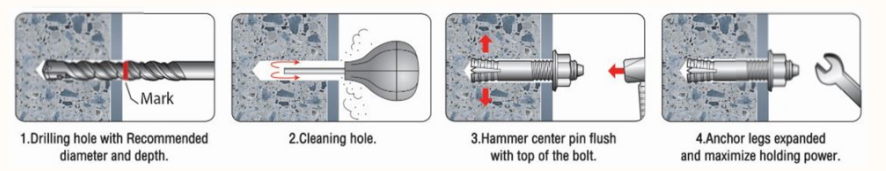
Baut angkur pasca pasang (*post-installed)* adalah angkur yang dipasang ketika beton sudah mengeras, diantaranya angkur ekspansi, angkur bertakik, dan angkur adesif. (Dewobroto, 2015). Baut angkur pasca pasang memiliki banyak jenis, yaitu meliputi (a) Angkur adesif; (b) Angkur bertakik; (c1) Angkur ekspansi; (c1) Angkur terkontrol puntir tipe selongsong; (c2) Angkur terkontrol puntir tipe stud; (d) Angkur ekspansi terkontrol perpindahan tipe *drop-in.* Angkur jenis pasca pasang merupakan produk buatan pabrik yang dibuat berdasarkan riset atau patent yang telah ditentukan. (Dewobroto, 2015).




**Gambar 3.8 Jenis Baut Angkur Pasca Pasang (*Post Installed*)**

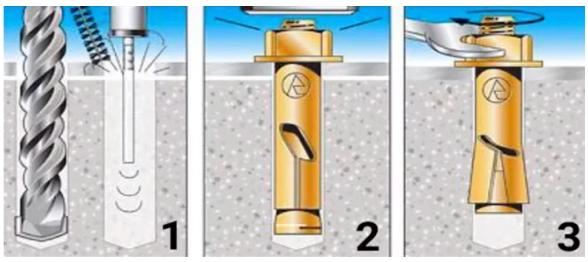
(Sumber : ACI 318)

Angkur yang digunakan dalam penelitian ini berupa angkur dengan tipe "*Hammer drive anchor*" dan angkur tipe "*Dynabolt*" yang masing-masing memiliki sedikit perbedaan dan memiliki kinerja yang hampir sama. Angkur "*Hammer drive anchor*" memiliki cara pemasangan yang berbeda dengan angkur "*Dynabolt*", yaitu dipasang dengan cara memukul pin bagian atas baut angkur setelah baut dimasukkan kedalam lubang yang sudah ditentukan, sedangkan angkur "*Dynabolt*" cara pemasangannya adalah dengan cara mengencangkan baut angkur setelah angkur diletakkan kedalam lubang yang sudah di tentukan. Kinerja dan pemasangan angkur "*Hammer drive anchor*" angkur "*Dynabolt*" dan dapat dilihat pada gambar berikut:




**Gambar 3.9 Kinerja dan Cara Pemasangan Angkur *Hammer Drive Anchor***

(Sumber: Google)




**Gambar 3.10 Kinerja Pemaangan Angkur *Dynabolt***

(Sumber : google)

### 3.3 Kuat Tarik Angkur

Kuat tarik angkur sama halnya dengan kuat tarik baja adalah kemampuan baja dalam menerima beban tarik per satuan luas penampang, yang bertujuan untuk mengetahui grafik tegangan regangan baja. Pengujian dengan penarikan batang uji secara terus menerus dengan gaya yang bertambah besar sampai putus dengan tujuan menentukan nilai tarik (SNI 07-0408-1989).

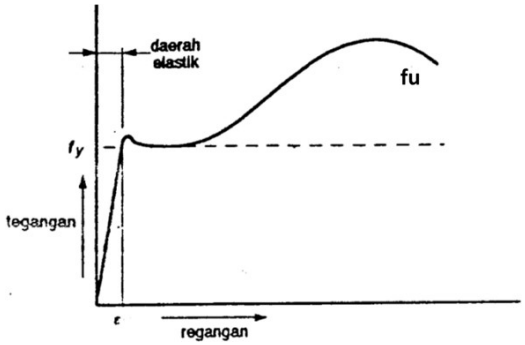
$\sigma$ = P/A

Dengan :

$\sigma$ = Tegangan (Mpa)

P = tekanan (N)

A = luas penampang ($mm^2$)




**Gambar 3.11 Grafik Tegangan-Regangan Baja**
(Sumber : ACI 318)

Dengan pengujian Tarik baja fy (*yield*) dan fu (*ultimate*)

E*c* = L/L0

Dengan :

E*c* = regangan

L = pertambahan panjang (mm)

L0 = panjang mula mula (mm)

### 3.4 Tegangan Lekat

Tegangan lekat merupakan suatu hubungan antara elemen tulangan dan beton yang saling geser (*Shear Interlock*) akibat berbagai factor (Park dan paulay, 1975:394). Menurut Nawy (1998), kekuatan suatu lekatan antara beton dan tulangan baja dipengaruhi oleh beberapa faktor meliputi adhesi, friksi, efek *gripping*, kualitas beton, penjangkaran ujung ujung tulangan, dan diameter. Mengacu pada jurnal yang ditulis oleh Novera, K (2022), rumus untuk mengetahui kuat lekat dapat dilihat sebagai berikut.

$$\mu = \frac{P}{\pi . db . lb}$$

Dimana,

P = Gaya tarik (N)

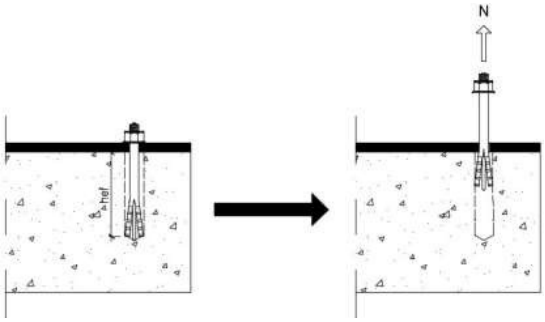
$\mu$ = Kuat lekat (MPa)

lb = Panjang tulangan yang tertanam (mm)

db = Diameter tulangan baja (mm)

### 3.5 Kegagalan Cabut Angkur (*Pull Out Failure*)

Kegagalan *Pull Out* merupakan suatu kegagalan angkur yang terjadi ketika angkur tercabut dari lubang bor pada beton. Kegagalan *Pull Out* terjadi ketika mekanisme *interlock* pada angkur tidak cukup memadai untuk menahan gaya terik eksternal sehingga terjadilah *slip* sehingga angkur tercabut keluar dari lubang bor pada beton.




**Gambar 3.12 Kegagalan *Pull Out* Angkur Terhadap Beton**

(Sumber : ACI 318)

Beberapa peraturan seperti ACI 318-14-2011, tidak memberikan model untuk memprediksi kapasitas *Pull out* pada angkur ekspansi. Akan tetapi bagaimanapun kegagalan *Pull out* tetap perlu diperhitungkan untuk mengantisipasi adanya kemungkinan terjadinya kegagalan struktur. Kegagalan *Pullout* juga dapat terjadi ketika angkur tidak mengembang dengan baik atau mekanisme *interlock* tidak cukup memadai untuk menahan gaya tarik yang diterima, sehingga terjadi *slip* (Eligehausen, 2006). Berikut merupakan rumus dengan pendekatan kuat lekatan baut terhadap beton untuk mengetahui besarnya kapasitas kuat cabut angkur dalam pengujian *Pull out* dengan pendekatan teori *bond slip* dan interlocking.

Npg = $\pi . hef . da . \mu$

Dimana,

Npg = kapasitsas *Pull out* angkur (mm)

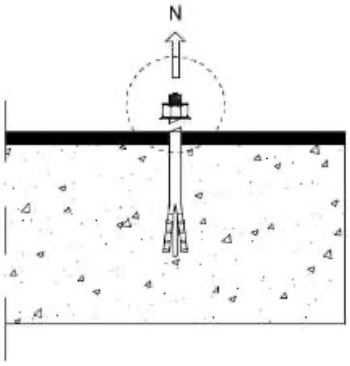
hef = kedalaman angur (mm)

da = diameter angkur (mm)

$\mu$ = tegangan lekatan hasil pengujian (MPa)

### 3.6 Kegagalan Angkur Patah Akibat Gaya Tarik (*Steel failure*)

Kegagalan angkur patah akibat gaya tarik yang diberikan dapat terjadi namun ikatan ke beton lebih besar daripada kekuatan komponen angkur yang digunakan sehingga menyebabkan angkur mengalami fraktur. Kegagalan ini terjadi ketika tegangan tarik mencapai kondisi ultimit yang tidak mampu ditahan oleh angkur tersebut.




**Gambar 3.13 Kegagalan putus angkur terhadap gaya tarik**

Kuat tarik rencana baut angkur dapat ditentukan mengacu SNI 2844-2019 yang memberikan model untuk memprediksi kuat tarik rencana yang dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

Nsa = AseN . *fua*

Dimana :

Nsa = Kuat tarik nominal baut angkur (N)

AseN = Luas penampang efektif terhadap gaya tarik ($mm^2$)

*fua.* =Kuat tarik baut angkur (MPa)

### 3.7 Metode *Post Installed*

Metode *Post Installed* dalam pengujian *Pull Out* angkur merupakan metode pemasangan angkur dengan cara angkur yang digunakan dipasang ketika beton sudah mengeras atau sudah jadi. Dengan menentukan titik lokasi lubang yang sudah ditentukan sesuai desain yang sudah ditentukan, kemudian titik lokasi lubang tersebut akan digunakan untuk dipasangnya angkur tersebut. Dalam metode *Post Installed* angkur, ada beberapa jenis angkur berdasarkan cara pemasangannya yaitu angkur *mechanical* dan angkur *chemical*. *Mechanical Anchor* merupakan angkur yang pada proses pemasangannya tidak menggunakan bahan kimia sama sekali, sehingga kuat rekat angkur ditentukan oleh kualitas angkur yang digunakan dan kekuatan material dinding yang digunakan. Sedangkan *Chemical Anchor* merupakan angkur yang dalam pemasangannya menggunakan bahan kima yang disebut dengan *Chemical Epoxy* yang berfungsi sebagai bahan perekat antara angkur yang tertanam pada beton.

# BAB IV
# METODE PENELITIAN

## 4.1 Umum

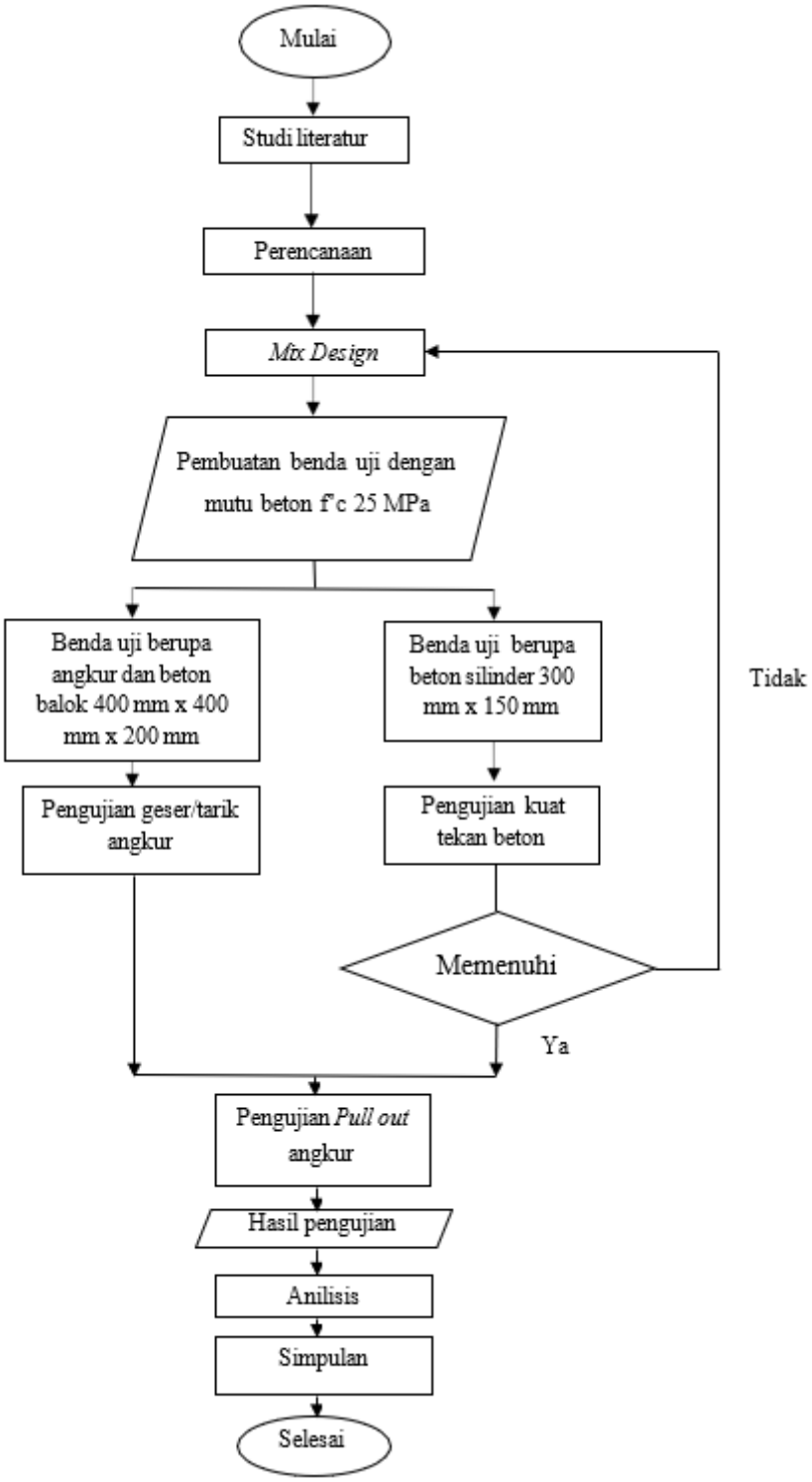
Metode penelitian merupakan langkah-langkah yang akan ditempuh dalam melaksanakan sebuah penelitian secara sistematis dan Teknik pengumpulan data yang diperoleh dalam penelitian. Metode yang digunkan dalam penelitian adalah metode eksperimental lanboratorium yang dilakukan di laboratorium yang telah disesuaikan dengan yang sudah direncanakan dan mendapatkan hasil berupa data dalam penelitian tersebut.

Dalam hal ini, penelitian yang akan dilakukan adalah pengujian tarik baut angkur dengan metode *Post Installed* dengan angkur berdiameter 10 mm, kedalaman efektif (hef) 80 mm, dan mutu beton sebesar 25 MPa. Adapun tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui perbandingan hasil eksperimen kuat tahanan cabut angkur yang dilakukan di laboratorium dengan menggunakan metode *post installed.* Kemudian memverifikasi analisis teoritis sesuai yang ada di dalam SNI dengan hasil pengujian yang dilakukan pada laboratorium.

## 4.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian pengujian *Pull out* angkur akan dilaksanakan pada 19 Februari 2024 berlokasi di Laboratorium Bahan dan Struktur Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

## 4.3 Alur Penelitian




**Gambar 4.1 Diagram Alir Penelitian**

## 4.4 Alat dan Bahan

Dalam penelitan pengujian tarik baut angkur yang dilakukan diperlukan persiapan pada alat yang akan digunakaan untuk pelaksanaan penelitian ini. Berikut ini adalah alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini diantaranya:

1. Bekisting

   Bekisting digunakan untuk menentukan dimensi benda uji yang akan digunakan dalam pengujian tarik baut angkur. Bekisting yang akan digunakan dalam pengujian tarik angkur baik yang dilakukan dengan cara *Cast in Place* dan *Post Installed* diantaranya menggunakan bekisting berbentuk persegi dengan ukuran 400 mm x 400 mm x 200 mm.

2. Alat ukur

   Alat ukur yang digunakan yaitu caliper dan rol meter. Caliper maupun roll meter digunakan untuk mengukut dimensi benda uji pada pengujian tarik. Alat ini digunakan untuk mendapatkan ukuran atau dimensi yang tepat.

3. Mesin *Universal Testing Machine* (UTM)

   Adapun mesin pengujian kuat tarik cabut angkur terhadap beton yaitu berupa mesin UTM dengan merk Shimatsu type UMH 30 kapasitas 30 ton

Dalam peneletian kapasitas tarik baut angkur ke beton diperlukan bahan-bahan yang perlu dipersiapkan diantaranya sebagai berikut:

1. Baut angkur ekspansi tipetipe *Hammer drive anchor* dan *Dynabol* diameter 10 mm dengan kedalaman efektif 80 mm.
2. Beton yang digunakan menggunakan beton dengan mutu f'c 25 MPa

## 4.5 Pengujian Kuat Tarik Angkur

Pengujian kuat tarik angkur dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh nilai *fy* dan grafik tegangan pada angkur yang akan dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Fakultas Teknik Sipil Unviversitas Islam Indonesia. Dalam pengujian kuat tarik angkur akan dilakukan dengan menggunakan 3 benda uji atau angkur dengan tipe *Hammer drive anchor* dengan diameter 10 mm panjang 120 mm,

dan angkur tipe *Dynabolt anchor* dengan diameter 10 mm panjang 120 mm. Adapun langkah-langkah pengujian kuat tarik angkur sebagai berikut:

1. Benda uji yang disiapkan yaitu berupa kedua tipe angkur ekspansi jenis *Dynabolt* dan *Hammerdrive anchor* M10 x 120 dengan memiliki dimensi ber diameter 12 mm dan panjang 120 mm.
2. Setelah sampel benda uji sudah siap dan sudah diletakkan di pada mesin penguji dengan memodifikasi panjang benda uji dengan cara menambahkan besi ulir berukuran diameter 14 mm dan yang di las masing-masing panjang 20 cm pada bagian atas dan bawah angkur untuk menaruh benda uji dengan membuat mounting dengan menggunakan plat besi yang telah dimodifikasi supaya untuk menahan benda uji agar tidak jatuh ketika proses pengujian berlangsung. Benda uji yang sudah dimodifikasi dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut.



**Gambar 4.2 Benda Uji Pengujian Tarik Angkur**

3. Mesin UTM dihidupkan sesuai dengan prosedur, pertama dengan menekan tombol ON kemudian setting format data. Pastikan mesin dalam posisi nol sebelum pengujian dilakukan.

4. Benda uji dipasang pada mesin UTM dengan cara memasangkan benda uji pada kedua grip mesin UTM dan atur sesuai ukuran benda uji, dan pastikan benda uji terpasang dengan sempurna.



**Gambar 4.3 Pemasangan Benda Uji Pada Mesin UTM**

5. Tekan tombol *start* pada mesin UTM, kemudian amati pengujian yang sedang berjalan pada layer monitor dan amati grafik tegangan yang ditampilkan pada monitor.
6. Setelah terdengar bunyi bahwa spesimen telah tercabut ataupun putus, maka tunggu beberapa saat kemudian spesimen dilepas dari kedua grip pada alat UTM tersebut dan amati kerusakannya, dan setelah itu didapatkan nilai kuat tarik angkur tersebut.

## 4.6 Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder

Pengujian kuat tekan beton silinder ini dilakukan sebagai *trial and error* agar dapat mengehtauhui nilai f'c beton apakah sudah sesuai dengan rencana atau belum sesuai rencana *mix design* yang nantinya hasil pengujian tersebut digunakan sebagai acuan pembuatan benda uji dalam pengujian tarik cabut angkur (*Pull Out test*). Adapun langkah- langkah pengujian kuat tekan beton sebagai berikut:

1. Disiapkan benda uji yaitu berupa beton yang di cetak menggunakan cetakan berbentuk silinder berukuran 150 x 300 mm. Adapun benda uji yang diperlukan yaitu sebanyak 6 sampel benda uji. Tuang beton kedalamcetakan dan dipadatkan dengan cara di tusuk menggunakan besi sebanyak 25 kali di setiap 1/3 penuangan beton, setelahkan dipadatkan beton di simpan selama 28 hari.
2. Setelah 28 hari, beton dikeluarkan dari cetakan kemudian beton direndam pada saat proses perawatan benda uji (*curing*) selama 1 minggu. Proses tersebut bertujuan untuk mencegah keretakan pada beton akibat dari proses ketidakstabilan senyawa kimia yang terkandung didalam beton, selain itu proses *curing* berguna untuk menjaga beton agar tidak kehilangan kadar air ketika mengalami proses pengerasan awal.
3. Timbang masing-masing benda uji dan catat hasil penimbangan tersebut, kemudian dilanjutkan proses *capping* yaitu dengan melapisi permukaan silinder beton menggunakan belerang dengan tujuan agar permukaan beda uji rata dan pada saat pengujian pembebanan uji tekan tersalurkan secara merata sehingga data yang didapatkan dari hasil pengujian akurat.



**Gambar 4.4 Proses *Capping* Pada Sampel Benda Uji Silinder**

4. Kemudian dimulai pembebanan menggunakan mesin uji tekan hingga benda uji mengalami kerusakan.
5. Kemudian catat beban maksimum selama pengujian kuat tekan berlangsung dan amati kerusakan benda uji
6. Hasil pengujian kuat tekan, daya dukung dari benda uji diperoleh dari manometer, yang mana ditunjukkan ketika jarum di manometer mencapai angka paling besar sebelum perlahan turun.

## 4.7 Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji (*curing*) merupakan langkah berkelanjutan yang dilakukan untuk menjaga kualitas benda uji agar mendapatkan hasil yang sesuai dengan perencanaan benda uji. Dalam pembuatan beton, proses *curing* harus dilakukan setelah beton mengalami fase *hardening* atau setelah pelepasan beton dari bekisting dengan tujuan untuk menjaga beton ketika proses pengeringan dalam beton akibat dari reaksi kimia paa beton tersebut serta menjaga kadar air dalam pengerasan awal beton. Proses curing yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut.



**Gambar 4.5 Proses *Curing* Pada Benda Uji**

Proses *curing* juga berguna untuk menjaga kelembapan dan suhu beton yang dapat mencegah terjadinya keretakan beton ketika proses pengerasan. Berikut merupakan cara dalam, perawatan beton berdasarkan SNI 2493-2011:

1. Benda uji ditutup permukaanya menggunakan plastik atau goni basah untuk mencegah masuknya tetesan air ke dalam beton dan menghindari penguapan air dari beton yang belum mengeras.
2. Benda uji dibuka dari bekisting atau pembongkaran bekisting 24 jam setelah penuangan beton kedalam bekisting.
3. Benda uji direndam dalam bak berisi air tenang sebagai langkah perawatan benda uji setelah di buka dari cetakan. Benda uji tidak boleh diletakkan pada air mengalur ataupun air yang menetes.

## 4.8 Pengujian *Pull Out Test*

Benda uji dalam pengujian tarik angkur dari beton yaitu berupa balok dengan dimensi 400 mm x 400 mm x 200 mm. Pembuatan benda uji terlebih dahulu dilakukan pengecoran ke dalam bekisting yang sudah disiapkan hingga terisi ke seluruh bekisting.

Pengujian tarik baut angkur ke beton dilakukan di Labolatorium Bahan dan Struktur Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia Yogyakarta. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kapasitas kuat tarik antara baut angkur yang dipasang secara *cast in place* (angkur dipasang pada saat akan melakukan pengecoran). Dengan *post installed* (Angkur dipasang setelah beton jadi atau mengeras). Angkur yang digunakan tipe M12 x 120 mm dan angkur tipe *Dynabolt* dengan ukuran M12 x 120 mm. Pengujian tarik baut angkur ke beton menggunakan UTM yang mana alatnya direkayasa sesuai perencanaan, langkah-langkah yang dilakukan diantaranya.

1. Benda uji yang disiapkan yaitu berupa kedua tipe angkur ekspansi jenis *Dynabolt* dan *Hammerdrive anchor* M12 x 120 dengan memiliki dimensi ber diameter 12 mm dan panjang 120 mm yang sudah dipasang ke beton berukuran dimensi Panjang 40 cm dan tinggi 20 cm. Setelah angkur terpasang pada beton perlu dilakukan modifikasi benda uji dengan cara menambahkan besi ulir yang di las dengan menggunakan besi ulir berukuran 16 mm dan pada bagian las perlu ditambahkan plat besi dengan tujuan sebagai penguat las sambungan tersebut, hal ini dilakukan karena benda uji tidak memenuhi Panjang minimal benda uji pada mesin UTM yang ada di Laboratorium,

2. Setelah sampel benda uji sudah siap dan sudah diletakkan di pada mesin penguji dengan memodifikasi *mounting* untuk menaruh benda uji dengan membuat mounting dengan menggunakan plat besi yang telah dimodifikasi supaya untuk menahan benda uji agar tidak jatuh ketika proses pengujian berlangsung.



**Gambar 4.6 Proses Pemasangan Benda Uji Pada Pengujian *Pull Out***

3. Mesin UTM dihidupkan sesuai dengan prosedur, pertama dengan menekan tombol ON kemudian setting format data. Pastikan mesin dalam posisi nol sebelum pengujian dilakukan.
4. Spesimen dipasang pada mesin UTM dengan cara memasangkan benda uji pada kedua grip mesin UTM dan atur sesuai ukuran benda uji, dan pastikan benda uji terpasang dengan sempurna.
5. Tekan tombol *start* pada mesin UTM, kemudian amati pengujian yang sedang berjalan pada layer monitor dan amati grafik tegangan yang ditampilkan pada monitor.
6. Setelah terdengar bunyi bahwa spesimen telah tercabut ataupun putus, maka tunggu beberapa saat kemudian spesimen dilepas dari kedua grip pada alat UTM tersebut dan amati kerusakannya, dan setelah itu didapatkan nilai kuat tarik angkur tersebut.

## 4.9 Standar Pengujian

Berikut merupakan acuan standard an peraturan-peraturan yang digunakan dalam penelitian yang dilakukan oleh penulis meliputi sebagai berikut:

1. Pengujian kuat tekan mengacu pada SNI 1974-2011

2. Mutu beton yang digunakan pada pengujian *Pull Out* mengacu pada SNI 2847:2019
3. Pengujian kuat tarik baut mengacu pada SNI 07-2529-1999 dan SNI 07-0408-1989
4. Pengujian kuat geser baut mengacu pada SNI 1729:2015
5. Pengujian *Pull Out* mengacu pada SNI 2847-2019 dan *Appendix* D ACI318-14

.

# BAB V
# ANALISIS DAN PEMBAHASAN

## 5.1 Tinjauan Umum

Setelah selesai melakukan *trial and error* beton dan pengujian pullout beton yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi (BKT), didapatkan hasil berupa data pengujian kuat tekan beton dan kapasitas kuat cabut angkur terhadap beton. Selanjutnya dilakukan pengujian tarik angkur bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tarik dari material angkur itu sendiri sehingga dapat mengetahui spesifikasi dari seluruh komponen yang menjadi bahan pembuatan benda uji yang digunakan dalam pengujian pengujian *Pull out* yang menggunakan metode *post installed* pada pemasangan angkur pada benda uji berupa beton fc'25 MPa.

## 5.2 Pengujian Agregat

Bahan penyusun dalam penelitian salah satu diantaranya beton, dalam penelitian ini beton berperan penting sebagai salah satu komponen utama dalam pengujian *pull out*. Dalam penelitian ini penulis melakukan pengujian terhadap agregat halus dan agregat kasar sebagai dasar dalam melakukan *mix design*.

### 5.2.1 Pengujian Agregat Halus

Dalam pengujian agregat halus yang digunakan adalah pasir Merapi, penulis melakukan beberapa pengujian meliputi pengujian berat jenis dan pengujian kadar air, pengujian berat volume dan analisa saringan.

1. Pengujian berat jenis dan kadar air

   Pengujian berat jenis dan pengujian kadar air pada sampel 1 dianalisis menggunakan acuan dari SNI 1970-1990 persamaan sebagai berikut.

   Berat jenis curah $= \frac{Bk}{(B+500-Bt)}$

   $= \frac{476}{(833+500-1145)}$

   = 2,53 gram

Berat jenis SSD $= \frac{500}{(B+500-Bt)}$

$= \frac{500}{(833+500-1145)}$

= 2,66 gram

Berat jenis semu $= \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)}$

$= \frac{476}{(833+476-1145)}$

= 2,90 gram

Penyerapan air $= \frac{Bj-Bk}{(Bk)}\ x\ 100\%$

$= \frac{500-476}{476}\ x\ 100\%$

= 5,04 %

Dengan:

Bk = berat pasir kering mutlak (gram)

Bt = berat piknometer pasir dan air (gram), dan

B = berat piknometer berisi air (gram)

Untuk perhitungan sampel 2 dilakukan dengan cara uang sama untuk mendapatkan nilai berat jenis dan penyerapan agregat kasar dan nilai rata-ratanya. Adapun rekapitulasi perhitungan hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

**Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus**

| Keterangan | Hasil Pengamatan | | | Satuan |
|---|---|---|---|---|
| | Sampel 1 | Sampel 2 | Rata-rata | |
| Berat pasir kering mutlak, gram (Bk) | 476,00 | 477,00 | 476,50 | gram |
| Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram (Bj) | 500,00 | 500,00 | 500,00 | gram |
| Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt) | 1145,00 | 1145,00 | 1145,00 | gram |
| Berat piknometer berisi air, gram (B) | 833,00 | 833,00 | 833,00 | gram |
| Berat Jenis Curah, Bk / (B+Bj-Bt) | 2,53 | 2,54 | 2,535 | |
| Berat Jenis jenuh kering muda (SSD), Bj / (B+Bj-Bt) | 2,66 | 2,66 | 2,66 | |
| Berat Jenis semu, Bk / (B+Bk-Bt) | 2,90 | 2,89 | 2,90 | |
| Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100% | 5,04 | 4,82 | 4,93 | % |

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus yang telah dilakukan maka didapat berat jenis jenuh kering muka dengan rata-rata sebesar 2,66 gram.

2. Pengujian Analisa saringan agregat halus

   Pengujian Analisa saringan agregat mengacu pada SNI 1968-1990 dengan berat agregat 200 gram. Pada pengujian ini didapatkan data berat pasir yang tertinggal disetiap nomor saringan yang tertera pada table 5.2 berikut.

   Adapun perhitungan analisa saringan agregat halus pada sampel 1 adalah sebagai berikut.

   a. Persentase Berat Tertinggal

      Persentase berat tertinggal $= \frac{Berat\ Tertinggal}{\sum Berat\ Tertinggal}\ x\ 100\%$

      Lubang ayakan 4,8 mm $= \frac{1}{2235}\ x\ 100\%$

      $= 0{,}04\%$

      Lubang ayakan 2,4 mm $= \frac{119}{2235}\ x\ 100\%$

      $= 5{,}37\%$

      Lubang ayakan 1,2 mm $= \frac{482}{2235}\ x\ 100\%$

      $= 21{,}57\%$

Lubang ayakan 0,6 mm $= \frac{639}{2235}\ x\ 100\%$

$= 28{,}59\%$

Lubang ayakan 0,3 mm $= \frac{484}{2235}\ x\ 100\%$

$= 21{,}66\%$

Lubang ayakan 0,15 mm $= \frac{392}{2235}\ x\ 100\%$

$= 17{,}54\%$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

Lubang ayakan 4,8 mm = 0,04%

Lubang ayakan 2,4 mm = 0,04% + 5,32%

= 5,37%

Lubang ayakan 1,2 mm = 21,57% + 5,37%

= 26,94%

Lubang yakan 0,6 mm = 28,59 % + 26,94 %

= 55,53 %

Lubang ayakan 0,3 mm = 21,66 % + 55,53 %

= 77,18 %

Lubang ayakan 0,15 mm = 17,54 % + 77,18 %

= 94,72 %

c. Persentase Lolos Kumulatif

Lubang ayakan 4,8 mm = 100 % - 0,04%

= 99,96 %

Lubang ayakan 2,4 mm = 100% - 5,37%

= 94,63 %

Lubang ayakan 1,2 mm = 100 % - 26,94 %

= 73,06 %

Lubang ayakan 0,6 mm = 100 % - 55,53 %

= 44,47 %

Lubang ayakan 0,3 mm = 100 % - 77,18 %

= 22,82 %

Lubang ayakan 0,15 mm = 100 % - 94,72 %

= 5,28 %

d. Modulis Halus Butir (MHB)

Berdasarkan hasil uji analisa saringa dapat dihitung nilai modulus halus butirdengan perhitungan sebagai berikut.

MHB $= \frac{\sum Persentase\ Berat\ Tertinggal\ Kumulatif}{100}$

MHB sampel 1 $= \frac{\sum Persentase\ Berat\ Tertinggal\ Kumulatif}{100}$

$= \frac{259,78}{100}$

= 2,60 gram

MHB sampel 2 $= \frac{\sum Persentase\ Berat\ Tertinggal\ Kumulatif}{100}$

$= \frac{258,70}{100}$

= 2,59 gram

Pada sampel 2 dilakukan dengan cara yang sama untuk perhitungan analisa saringan agregat halus. Adapun rekapitulasi perhitungan hasil pengujian analisa saringan pada sampel 1 dan sampel 2 tertera pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 berikut.

**Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Halus pada Sampel 1**

| Lubang Ayakan (mm) | Berat Tertinggal (gram) | Berat Tertinggal (%) | Berat Tertinggal Kumulatif (%) | Persen Lolos Kumulatif (%) |
|---|---|---|---|---|
| 40,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 20,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 10,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 4,80 | 1 | 0,04 | 0,04 | 99,96 |
| 2,40 | 119 | 5,32 | 5,37 | 94,63 |
| 1,20 | 482 | 21,57 | 26,94 | 73,06 |
| 0,60 | 639 | 28,59 | 55,53 | 44,47 |
| 0,30 | 484 | 21,66 | 77,18 | 22,82 |
| 0,15 | 392 | 17,54 | 94,72 | 5,28 |
| Sisa | 118 | 5,28 | 0 | 0 |
| Jumlah | 2235 | 100 | 259,78 | |
| | | | MHB = | 2,60 |

**Tabel 5.3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Halus pada Sampel 2**

| Lubang Ayakan (mm) | Berat Tertinggal (gram) | Berat Tertinggal (%) | Berat Tertinggal Kumulatif (%) | Persen Lolos Kumulatif (%) |
|---|---|---|---|---|
| 40,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 20,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 10,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 4,80 | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 2,40 | 129 | 5,26 | 5,26 | 94,74 |
| 1,20 | 523 | 21,32 | 26,58 | 73,42 |
| 0,60 | 705 | 28,74 | 55,32 | 44,68 |
| 0,30 | 537 | 21,89 | 77,21 | 22,79 |
| 0,15 | 420 | 17,12 | 94,33 | 5,67 |
| Sisa | 139 | 5,67 | 0 | 0 |
| Jumlah | 2453 | 100,00 | 258,70 | |
| | | | MHB = | 2,59 |

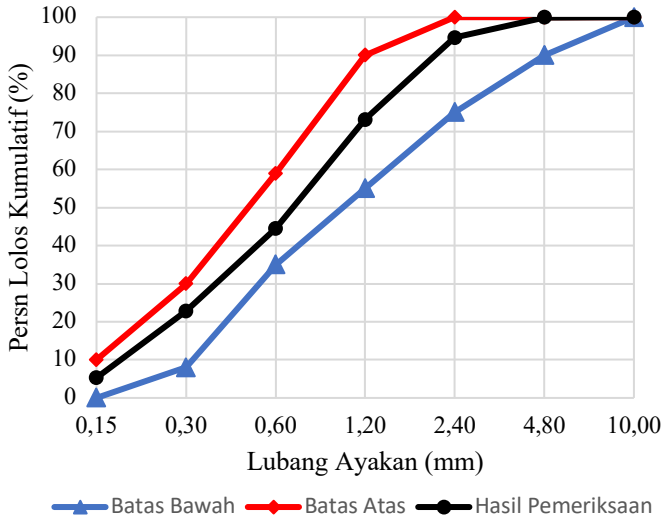
Nilai modulus modulus halus butir agregat halus menurut SK SNI S-04-1989-F yaitu antara 1,5 hingga 3,8. Sehingga nilai modulus halus butir agregat halus pada uji ini telah memenuhi syarat. Hasil analisa saringan juga digunakan untuk

menentukan gradasi agregat berdasarkan tabel gradasi agregat halus yang tertera pada Tabel 5.4. Dari tabel gradasi tersebut dibuat kurva gradasi agregat halus yang dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 berikut.

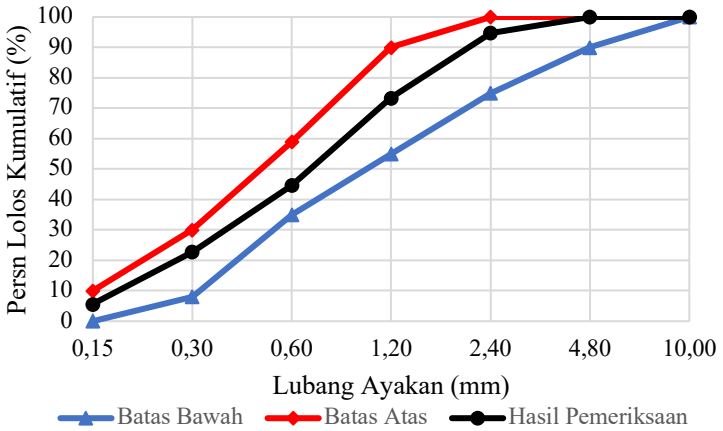
**Tabel 5.4 Gradasi Agregat Halus**

| Lubang Ayakan (mm) | Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Daerah I | Daerah II | Daerah III | Daerah IV |
| 10,00 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 4,80 | 90 - 100 | 90 - 100 | 90 - 100 | 95 - 100 |
| 2,40 | 60 - 95 | 75 - 100 | 85 - 100 | 95 - 100 |
| 1,20 | 30 - 70 | 55 - 90 | 75 - 100 | 90 - 100 |
| 0,60 | 15 - 34 | 35 - 59 | 60 - 79 | 80 - 100 |
| 0,30 | 5- 20 | 8 - 30 | 12 - 40 | 15 - 50 |
| 0,15 | 0 - 10 | 0 - 10 | 0 - 10 | 0 - 15 |

(sumber: SNI 2834-2000)




**Gambar 5.1 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah III Pada Sampel 1**




**Gambar 5.2 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah III pada Sampel 2**

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Halus

   Uji berat volume gembur dan padat agregat halus mengacu pada SNI 1804-1998. Data pengujian tertera pada Tabel 5.5 dan Tabel 5.6. Perhitungan berat volume gembur dan padat agregat halus sampel 1 adalah sebagai berikut.

   a. Berat Volume Gembur

      Berat agregat (W3) = W2 – W1

      = 18145 - 11057

      = 7088 gram

      Volume tabung (V) $= \frac{1}{4}\pi d^2 t$

      $= \frac{1}{4}\pi x 15{,}50^2 x\ 30{,}10$

      = 5679,63 cm$^3$

      Berat Volume Gembur $= \frac{W3}{V}$

      $= \frac{7088}{5679{,}63}$

      = 1,25 gram/ cm$^3$

   b. Berat Volume Padat

      Berat agregat (W3) = W2 – W1

      = 18714 - 11057

      = 7657 gram

Volume tabung (V) $= \frac{1}{4}\pi d^2 t$

$= \frac{1}{4}\pi x 15{,}50^2 \; x \; 30{,}10$

$=$ 5679,63 cm$^3$

Berat Volume Gembur $= \frac{W3}{V}$

$= \frac{7657}{5679{,}63}$

= 1,35 gram/ cm$^3$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama untuk mendapatkan nilai berat volume padat dan volume gembur agregat halus untuk sampel 2, maka diperoleh rekapitulasi hasil pengujian berat volume gembur dan padat pada agregat halus yang dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus**

| Uraian | Hasil Pengamatan | | | Satuan |
|---|---|---|---|---|
| | Sampel 1 | Sampel 2 | Rata-rata | |
| Berat Tabung (W1) | 11057 | 11057 | 11057 | gram |
| Berat Tabung + Agregat SSD (W2) | 18145 | 18145 | 18145 | gram |
| Berat Agregat (W3) | 7088 | 7088 | 7088 | gram |
| Diameter Tabung (d) | 15,5 | 15,5 | 15,5 | cm |
| Tinggi Tabung (t) | 30,1 | 30,1 | 30,1 | cm |
| Volume Tabung (V) | 5679,63 | 5679,63 | 5679,63 | cm$^3$ |
| Berat Volume Gembur | 1,25 | 1,25 | 1,25 | gram/cm$^3$ |

**Tabel 5.6 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus**

| Uraian | Hasil Pengamatan | | | Satuan |
|---|---|---|---|---|
| | Sampel 1 | Sampel 2 | Rata-rata | |
| Berat Tabung (W1) | 11057 | 11057 | 11057,00 | gram |
| Berat Tabung + Agregat SSD (W2) | 18714 | 18714 | 18714,00 | gram |
| Berat Agregat (W3) | 7657 | 7657 | 7657,00 | gram |
| Diameter Tabung (d) | 15,50 | 15,50 | 15,50 | cm |

**Lanjutan Tabel 5.6 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus**

| Uraian | Hasil Pengamatan | | | Satuan |
|---|---|---|---|---|
| | Sampel 1 | Sampel 2 | Rata-rata | |
| Tinggi Tabung (t) | 30,10 | 30,10 | 30,10 | cm |
| Volume Tabung (V) | 5679,63 | 5679,63 | 5679,63 | $cm^3$ |
| Berat Volume Gembur | 1,35 | 1,35 | 1,35 | $gram/cm^3$ |

Dari pengujian tersebut, diperoleh hasil berat volume gembur rata-rata sebesar 1,25 $gram/cm^3$ dan berat volume pada rata-rata 1,35 $gram/cm^3$.

4. Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Uji kadar lumpur dalam pasir)

   Pengujian lolos saringan No. 200 atau pengujian kadar lumpur dalam agregat halus mengacu pada SNI 4142-1996. Data pengujian tertera pada Tabel 5.7. Perhitungan kadar lumpur dalam pasir untuk sampel 1 adalah sebagai berikut.

   Kadar Lumpur dalam pasir $= \frac{W1-W2}{W1}\ x\ 100\%$

   $= \frac{500-450}{500}\ x\ 100\%$

   $= 10\ \%$

   Menggunakan langkah perhitungan yang sama untuk mengetahui kadar lumpur dalam pasir pada sampel 2 maka diperoleh hasil pengujian lolos saringan No. 200 di kedua sampel tersebut dan diperoleh juga rata ratanya. Rekapitulasi perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

**Tabel 5.7 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200**

| Uraian | Hasil Pengamatan | | | Satuan |
|---|---|---|---|---|
| | Sampel 1 | Sampel 2 | Rata-rata | |
| Berat Agregat Kering Oven (W1), gram | 500 | 500 | | gram |
| Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci (W2), gram | 450 | 456 | | gram |
| Berat yang Lolos Ayakan No. 200 | 10 | 8,8 | 9,4 | % |

5.2.2 Pengujian Agregat Kasar

Dalam penelitian ini agregat kasar menggunakan material yang berasal dari lereng gunung Merapi, Kepuharjo, Cangkringan, Sleman. Pengujian agregat kasar yang dilakukan diantaranya uji berat jenis dan kadar air, uji Analisa saringan, dan uji berat volume kerikil. Berikut merupakan hasil dari pengujian diatas.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

   Pengujian Pelaksanaan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar menggunakan acuan dari SNI 1969-1990 yang data pengujianya dapat dilihat pada Tabel 5.8. adapun perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar sampel 1 adalah sebagai berikut.

   a. Berat Jenis Curah

      Berat jenis curah $= \frac{Bk}{(Bj-Ba)}$

      $= \frac{4796}{(5000-3081)}$

      = 2,50 gram

   b. Berat Jenis Jenuh Kering Muka

      Berat jenis jenuh kering muka $= \frac{Bj}{(Bj-Ba)}$

      $= \frac{5000}{(5000-3081)}$

      = 2,61 gram

   c. Berat Jenis Semu

      Berat jenis semu $= \frac{Bk}{(Bk-Ba)}$

      $= \frac{4796}{(4796-3081)}$

      = 2,80 gram

   d. Penyerapan air

      Penyerapan air $= \frac{Bj-Bk}{(Bk)}\ x\ 100\%$

      $= \frac{5000-4796}{4796}\ x\ 100\%$

      = 4,25 %

Dengan melakukan melakukan perhitungan yang sama seperti diatas, sampel 2 mendapatkan nilai berat jenis dan penyerapan kadar air dan nilai rata-ratanya. Adapun rekapitulasi perhitungan hasil pengujian diatas dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

**Tabel 5.8 Rekapitulasi Hasil Pengujian Berat Jenis dan Serap Agregat Kasar**

| Uraian | Hasil Pengamatan | | | Satuan |
|---|---|---|---|---|
| | Sampel 1 | Sampel 2 | Rata-rata | |
| Berat Kerikil kering mutlak (Bk) | 4796 | 4775 | 4785,5 | gram |
| Berat kerikil Jenuh kering muka (Bj) | 5000 | 5000 | 5000 | gram |
| Berat kerikil dalam air (Ba) | 3081 | 3037 | 3059 | gram |
| Berat Jenis Curah, Bk / (Bj-Ba) | 2,5 | 2,43 | 2,47 | gram |
| Berat Jenis jenuh kering muda (SSD), Bj / (Bj-Ba) | 2,61 | 2,55 | 2,58 | gram |
| Berat Jenis semu, Bk / (Bk-Ba) | 2,8 | 2,75 | 2,77 | gram |
| Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100% | 4,25 | 4,71 | 4,48 | % |

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar yang telah dilakukan maka didapatkan berat jenis jeruh kering muka rata rata sebesar 2,58 gram.

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

   Pelaksanaan pengujian analisa saringan agregat kasar mengacu pada SNI 1968-1990 dengan berat agregat 5000 gram. Dalam pengujian ini didapatkan data berat yang tertinggal disetiap nomor saringan yang datanya dapat dilihat pada table 5.9 dan Tabel 5.10, dan diperoleh modulus halus butir agregat kasar. Adapun perhitungan analisa saringan agregat kasar pada sampel 1 adalah sebagai berikut.

   a. Persentase Berat Tertinggal

      Persentase berat tertinggal $= \frac{Berat\ Tertinggal}{\sum Berat\ Tertinggal}\ x\ 100\ \%$

      Lubang ayakan 40 mm $= \frac{0}{4942}\ x\ 100\ \%$

      $= 0\ \%$

      Lubang ayakan 20 mm $= \frac{66}{4942}\ x\ 100\ \%$

      $= 1{,}34\ \%$

Lubang ayakan 10 mm $= \frac{4288}{4942}\ x\ 100\ \%$

$= 86{,}77\ \%$

Lubang ayakan 4,8 mm $= \frac{526}{4942}\ x\ 100\ \%$

$= 10{,}64\ \%$

Lubang ayakan 2,4 mm $= \frac{29}{4942}\ x\ 100\ \%$

$= 0{,}59\ \%$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

Lubang ayakan 40 mm = 0%

Lubang ayakan 20 mm = 0% + 1,34%

= 1,34 %

Lubang ayakan 10 mm = 1,34 % + 86,77 %

= 88,10 %

Lubang ayakan 4,8 mm = 88,10 % + 10,64 %

= 98,75 %

Lubang ayakan 2,4 mm = 98,75 % + 0,59 %

= 99,33 %

Lubang ayakan 1,20 mm = 99,53 % + 0,20 %

= 99,53 %

c. Persentase Lolos Kumulatif

Lubang ayakan 40 mm = 100% - 0%

= 100%

Lubang ayakan 20 mm = 100% - 1,34%

= 98,66 %

Lubang ayakan 10 mm = 100 % - 88,10 %

= 11,90 %

Lubang ayakan 4,8 mm = 100 % - 98,75 %

= 1,25 %

Lubang ayakan 2,4 mm = 100 % - 99,33 %

= 0,67 %

Dengan perhitungan yang sama seperti diatas, hasil pengujian sampel 1 dan 2 dapat dilihat pada rekapitulasi perhitungan Analisa saringan sebagai berikut

**Tabel 5.9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Kasar pada Sampel 1**

| Lubang Ayakan (mm) | Berat Tertinggal (gram) | Berat Tertinggal (%) | Berat Tertinggal Kumulatif (%) | Persen Lolos Kumulatif (%) |
|---|---|---|---|---|
| 40,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 20,00 | 66 | 1,34 | 1,34 | 98,66 |
| 10,00 | 4288 | 86,77 | 88,10 | 11,90 |
| 4,80 | 526 | 10,64 | 98,75 | 1,25 |
| 2,40 | 29 | 0,59 | 99,33 | 0,67 |
| 1,20 | 10 | 0,20 | 99,53 | 0,47 |
| 0,60 | 0 | 0,00 | 99,53 | 0,47 |
| 0,30 | 0 | 0,00 | 99,53 | 0,47 |
| 0,15 | 0 | 0,00 | 99,53 | 0,47 |
| Sisa | 23 | 0,47 | 0 | 0 |
| Jumlah | 4942 | 100 | 685,65 | |
| | | | MHB = | 6,86 |

**Tabel 5.10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Kasar pada Sampel 2**

| Lubang Ayakan (mm) | Berat Tertinggal (gram) | Berat Tertinggal (%) | Berat Tertinggal Kumulatif (%) | Persen Lolos Kumulatif (%) |
|---|---|---|---|---|
| 40,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 20,00 | 120 | 2,46 | 2,46 | 97,54 |
| 10,00 | 4186 | 85,69 | 88,15 | 11,85 |
| 4,80 | 494 | 10,11 | 98,26 | 1,74 |
| 2,40 | 36 | 0,74 | 99,00 | 1,00 |
| 1,20 | 23 | 0,47 | 99,47 | 0,53 |
| 0,60 | 0 | 0,00 | 99,47 | 0,53 |
| 0,30 | 0 | 0,00 | 99,47 | 0,53 |
| 0,15 | 0 | 0,00 | 99,47 | 0,53 |
| Sisa | 26 | 0,53 | 0 | 0 |
| Jumlah | 4885 | 100 | 685,73 | |
| | | | MHB = | 6,86 |

Dari hasil pengujian analisa saringan dapat dihitung nilai modulus halus butir dengan perhitungan sebagai berikut.

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\sum Persentase\ Berat\ Tertinggal\ Kumulatif}{100}$$

$$\text{MHB sampel 1} = \frac{\sum Persentase\ Berat\ Tertinggal\ Kumulatif}{100}$$

$$= \frac{685{,}65}{100}$$

$$= 6{,}86$$

$$\text{MHB sampel 2} = \frac{\sum Persentase\ Berat\ Tertinggal\ Kumulatif}{100}$$

$$= \frac{685{,}73}{100}$$

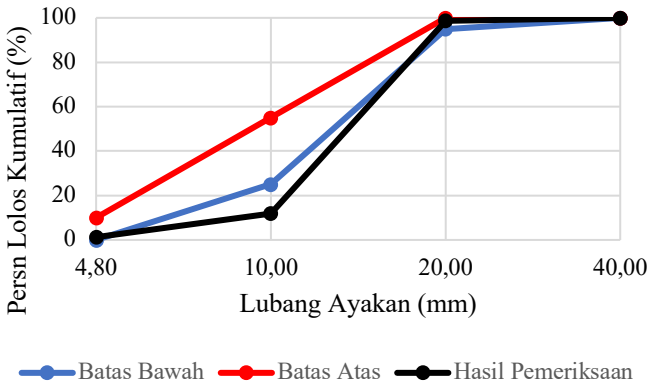
$$= 6{,}86$$

Nilai modulus halus butir agregat kasar menurut SNI S-04-1989 yaitu diantara 5 hingga 8, sehingga nilai modulus halus butir agregat halus pada pengujian ini telah memenuhi syarat. Hasil analisa saringan juga digunakan untuk menentukan gradasi agregat berdasarkan tabel gradasi agregat halus yang tertera pada Tabel 5.11. Dari tabel gradasi tersebut dibuat kurva gradasi agregat halus yang dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4 berikut.

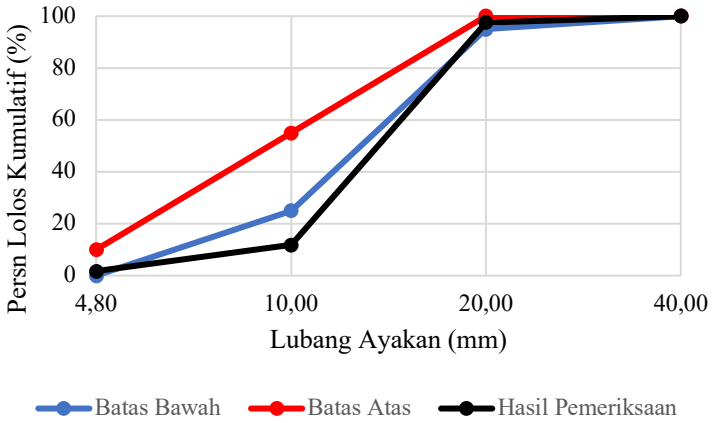
**Tabel 5.11 Gradasi Agregat Kasar**

| Lubang Ayakan (mm) | Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan / Besar Butiran Maksimum | |
|---|---|---|
| | 40 mm | 20 mm |
| 40,00 | 95 - 100 | 100 |
| 20,00 | 30 - 70 | 95 - 100 |
| 10,00 | 10 - 35 | 25 - 55 |
| 4,80 | 0 - 5 | 0 - 10 |

Sumber: SNI 2834-2000




**Gambar 5.3 Kurva Gradasi Agregat Kasar Ukuran Maksimum 20 mm pada Sampel 1**




**Gambar 5.4 Kurva Gradasi Agregat Kasar Ukuran Maksimum 20 mm pada Sampel 2**

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Kasar

   Pengujian berat volume gembur dan padat agregat kasar mengacu pada SNI 4804-1998. Data pengujian tertera pada Tabel 5.12 dan Tabel 5.13. Hasil perhitungan berat volume gembur dan padat agregat kasar sampel 1 adalah sebagai berikut

   a. Berat Volume Gembur

      Berat agregat (W3) = W2 – W1
      = 18132 - 11057
      = 6869 gram

Volume tabung (V) $= \frac{1}{4}\pi d^2 t$

$= \frac{1}{4}\pi x 15{,}50^2 x 30{,}10$

$= 5679{,}63\ cm^3$

Berat Volume Gembur $= \frac{W3}{V}$

$= \frac{7075}{5679{,}63}$

$= 1{,}25\ gram/\ cm^3$

b. Berat Volume Padat

Berat agregat (W3) = W2 – W1

= 18756 - 11057

= 7699 gram

Volume tabung (V) $= \frac{1}{4}\pi d^2 t$

$= \frac{1}{4}\pi x 15{,}50^2 x 30{,}10$

$= 5679{,}63\ cm^3$

Berat Volume Gembur $= \frac{W3}{V}$

$= \frac{7699}{5679{,}63}$

$= 1{,}36\ gram/\ cm^3$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti diatas untuk mendapatkan nilai berat volume padat dan volume gembur agregat kasar, maka pada sampel 1 dan 2 diperoleh rekapitulasi hasil pengujian berat volume gembur dan berat volume padat pada agregat kasar dapat dilihat pada tabel 5.12 dan 5.13 berikut.

**Tabel 5.12 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar**

| Uraian | Hasil Pengamatan | | | Satuan |
|---|---|---|---|---|
| | Sampel 1 | Sampel 2 | Rata-rata | |
| Berat Tabung (W1) | 11057 | 11057 | 11057,00 | gram |
| Berat Tabung + Agregat SSD (W2) | 18132 | 18132 | 18132,00 | gram |
| Berat Agregat (W3) | 7075 | 7075 | 7075,00 | gram |
| Diameter Tabung (d) | 15,50 | 15,50 | 15,50 | cm |
| Tinggi Tabung (t) | 30,10 | 30,10 | 30,10 | cm |
| Volume Tabung (V) | 5679,63 | 5679,63 | 5679,63 | $cm^3$ |
| Berat Volume Gembur | 1,25 | 1,25 | 1,25 | $gram/cm^3$ |

**Tabel 5.13 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar**

| Uraian | Hasil Pengamatan | | | Satuan |
|---|---|---|---|---|
| | Sampel 1 | Sampel 2 | Rata-rata | |
| Berat Tabung (W1) | 11057 | 11057 | 11057,00 | gram |
| Berat Tabung + Agregat SSD (W2) | 18756 | 18756 | 18756,00 | gram |
| Berat Agregat (W3) | 7699 | 7699 | 7699,00 | gram |
| Diameter Tabung (d) | 15,50 | 15,50 | 15,50 | cm |
| Tinggi Tabung (t) | 30,1 | 30,1 | 30,10 | cm |
| Volume Tabung (V) | 5679,63 | 5679,63 | 5679,63 | $cm^3$ |
| Berat Volume Gembur | 1,36 | 1,36 | 1,36 | $gram/cm^3$ |

Dari pengujian diatas maka diperoleh hasil berat volume gembur rata-rata sebesar 1,25 $gram/cm^3$ dan berat volume padat dengan rata-rata sebesar 1,36 $gram/cm^3$.

## 5.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton (*Mix Design*) dalam penelitian ini menggunakan metode pada SNI 03-2834-2000. Perencanaan beton dilakukan dengan tujuan agar mendapatkan proporsi campuran yang tepat untuk mencapai

kuat tekan beton sesuai perencanaan. Adapun Langkah-langkah yang dilakukan dalam perencanaan beton sebagai berikut.

1. Kuat tekan rencana (f'c) sebesar 25 MPa dengan bentuk benda uji berupa silinder berdiameter 15 cm x 30 cm.
2. Semen yang digunakan adalah semen *Portland* tipe 1 dengan merk Dynamix berjenis PCC.
3. Berat jenis agregat halus sebesar 2,66 dan berat jenis agregat kasar sebesar 2,58, nilai ini diperoleh dari hasil pengujian berat jenis dan pengujian kadar air pada agregat.
4. Susunan butir agregat halus termasuk ke dalam gradasi daerah III yang didapat dari pengujian analisa saringan.
5. Ukuran maksimum agregat kasar sebesar 20 mm, nilai tersebut diperoleh dari pengujian analisa saringan agregat kasar.
6. Sampel pengujian sebanyak 5 buah, maka dari itu berdasarkan Tabel 5.14 berikut digunakan nilai margin (M) sebesar 12 Mpa.

**Tabel 5.14 Faktor Pengali untuk Deviasi Standar Bila Data Hasil Uji yang Tersedia Kurang dari 30**

| Jumlah Pengujian | Faktor Pengali Deviasi Standar |
|---|---|
| <15 | *) |
| 15 | 1,16 |
| 20 | 1,08 |
| 25 | 1,03 |
| ≥30 | 1,00 |

Sumber : SNI 03-2834-2000

bila data uji lapangan untuk menghitung deviasi standar yang memenuhi persyaratan diatas tidak tersedia, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan $f'_{cr}$ harus diambil tidak kurang daru ($f'_c$+12 MPa).

7. Menentukan kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan

$f'_{cr} = f'_c + M$

$= 25 + 12$

$f'_{cr} = 37$ MPa

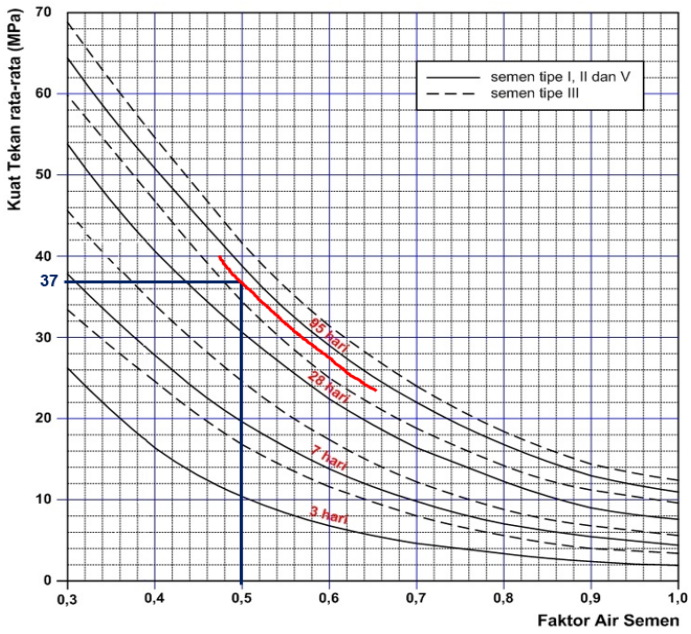
8. Menentukan nilai faktor air semen (fas) berdasarkan Tabel 5.15 dan Gambar 5.5 berikut.

**Tabel 5.15 Perkiraan Kuat Tekan (MPa) Dengan fas 0,5 dan Jenis Semen Serta Agregat yang Dipakai di Indonesia**

| Jenis Semen | Jenis Agregat Kasar | Kekuatan tekan (MPa) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Umur (hari) | | | | Benda uji |
| | | 3 | 7 | 28 | 29 | |
| Semen Portland Tipe 1 Semen tahan sulfat Tipe II,V | Batu tak dipecahkan | 17 | 23 | 33 | 40 | Silinder |
| | Batu Pecah | 19 | 27 | 37 | 45 | |
| | Batu tak dipecahkan | 20 | 28 | 40 | 48 | Kubus |
| | Batu Pecah | 25 | 32 | 45 | 54 | |
| Semen Portland Tipe III | Batu tak dipecahkan | 21 | 28 | 38 | 44 | Silinder |
| | Batu Pecah | 25 | 33 | 44 | 48 | |
| Semen Portland Tipe III | Batu tak dipecahkan | 25 | 31 | 46 | 53 | Kubus |
| | Batu Pecah | 30 | 40 | 53 | 60 | |

Sumber: SNI 03-2834-2000

a. Digunakan semen *Portland* tipe I, jenis agregat kasar batu pecah, benda uji siinder dan kuat tekan pada umur 28 hari. Berdasar Tabel 5.15 diperoleh perkiraan kuat tekan beton dengan fas 0,5 sebesar 37 MPa.
b. Dengan menggunakan Gambar 5.5 berikut, tarik garis vertikal ke atas darinilai fas sebesar 0,5 dan tarik garis horizontal ke kanan dari nilai kuat tekanrata-rata sebesar 37 MPa (dari Tabel 5.15), sehingga diperoleh titik perpotongan antara kedua garis tersebut.
c. Membuat kurva baru yang memotong titik perpotongan pada butir b.
d. Tarik garis horizontal ke kanan dari nilai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan ($f'_{cr}$) sebesar 37 MPa sampai memotong kurva pada butir c.
e. Tarik garis vertikal ke bawah dari titik perpotongan pada butir d, sehingga diperoleh nilai fas sebesar 0,5.




**Gambar 5.5 Grafik Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas) Untuk Benda Uji Silinder Diameter 150 mm, Tinggi 300 mm**

Sumber : SNI 03-2834-2003

9. Menentukan kadar air yang dibutuhkan. Kadar air dalam campuran beton ditentukan berdasarkan Tabel 5.16
   a. Ukuran butir maksimum agregat dari hasil pengujian analisa saringanagregat kasar diperoleh sebesar 20 mm.
   b. Jenis batuan terdiri dari agregat halus dan agregat kasar.
   c. *Slump* yang direncanakan sebesar 10 ± 2 cm.

**Tabel 5.16 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m$^3$) yang Dibutuhkan untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton**

| Ukuran Maksimum Agregat (mm) | Jenis Batuan | *Slump* (mm) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 - 10 | Oct-30 | 30-60 | 60-180 |
| 10 | Batu tak dipecahkan | 150 | 180 | 205 | 225 |
| | Batu pecah | 180 | 205 | 230 | 250 |
| 20 | Batu tak dipecahkan | 135 | 160 | 180 | 195 |
| | Batu pecah | 170 | 190 | 210 | 225 |
| 40 | Batu tak dipecahkan | 115 | 140 | 160 | 175 |
| | Batu pecah | 155 | 175 | 190 | 205 |

d. Kadar air yang dibutuhkan dihitung dengan cara sebagai berikut.

w $= \frac{2}{3}Wh + \frac{2}{3}Wk$

$= \frac{2}{3}x195 + \frac{2}{3}x225$

= 205 kg/m$^3$

10. Menentukan jumlah semen minimum dan fas maksimum berdasarkan dari tabel berikut ini

**Tabel 5.17 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum**

| Lokasi | Jumlah Semen Minimum Per m$^3$ beton (Kg) | Nilai Faktor Air Semen Maksimum |
|---|---|---|
| Beton didalam ruangan :<br>a. Keadaan keliling non-korosif<br>b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif | 275<br>325 | 0,60<br>0,52 |
| Beton diluar bangunan :<br>a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung<br>b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung | 325<br>275 | 0,60<br>0,60 |

**Lanjutan Tabel 5.17 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum**

| Lokasi | Jumlah Semen Minimum Per $m^3$ beton (Kg) | Nilai Faktor Air Semen Maksimum |
|---|---|---|
| Beton masuk kedalam tanah :<br>a. Mengalami keadaan basah dan kering<br>b. Mendapatkan pengaruh sulfat dan alkal dari tanah | 325<br>- | 0,55<br>Tabel 5 |
| Beton yang berhubungan terus dengan airtawar dan air laut | - | Tabel 6 |

Sumber : SNI 03-2834-2000

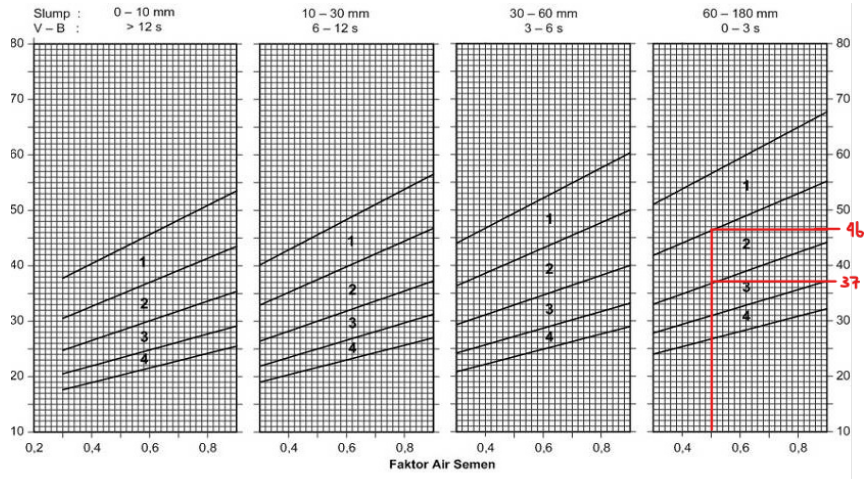
Jenis pembetonan yang dilakukan adalah pembetonan di dalam ruangan dengan keadaan keliling non korosif, sehingga didapatkan semen minimum sebesar 275 kg/$m^3$ dan fas maksimum sebesar 0,60.

11. Menentukan kadar semen yang digunakan
    a. Diperoleh nilai fas dari hasil pembacaan grafik sebesar 05 dan fas maksimum berdasarkan jenis pembetonan sebesar 0,60, maka nilai yang diambil adalah nilai yang terkecil yaitu 0,5.
    b. Menghitung kadar semen berdasarkan nilai fas dan kadar air dengan perhitungan berikut.

$$c = \frac{w}{FAS}$$
$$= \frac{205}{0,5}$$
$$= 410 \text{ kg/m}^3$$

    c. Diperoleh kadar semen dari perhitungan sebesar 410 kg/$m^3$ dan kadar semen minimum berdasar jenis pembetonan 275 kg/$m^3$, maka diambil kadar semen yang terbesar yaitu 410 kg/$m^3$.

12. Menentukan presentase agregat halus dan agregat kasar ditentukan dengan cara dan grafik sebagai berikut.
    a. Ukuran maksimum agregat yang digunakan sebesar 20 mm, *slump* yang direncanakan masuk dalam rentang 60-180 mm, nilai fas yang digunakan 0,5 dan gradasi agregat halus masuk dalam gradasi III.
    b. Tarik garis vertikal ke atas dari titik nilai fas 0,5 sampai memotong duabuah kurva yan membatasi daerah gradasi III.
    c. Dari dua titik perpotongan pada daerah gradasi ditarik garis horizontal ke kanan, sehingga diperoleh presentase batas atas agregat halus 46% dan batas bawah agregat halus 37%.




**Gambar 5.6 Grafik Presentase pasir Terhadap Kadar Total Agregat (Ukuran Butir Maksimum 20 mm)**

Sumber : SNI 03-2834-2004

    d. Nilai persentase agregat halus rata rata dihitung sebagai berikut.

Persentase agregat halus $= \frac{46\,\% + 37\,\%}{2}$

$= 41{,}50\,\%$

    e. Nilai persentase agregat kasar dihitung sebagaai berikut.

Persentase agregat kasar = 100% - persentase agregat kasar

= 100% - 41,50 %

= 58,50 %

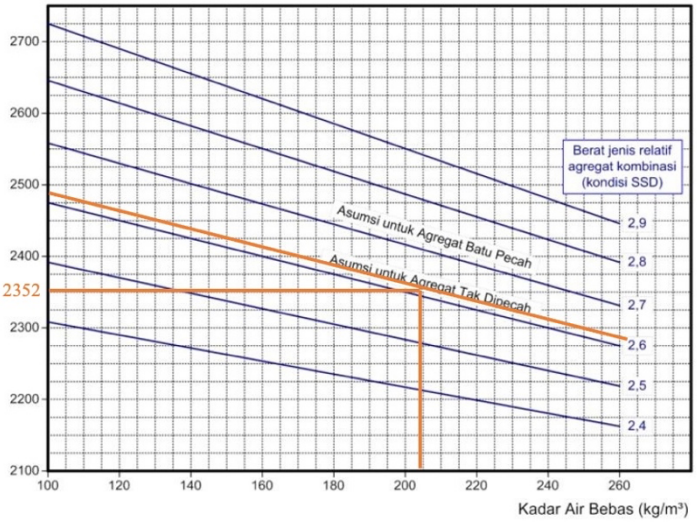
13. Menentukan berat jenis relative agregat gabungan (kondisi SSD) dengan perhitungan berikut ini.

    $BJ_{AG}$ $= (\%AH \times BJ_{AH}) + (\%AK \times BJ_{AK})$

    = (41,50 % x 2,66) + (58,50 % x 2,58)

    = 2,6109 mm

14. Menentukan berat isi beton dengan menggunakan grafik pada gambar 5.7 berikut.
    a. Membuat curva baru dengan nilai sebesar berat jenis agregat gabungan relative yaitu sebesar 2,6109 gram.
    b. Tarik garis vertical keatas dari titik nilai kadar air 205 kg hingga memotong kurva baru.
    c. Dari titik perpotongan antara kurva dengan garis vertical ditarik garis horizontal ke kiri, sehingga diperoleh nilai perkiraan berat isi beton sebesar 2352 kg/m$^3$.




**Gambar 5.7 Perkiraan Berat Isi Beton Basah**
(Sumber: SNI 2834-2000)

15. Menentukan kadar agregat dalam campuran beton dengan perhitungan berikut.

    $W_{ag.gab}$ $= W_{beton} - W_{semen} - w$

    = 2352 – 410 – 205

    = 1737 kg/m$^3$.

16. Menentukan kadar agregat halus dan agregat kasar dalam campuran beton dihitung sebagai berikut.
    a. Kadar agregat halus

$$W_{ag.h} = \frac{\%Ag.H}{100} \times W_{ag.gab}$$
$$= \frac{41,5}{100} \times 1737$$
$$= 712,170 \text{ kg/m}^3$$

    b. Kadar agregat kasar

$$W_{ag.k} = \frac{\%Ag.K}{100} \times W_{ag.gab}$$
$$= \frac{58,5}{100} \times 1737$$
$$= 1024,8 \text{ kg/m}^3$$

17. Proporsi campuran per 1 $m^3$ beton dari hasil perencanaan campuran diperoleh proporsi sebagai berikut.
    a. Semen = 410 kg
    b. Air = 205 kg
    c. Agregat halus = 712,170 kg/$m^3$
    d. Agregat kasar = 1024,830 kg/$m^3$
18. Proporsi campuran per 1 $m^3$ beton dengan angka penyusutan 20 % diperoleh proporsi tiap material untuk tiap 1 $m^3$ beton dengan angka penyusutan sebagai berikut.
    a. Semen = 492 kg
    b. Air = 246 kg
    c. Agregat halus = 854,604 kg/$m^3$
    d. Agregat kasar = 1229,796 kg/$m^3$
19. Hasil perencanaan campuran beton (*mix design*). Rekapotulasi hasil *mix design* dapat dilihat pada table 5.18 berikut.

**Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)**

| No | Uraian | Nilai | Satuan |
|---|---|---|---|
| 1 | Kuat tekan beton yang disyaratkan | 25 | MPa |
| 2 | Standar Deviasi | - | - |
| 3 | Nilai Tambah / Margin (M) | 12 | MPa |
| 4 | Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan | 37 | MPa |
| 5 | Jenis Semen | Tipe I | |
| 6 | Jenis Agregat Kasar | Batu pecah | |
| | Jenis Agregat Halus | Alami | |
| 7 | Faktor air semen bebas (Fas) | 0,5 | |
| | Faktor air semen maksimum | 0,6 | |
| 8 | FAS digunakan | 0,5 | |
| 9 | Slump | 10 ± 2 | cm |
| 10 | Ukuran agregat maksimum | 20 | mm |
| 11 | Kadar air bebas | 205 | $kg/m^3$ |
| 12 | Kadar semen | 410,000 | $kg/m^3$ |
| 13 | Kadar semen maksimum | - | $kg/m^3$ |
| 14 | Kadar semen minimum | 275 | $kg/m^3$ |
| 15 | Kadar semen digunakan | 410,00 | $kg/m^3$ |
| 16 | Fas disesuaikan | - | |
| 17 | Susunan besar butir agregat halus | Gradasi 2 | |
| 18 | Berat jenis agregat kasar (SSD) | 2,58 | |
| | Berat jenis agregat halus (SSD) | 2,66 | |
| 19 | Persen Agregat Halus | 41,00% | % |
| 20 | Persen Agregat Kasar | 59,00% | % |
| 21 | Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD) | 2,6105 | |
| 22 | Berat isi Beton | 2352 | $kg/m^3$ |
| 23 | Kadar agregat gabungan | 1737,000 | $kg/m^3$ |
| 24 | Kadar agregat halus | 712,170 | $kg/m^3$ |
| 25 | Kadar agregat kasar | 1024,830 | $kg/m^3$ |
| 26 | Kadar semen dengan angka penyususstan | 492,000 | $kg/m^3$ |
| 27 | Kadar agregat halus dengan angkapenyususstan | 854,604 | $kg/m^3$ |
| 28 | Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan | 1229,796 | $kg/m^3$ |
| 29 | Kadar air dengan angka penyusutan | 246,000 | $kg/m^3$ |

## 5.4 Hasil Pemeriksaan Berat Volume Beton

Berat volume beton ialah perbadingan antara berat beton dengan volume beton. Berat volume beton bergantung pada proporsi material penyusun beton dan proses pemadatan beton segar pada cetakan. Pemeriksaan berat volume beton pada benda uji dilakukan pada saat sebelum pelaksanaan pengujian beton. Pemeriksaan ini dilakukan dengan mengukur dimensi benda uji dan penimbangan berat benda uji. Berikut contoh perhitungan berat volume beton.

$$\text{Berat Volume} = \frac{W}{Vol}$$

$$= \frac{12{,}499}{\frac{1}{4} \text{x } \pi \text{ x } 0{,}1509^2 \text{ x } 0{,}302}$$

$$= \frac{12{,}209}{0{,}005395}$$

$$= 2316{,}647 \text{ kg/m}^3$$

Dengan cara perhitungan yang sama dihitung pula kuat tekan beton untuk sampel pada setiap varian lainya, sehingga diperoleh hasil rekapitulasi pengujian kuat tekan beton yang dapat dilihat pada Tabel 5.19 berikut.

**Tabel 5.19 Rekapitulasi Perhitungan Berat Volume Beton**

| Nomor Sampel | Diameter (mm) | Tinggi (mm) | Volume | | Berat (kg) | Berat Volume | Berat Volume Rata Rata |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ($mm^3$) | $m^3$ | | (kg/ $m^3$) | (kg/ $m^3$) |
| 1 | 150,9 | 302,0 | 5395295,7 | 0,005395 | 12,499 | 2316,647 | 2298,64784 |
| 2 | 150,2 | 299,8 | 5307581,2 | 0,005308 | 12,336 | 2324,222 | |
| 3 | 149,1 | 301,5 | 5264467,3 | 0,005264 | 12,116 | 2301,467 | |
| 4 | 149,9 | 299,4 | 5278755,5 | 0,005279 | 12,077 | 2287,849 | |
| 5 | 151,0 | 304,0 | 5438232,2 | 0,005438 | 12,307 | 2263,051 | |

## 5.5 Hasil Pemeriksaan Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton silinder ini bertujuan sebagai *trial and error* perencanaan beton (*Mix* Design) pada penelitian ini dengan tujuan supaya pembuatan beton sebagai komponen utama dalam pengujian *Pullout test* sudah

sesuai dengan yang direncanakan. Uji kuat tekan beton sebagai *trial and error* dilakukan pada saat beton berumur 7 hari, oleh sebab itu maka mengacu pada PBI-1971 sehingga nilai kuat tekan yang dilakukan dalam pengujian dikonversi dengan rasio kuat tekan beton terhadap umur yang dapat dilihat pada l berikut.

**Tabel 5.20 Rasio Kuat Tekan Beton Terhadap Umur Beton**

| Umur Beton (hari) | Rasio Kuat Tekan |
|---|---|
| 3 | 0,40 |
| 7 | 0,65 |
| 14 | 0,88 |
| 21 | 0,95 |
| 28 | 1,00 |
| 90 | 1,20 |
| 365 | 1,35 |

Sumber : PBI-1971

Pengujian kuat tekan beton menggunakan *compression machine*. Benda uji untuk pengujian ini berjumlah 5 benda uji. Sebelum proses pengujian kuat tekan dilakukan proses *capping* terlebih dahulu pada permukaan atas sampel beton, hal ini untuk meratakan permukaan beton agar beban yang diberikan oleh *compression machine* dapat terdistribusi dengan merata pada permukaan beton. Pengujian kuat tekan beton dilakukan hingga benda uji hancur (*crack*), yang dimana benda uji sudah tidak mampu lagi menahan beban yang diberikan oleh mesin. Kondisi tersebut ditandai dengan penurunan pada salah satu jarum *dial* pada mesin uji hingga kondisi kritis atau nol. Karena pengujian kuat tekan dilakukan Ketika beton berumur 7 hari, maka nilai kuat tekan beton dikonversikan sesuai rasio kuat tekan beton terhadap umur sesuai pada Tabel 5.20 diatas. Adapun contoh perhitungan kuat tekan beton pada pengujian ini sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton sampel 1

$$f'_{c\ actual} = \frac{P}{A}$$

$$= \frac{268210}{\frac{1}{4} \text{x } \pi \text{ x } 150{,}87^2}$$

$$= \frac{268210}{17867{,}19}$$

$$= 15{,}011 \text{ MPa}$$

$f'_{c\ Konversi} = f'_{c\ actual} \times \frac{1}{Angka\ Konversi}$

$= 15{,}011 \times \frac{1}{0{,}65}$

$= 25{,}019$ MPa

Dengan rumus diatas, maka diperoleh hasil pengujian yang di rekapitulasi pada tabel 5.20 sebagai berikut.

**Tabel 5.21 Rekapitulasi Perhitungan Kuat Tekan Beton**

| Nomor Sampel | Diameter (mm) | Luas Permukaan | Beban Maksimum | Kuat Tekan | Angka Konversi | Kuat Tekan | Rata–rata |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ($mm^2$) | (kN) | (MPa) | | (MPa) | (MPa) |
| 1 | 150,87 | 17867,19 | 268210 | 15,011 | 0,65 | 25,019 | 27,110 |
| 2 | 150,17 | 17701,77 | 258560 | 14,606 | | 24,344 | |
| 3 | 149,13 | 17458,99 | 339170 | 19,427 | | 32,378 | |
| 4 | 149,87 | 17631,11 | 297950 | 16,899 | | 28,165 | |
| 5 | 150,97 | 17890,88 | 275290 | 15,387 | | 25,645 | |

## 5.6 Hasil Pengujian Kuat Tarik Material Angkur

Pengujian kuat Tarik angkur bertujuan untuk mengetahui nilai tegangan Tarik leleh (fy) dan tegangan tarik maksimum (fu) dari angkur yang digunakan dalam penelitian ini. Angkur yang di uji pada pengujian tarik kali ini yaitu hammerdrive anchor M12 x 120 mm. Adapun contoh perhitungan pada sampel 1 angkur tipe hammerdrive dan rekapitulasi hasil pengujian kuat tarik sebagai berikut.

1. Diketahui:

   Diameter = 12 mm

   Panjang = 120 mm

   Ao = 113,97 $mm^2$

   a. Luas penampang benda uji

      Ao $= \frac{1}{4}\ x\ \pi\ x\ d^2$

      $= \frac{1}{4}\ x\ 0{,}25\ \ x\ 12^2$

      $= 113{,}097\ mm^2$

b. Beban ultimit

Pu = Pmaks x 9,81

= 3130 kgf x 9,81

= 30705,3 N

c. Beban leleh

Py = leleh x 9,81

= 2740 kgf x 9,81

= 26879,4 N

d. Tegangan terkoreksi

$P_1$ = 2100 kgf

= 2100 kgf x 9,81

= 20601 N

$\sigma_1 = \frac{P_1}{Ao}$

$= \frac{20601\ N}{113{,}097\ mm^2}$

= 182,15 MPa

$P_2$ = 2700 kgf

= 2700 x 9,81

= 26487 N

$\sigma_2 = \frac{P_2}{Ao}$

$= \frac{26487\ N}{113{,}097\ mm^2}$

= 234,20 MPa

e. Regangan terkoreksi

$\varepsilon_1 = \frac{\text{Deformasi } \Delta L \text{ regangan 1}}{Lo}$

$= \frac{0{,}08}{60}$

= 0,133 mm

$\varepsilon_2$ $= \frac{\text{Deformasi } \Delta L \text{ regangan 2}}{\text{Lo}}$

$= \frac{0{,}109}{60}$

= 0,182 mm

f. Tegangan Tarik maksimum pada sampel 1

fu $= \frac{P\text{maks (N)}}{Ao}$

$= \frac{30705{,}3}{113{,}97}$

= 271, 49 MPa

g. Tegangan Tarik leleh pada sampel 1

fy $= \frac{P\text{y (N)}}{Ao}$

$= \frac{26879{,}5}{113{,}97}$

= 237,67 MPa

h. Regangan maksimum

Emaks $= \frac{\Delta L}{Lo}\ x\ 100\%$

$= \frac{0{,}145}{60}\ x\ 100\%$

= 0,227 %

i. Modulus elastisitas

E $= \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$

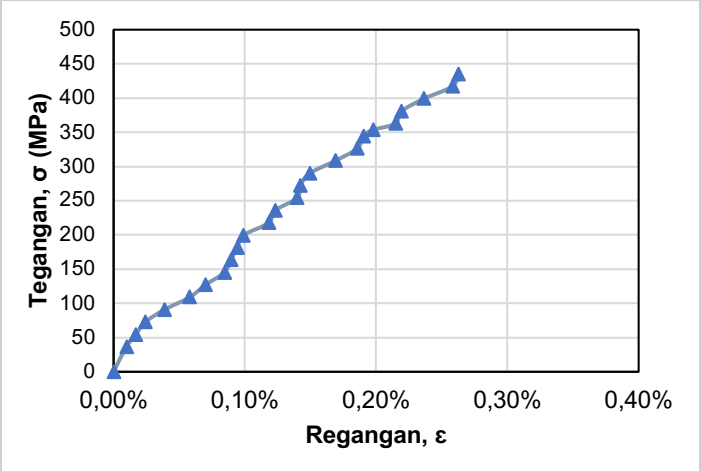
$= \frac{234{,}20 - 182{,}15}{0{,}182 - 0{,}133}$

= 107640, 37 MPa

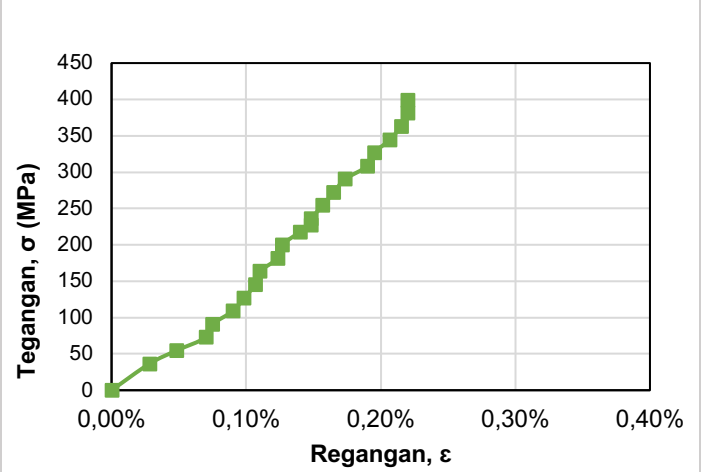
Dengan cara perhitungan yang sama seperti diatas, maka diperoleh nilai kuat tarik (fu), kuat leleh (fy), regangan (ε) dan modulus elastisitas (Es) pada sampel angkur lainya sehingga diperoleh tabel rekapitulasi hasil pengujian kuat tarik angkur dan gambar grafik regangan tegangan dapat dilihat pada Tabel 5.22 sebagai berikut.

**Tabel 5.22 Rekapitulasi Perhitungan Kuat Tarik Angkur**

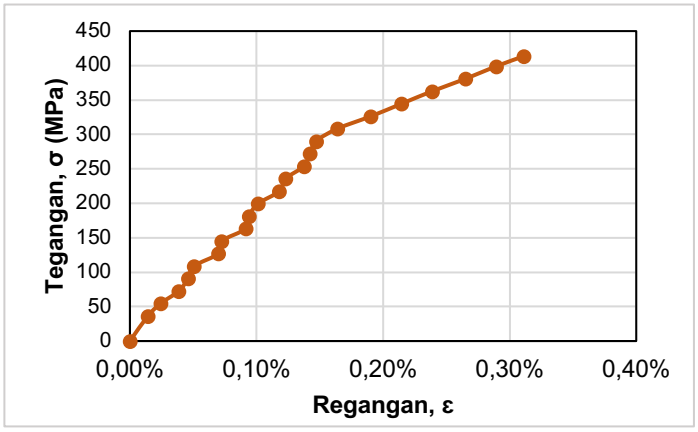
| no | Jenis angkur | Diameter | Lo | fy | fu | Regangan | Modulus elastisitas | fu rata" |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | (mm) | (mm) | (Mpa) | (Mpa) | (%) | (Mpa) | (Mpa) |
| 1 | Dynabolt | 8,3 | 120 | 344,49 | 435,15 | 0,265 | 158354,89 | 415,807004 |
| 2 | Dynabolt | 8,3 | 120 | 226,64 | 398,88 | 0,220 | 181310,49 | |
| 3 | Dynabolt | 8,3 | 120 | 326,36 | 413,39 | 0,317 | 181562,07 | |
| 4 | Hammer Drive | 12 | 120 | 208,17 | 271,49 | 0,259 | 107640,37 | 264,56 |
| 5 | Hammer Drive | 12 | 120 | 239,40 | 253,28 | 0,194 | 164293,19 | |
| 6 | Hammer Drive | 12 | 120 | 241,14 | 268,89 | 0,323 | 121394,42 | |



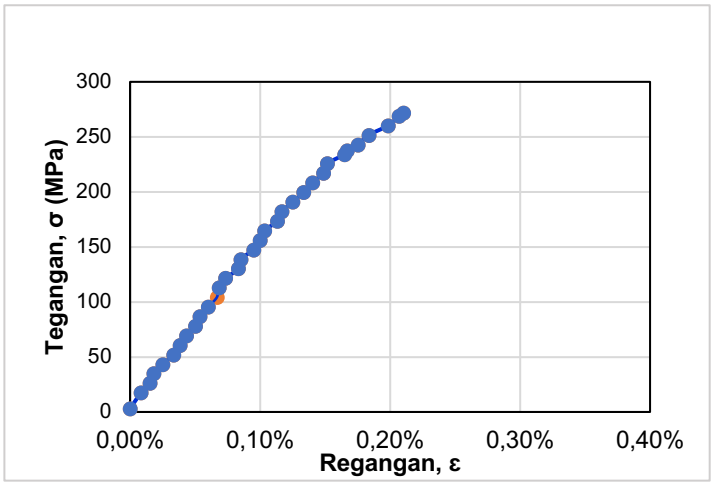

**Gambar 5.8 Grafik Tegangan Regangan Pada Sampel *Dynabolt* 1**



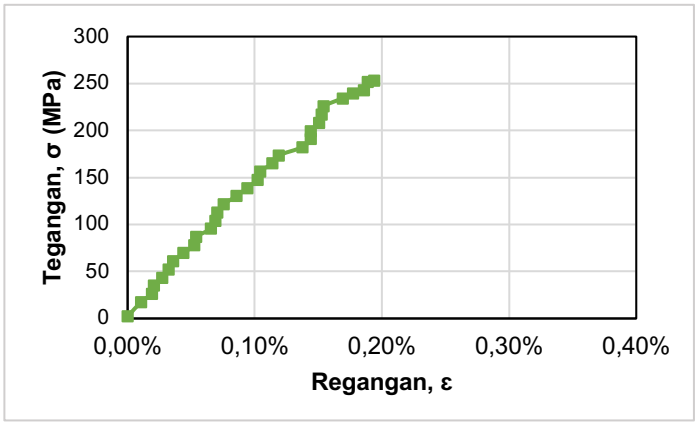

**Gambar 5.9 Grafik Tegangan Regangan Pada Sampel *Dynabolt* 2**



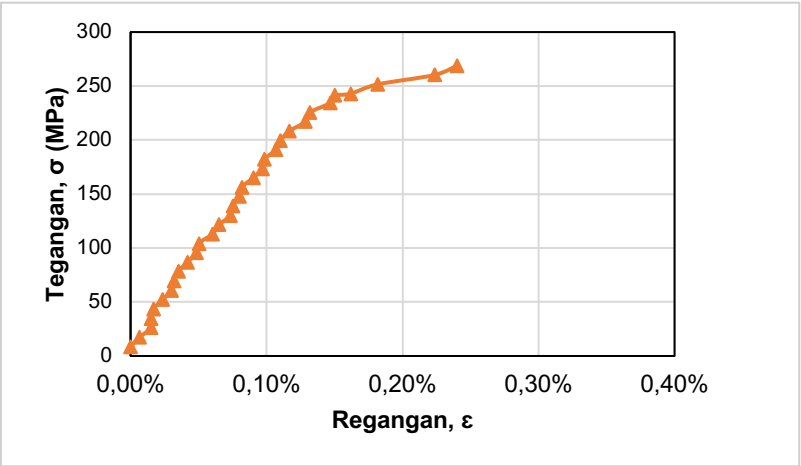

**Gambar 5.10 Grafik Tegangan Regangan Pada Sampel *Dynabolt* 3**



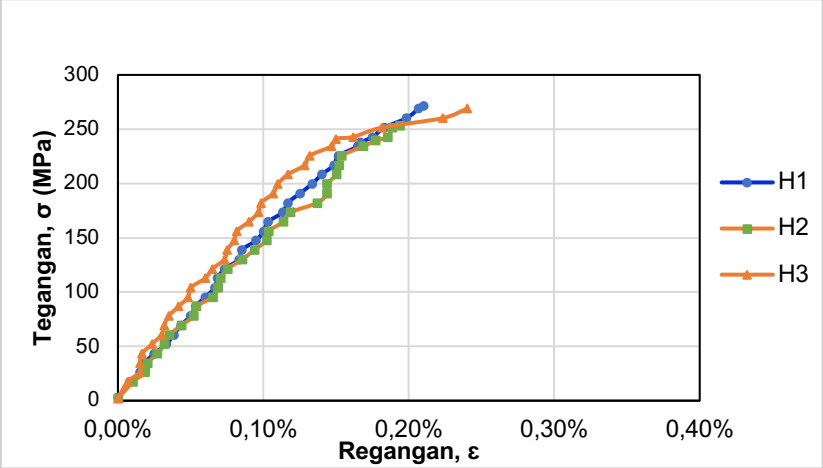

**Gambar 5.11 Grafik Tegangan Regangan Pada Sampel *Hammerdrive* 1**



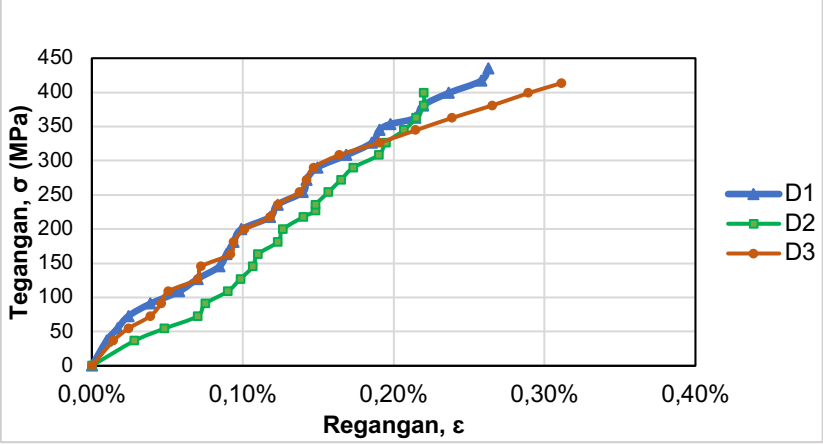

**Gambar 5.12 Grafik Tegangan Regangan Pada Sampel *Hammerdrive* 2**




**Gambar 5.13 Grafik Tegangan Regangan Pada Sampel Hammerdrive 3**




**Gambar 5.14 Grafik Rekapitulasi Tegangan Regangan Pada Sampel *Dynabolt***




**Gambar 5.15 Grafik Rekapitulasi Tegangan Regangan Pada Sampel *Hammerdrive***

## 5.7 Hasil Pengujian *Pull-Out* Angkur

Pengujian *pullout* yang dilakukan dengan mesin UTM yang berada di Laboratorium Universitas Islam Indonesia ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas kuat cabut angkur yang dipasang menggunakan metode *Post Installed* dengan 2 macam jenis angkur yang berbeda yaitu angkur berjenis *Dynabolt* dan *Hammerdrive* dengan ukuran diameter 12 mm dan panjang 120 mm, pada proses pembuatan benda uji, penulis melakukan *trial and error* pengujian kuat tekan beton dengan jumlah 5 sampel silinder beton dengan tujuan untuk memastikan apakah mutu beton sudah sesuai rencana pada *mix design* atau belum, setelah dilakukan pengujian didapatkan nilau kuat tekan rata-rata beton sebesar 27,110 MPa sehingga beton sudah sesuai dengan yang sudah direncakanan yaitu beton bermutu f'c 25 MPa dengan beton berbentuk balok ukuran dimensi panjang 40 cm lebar 40 cm tinggi 20 cm . Pada pengujian yang dilakukan terdapat 2 jenis tipe kerusakan pada pengujian *pull-out*, kerusakan *slip* dan kerusakan baut putus, kedua tipe kerusakan tersebut dapat dilihat pada gambar 5.15 berikut.



**(a)** **(b)**

**Gambar 5.15 (a) Kerusakan Putus Baut ; (b) Kerusakan *Slip***

Adapun rekapitulasi hasil pengujian *Pull-out* angkur yang dilakukan di Laboratorium dapat dilihat pada Tabel 5.23 dan Tabel 5.24 berikut.

**Tabel 5.23 Hasil Pengujian *Pull-out* di Laboratorium**

| No | benda uji | beban maksimum (Kgf) | jenis kerusakan |
|---|---|---|---|
| 1 | Dynabolt 1 | 2620 | putus baut |
| 2 | Dynabolt 2 | 1970 | slip |
| 3 | Dynabolt 3 | 2140 | slip |
| 4 | Dynabolt 4 | 2600 | putus baut |
| 5 | Dynabolt 5 | 2550 | putus baut |
| 6 | Hammer drive 1 | 4210 | putus baut |
| 7 | Hammer drive 2 | 3800 | putus baut |
| 8 | Hammer drive 3 | 4330 | slip |
| 9 | Hammer drive 4 | 3990 | putus baut |
| 10 | Hammer drive 5 | 3790 | putus baut |

**Tabel 5.24 Hasil Pengujian *Pull out* dan Pengukuran Dimensi Angkur**

| no | Benda uji | beban maksimum (N) | rata -rata (N) | Diameter angkur (da) | Kedalaman tanam angkur (hef) | Panjang sisi miring angkur mengembang (s) | Luas penampang (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | (mm) | | | |
| 1 | Dynabolt 1 | 25702,2 | 23308,56 | 8,3 | 105 | 18 | 54,106 |
| 2 | Dynabolt 2 | 19325,7 | | 8,3 | 105 | 18 | 54,106 |
| 3 | Dynabolt 3 | 20993,4 | | 8,3 | 105 | 18 | 54,106 |
| 4 | Dynabolt 4 | 25506 | | 8,3 | 105 | 18 | 54,106 |
| 5 | Dynabolt 5 | 25015,5 | | 8,3 | 105 | 18 | 54,106 |
| 6 | Hammer drive 1 | 41300,1 | 39475,44 | 12 | 105 | 20 | 113,097 |
| 7 | Hammer drive 2 | 37278 | | 12 | 105 | 20 | 113,097 |
| 8 | Hammer drive 3 | 42477,3 | | 12 | 105 | 20 | 113,097 |
| 9 | Hammer drive 4 | 39141,9 | | 12 | 105 | 20 | 113,097 |
| 10 | Hammer drive 5 | 37179,9 | | 12 | 105 | 20 | 113,097 |

Dalam pengujian yang dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, pada tabel diatas, nilai diatas merupakan rekapitulasi nilai hasil pengujian langung yang dibaca dari mesin UTM dan hasil pengukuran benda uji sebelum yang dilakukan pengujian. Pada proses pemasangan angkur, angkur ditanam sedalam 10,5 cm dengan tujuan memberikan *space* untuk mur pada angkur tersebut. Dikarenakan angkur yang telah terpasang hanya menyisakan drat

sepanjang ± 20 mm sehingga angkur tidak dapat di cengkram oleh mounting pada mesin UTM milik Laboratorium Universitas Islam Indonesia, sehingga angkur tersebut disambung mengggunakan besi tulangan ulir berdiameter 16 mm sepanjang 50 cm dengan cara dilas dan ditambahkan dengan besi plat bertujuan untuk memperkuat las tersebut agar ketika pengujian tidak terjadi kerusakan pada sambungan las tersebut. Adapun proses pemasangan angkur dapat dilihat pada gambar 5.16 berikut.



**Gambar 5.16 Proses Pengeboran dan Pemasangan Angkur**

Dalam pengujian *pull out* yang dilakukan, penulis mengamati kerusakan yang terjadi mayoritas adalah putus baut angkur, hal tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor dalam pelaksanaan pembuatan benda uji dan pelaksanaan pengujian. Selain itu terdapat kendala pada mesin UTM yang digunakan untuk pengujian *Pull-out* yang mengharuskan benda uji harus ditopang ke atas agar angkur yang sudah dimodifIkasi terebut dapat terpasang pada penjepit benda uji pada mesin UTM, sehingga diperlukan pembuatan *mounting* tambahan dengan plat besi untuk menaruh benda uji beton yang telah dipasang angkur dan juga bertujuan meningkatkan faktor keamanan dalam pelaksanaan pengujian *Pull-out* agar benda uji tidak jatuh yang dapat menyebabkan kerusakan pada mesin UTM sehingga pengujian diharapkan berjalan denga naman dan sesuai rencana.

Mengacu pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Levina, A (2020), rumus perhitungan yang digunakan untuk mencari nilai kuat cabut angkur pada pengujian *Pull-out* disesuaikan dengan jenis kerusakan angkur yang terjadi, pada penelitian ini terjadi kerusakan baut pasca pengujian berupa kerusakan baut putus (*Steel Failure* ) dan kerusakan *slip* yang nilai kuat cabut angkurnya dapat diketahui

menggunakan rumus yang ada pada SNI 2847-2019. Hasil pengujian *Pull-out* dengan jenis kerusakan slip dan putus baut sampel 1 dan 2 angkur tipe *Dynabolt* dapat dilihat pada contoh perhitungan dan rekapitulasi pada Tabel 5.25 dan Tabel 5.26 berikut.

1. Pada sampel 2 angkur *Dynabolt* dengan kerusakan slip

   Diketahui:

   d = 8,3 mm

   hef = 105 mm

   $\mu$ = 0,719895049 MPa

   Sehingga nilai kapasitas kuat cabut *pull out* sebesar:

   Npg = $\pi . hef . da . \mu$

   = 3,14 x 105 x 8,3 x 0,7198

   = 12842,045 N

2. Pada sampel 1 angkur *Dynabolt* dengan kerusakan putus baut

   Diketahui:

   fua = 415,807 MPa

   d = 8,3 mm

   Sehingga nilai kapasitas kuat cabut *pull out* sebesar:

   AseN = $\frac{1}{4}$ x $\pi$ x $d^2$

   = $\frac{1}{4}$ x 3,14 x $8,3^2$

   = 113,097 $mm^2$

   Nsa = AseN x fua

   = 113,097 x 415,807

   = 22497, 685 N

Pada perhitungan diatas diperoleh nilai kuat tarik pada sampel 1 tipe *Dynabolt* 1 dalam pengujian *pull-out* dengan kerusakan putus baut didapatkan nilai beban maksimum sebesar 2620 N, sedangkan kerusakan slip pada sampel 2 tipe *Dynabolt* didapatkan beban maksimum sebesar 1970 N. Maka selisih hasil pengujian yang

dilakukan di Laboratorium dengan analisis teoritis dapat diketahui dengan cara berikut.

1. Selisih hasil pengujian uji lab dan teoritis pada sampel 2 *Dynabolt* (*slip*)

$$= \frac{Pmaks\ uji\ lab - hasil\ hitungan\ teoritis}{hasil\ hitungan\ teoritis}$$

$$= \frac{19325{,}7 - 12842{,}045}{12842{,}045}$$

$$= 0{,}508487$$

$$= 50\ \%$$

2. Selisih hasil pengujian uji lab dan teoritis pada sampel 1 *Dynabolt* (putus baut)

$$= \frac{Pmaks\ uji\ lab - hasil\ hitungan\ teoritis}{hasil\ hitungan\ teoritis}$$

$$= \frac{19325{,}7 - 22497{,}685}{22497{,}685}$$

$$= 0{,}1424374$$

$$= 14\ \%$$

Dari perhitungan diatas diperoleh selisih nilai dari pengujian yang dilakukan di Laboratorium dengan perhitungan teoritis sebesar 50% pada sampel *Dynabolt* 2 pada kerusakan *slip*, dan didapatkan selisih nilai pengujian dan perhitungan teoritis sebesar 14% pada sampel *Dynabolt 1* pada keruskan putus baut. Adapun rekapitulasi hasil pengujian dan analisis teoritis dapat dilihat pada Tabel 5.26 dan Tabel 5.27 berikut.

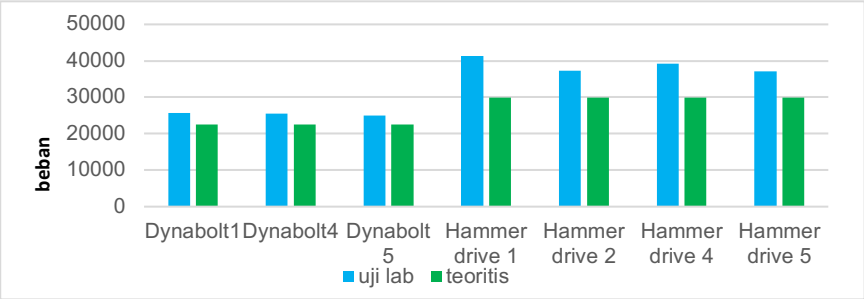
**Tabel 5.25 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Pull-out* Kerusakan Putus Baut**

| Kerusakan baut putus | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| no | benda uji | beban maksimum (Kgf) | hasil uji lab | | perhitungan teoritis | | | | selisih | rata rata |
| | | | beban maksimum (N) | rata-rata (N) | luas penampang | f ultimate | kuat tarik angkur | rata-rata | | |
| | | | | | AseN | fua | nsa | | | |
| 1 | Dynabolt1 | 2620 | 25702,2 | 25407,900 | 54,106 | 415,81 | 22497,686 | 22497,686 | 14% | 13% |
| 2 | Dynabolt4 | 2600 | 25506 | | 54,106 | | 22497,686 | | 13% | |
| 3 | Dynabolt 5 | 2550 | 25015,5 | | 54,106 | | 22497,686 | | 11% | |
| 4 | Hammer drive 1 | 4210 | 41300,1 | 38724,975 | 113,097 | 264,56 | 29921,031 | 29921,031 | 38% | 29% |
| 5 | Hammer drive 2 | 3800 | 37278 | | 113,097 | | 29921,031 | | 25% | |
| 6 | Hammer drive 4 | 3990 | 39141,9 | | 113,097 | | 29921,031 | | 31% | |
| 7 | Hammer drive 5 | 3790 | 37179,9 | | 113,097 | | 29921,031 | | 24% | |

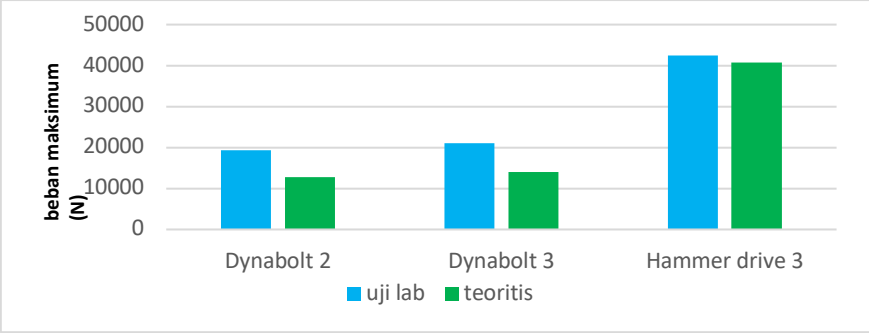
**Tabel 5.26 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Pull-out* Laboratorium Kerusakan *Slip***

| KERUSAKAN SLIP | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| no | benda uji | beban maksimum (Kgf) | beban maksimum (N) | rata-rata | analisis teoritis NPg (N) | rata-rata | selisih | rata-rata |
| 1 | Dynabolt 2 | 1970 | 19325,7 | 20159,55 | 12842,04537 | 13396,14377 | 50% | 50% |
| 2 | Dynabolt 3 | 2140 | 20993,4 | | 13950,24218 | | 50% | |
| 3 | Hammer drive 3 | 4330 | 42477,3 | 42477,3 | 40809,28857 | 40809,28857 | 4% | 4% |

Untuk memudahkan dalam melihat selisih hasil pengujian *Pull Out* yang dilakukan di labratorium dengan hasil perhitungan teoritis dapat dilihat dengan diagram batang pada Gambar 5.17 dan 5.18 berikut.




**Gambar 5.17 Perbandingan Hasil Pengujian *Pull-out* Laboratorium Dengan Perhitungan Teoritis Pada Kerusakan *Slip***




**Gambar 5.18 Perbandingan Hasil Pengujian *Pull-out* Laboratorium Dengan Perhitungan Teoritis Pada Kerusakan Putus Baut**

Pada Tabel 5.25 dan Tabel 5.26 diatas adalah rekapitulasi hasil pengujian *Pull out* yang di klasifikasi berdasarkan kerusakan yang terjadi. Tabel 5.25 merupakan rekapitulasi hasil pengujian *Pull out* dengan pola kerusakan baut putus, selanjutnya pada Tabel 5.26 merupakan rekapitulasi hasil pengujian *Pull out* dengan pola kerusakan *slip*. Pada kerusakan baut putus tipe *Dynabolt* dan *Hammerdrive* dengan perhitungan teoritis didapatkan nilai rata-rata kapasitas kuat cabut angkur sebesar 22497,686 N dan 29921,031 N, sedangkan nilai rata-rata hasil pengujian kuat cabut angkur yang dilakukan di laboratorium pada baut tipe *Dynabolt* dan *Hammerdrive* dengan kerusakan putus baut sebesar 25407,900 N dan 38724,975 N, selanjutnya pada baut tipe *Dynabolt* dan *Hammerdrive* dengan kerusakan baut tercabut atau slip dengan perhitungan teoritis didapatkan nilai rata-rata kuat cabut angkur sebesar 13396,143 N dan 40809,288 N, sedangkan nilai rata-rata hasil pengujian kuat cabut angkur yang dilakukan di laboratorium pada baut tipe *Dynabolt* dan *Hammerdrive* dengan kerusakan *slip* sebesar 20159,55 N dan 42477,3 N.

Terdapat selisih perbandingan antara hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium dengan hasil perhitungan teoritis. Nilai selisih perbandingan antara perhitungan teoritis dan pengujian yang dilakukan di laboratorium pada Tabel 5.25 dan Tabel 5.26 diklasifikasi berdasarkan tipe kerusakan, pada baut tipe *Dynabolt* dengan kerusakan putus baut didapatkan nilai selisih perbandingan antara hasil perhitungan teoritis dengan pengujian di laboratorium sebesar 50%, dan pada kerusakan *slip* didapatkan nilai selisih perbandingan antara hasil perhitungan teoritis dengan pengujian di laboratorium sebesar 13%

Kerusakan yang terjadi pada pengujian *Pull out* yang dilakukan kemungkinan terjadi disebabkan oleh kualitas mutu beton menjadi salah satu faktor utamanya, dan juga terdapat beberapa faktor antara lain ketika proses pembuatan beton dan pemasangan angkur, dan tegangan lekat. Faktor yang mungkin mempengaruhi hasil pengujian sehingga didapatkan selisih antara pehitungan teoritis dengan pengujian di Laboratorium antara lain ketika proses pengeboran yang tidak presisi sehingga kedalamannya tidak sesuai dengan rencana kedalaman yang ditentukan, dan terdapat faktor lain ketika proses pengeboran berlangsung bor tidak tegak lurus

sehingga lobang angkur tidak presisi, hasil pengelasan yang tentunya menghasilkan kekuatan yang berbeda antara benda uji satu dengan lainya.

Selain itu jika dilihat dari hasil beban maksimum pada tipe kerusakan *slip* dan putus terdapat perbedaan nilai yang didapat untuk masing masing tipe baut, beban maksimum pada kerusakan baut putus lebih besar dibanding kerusakan *slip*. Hal ini dimungkinkan berkaitan dengan tegangan lekat yang terjadi antara beton dan angkur, untuk kerusakan baut putus kemungkinan nilai tegangan lekat lebih tinggi dibandingkan dengan kerusakan tipe baut slip, tetapi hal ini perlu dibuktikan dengan analisis tegangan lekat. Oleh karena itu perlu dilihat besar tegangan lekat untuk masing masing baut dengan tipe kerusakannya, berikut merupakan contoh perhitungan analisis tegangan lekat pada sampel benda uji *Dynabolt* 1 dengan tipe kerusakan putus baut dan *Dynabolt* 2 dengan kerusakan *slip* sebagai berikut.

1. Tegangan lekat *Dynabolt* 1 tipe kerusakan putus baut

   Pmaks = 2620 N

   diameter angkur (db) = 8,3 mm

   Panjang tertanam (lb) = 105 mm

   Tegangan lekat ($\mu$) $= \frac{P}{\pi.db.lb}$

   $= \frac{2620}{\pi\ x\ 8{,}3\ x\ 105}$

   = 0,957 MPa

2. Tegangan lekat *Dynabolt* 2 tipe kerusakan *slip*

   Pmaks = 1970 N

   diameter angkur (db) = 8,3 mm

   Panjang tertanam (lb) = 105 mm

   Tegangan lekat ($\mu$) $= \frac{P}{\pi.db.lb}$

   $= \frac{1970}{\pi\ x\ 8{,}3\ x\ 105}$

   = 0,950 MPa

3. Tegangan lekat *Hammerdrive* 1 tipe kerusakan putus baut

Pmaks = 4210 N

diameter angkur (db) = 12 mm

Panjang tertanam (lb) = 105 mm

Tegangan lekat ($\mu$) $= \frac{P}{\pi.db.lb}$

$= \frac{4210}{\pi \; x \; 12 \; x \; 105}$

= 1,064 MP

4. Tegangan lekat *Hammerdrive* 3 tipe kerusakan *slip*

Pmaks = 4330 N

diameter angkur (db) = 12 mm

Panjang tertanam (lb) = 105 mm

Tegangan lekat ($\mu$) $= \frac{P}{\pi.db.lb}$

$= \frac{4330}{\pi \; x \; 12 \; x \; 105}$

= 1,094 MPa

Dengan cara perhitungan diatas, diperoleh nilai tegangan lekat pada sampel *Dynabolt* dan *Hammerdrive* dengan tipe kerusakan baut putus dan slip. Pada sampel *Dynabolt* 1 dengan kerusakan putus baut didapatkan nilai tegangan lekat sebesar 0,957 MPa, pada sampe *Dynabolt* 2 dengan kerusakan *slip* diapatkan nilai tegangan lekat sebesar 0,950 MPa, pada sampel *Hammerdrive* 1 dengan kerusakan putus baut didapatkan nilai tegangan lekat sebesar 1,064 MPa, dan pada sampel *Hammerdrive* 3 dengan kerusakan *slip* didapatkan tegangan lekat sebesar 1,094 MPa. Adapun hasil rekapitulasi perhitungan tegangan lekat dapat dilihat pada Tabel 5.27 berikut.

**Tabel 5.28 Rekapitulasi Perhitungan Tegangan Lekat**

| no | benda uji | P maksimum | Tegangan lekat (Mpa) | rata-rata (MPa) | kerusakan |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Dynabolt 1 | 2620 | 0,957423872 | 0,946 | putus baut |
| 2 | Dynabolt 4 | 2600 | 0,950115293 | | |
| 3 | Dynabolt 5 | 2550 | 0,931843845 | | |
| 4 | Dynabolt 2 | 1970 | 0,719895049 | 0,751 | Slip |
| 5 | Dynabolt 3 | 2140 | 0,782017972 | | |
| 6 | Hammer drive 1 | 4210 | 1,064098676 | 0,998 | putus baut |
| 7 | Hammer drive 2 | 3800 | 0,960469113 | | |
| 8 | Hammer drive 4 | 3990 | 1,008492569 | | |
| 9 | Hammer drive 5 | 3790 | 0,957941563 | | |
| 10 | Hammer drive 3 | 4330 | 1,094429279 | 1,094 | slip |

Dapat dilihat pada Tabel 5.27 diatas, didapatkan hasil perhitungan tegangan lekat pada setiap sampel dalam pengujian *pullout*. Pada sampel *Dynabolt* dengan kerusakan putus baut dan slip, didapatkan nilai rata-rata tegangan lekat sebesar 0,946 MPa dan 0,751 MPa, pada sampel *Hammerdrive* dengan kerusakan putus dan *slip* baut didapatkan nilai rata-rata tegangan lekat sebesar 0,998 MPa dan 1,094 MPa. Dengan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa kerusakan putus baut memberikan tegangan lekat lebih tinggi dibanding dengan kerusakan *slip* sesuai hipotesis awal, akan tetapi pada penelitian yang dilakukan tidak berlaku pada sampel angkur jenis *Hammerdrive*, dikarenakan pada hasil perhitungan tegangan lekat pada Tabel 5.27 pada sampel *Hammerdrive 3* didapatkan nilai tegangan lekat sebesar 1,094 MPa, sehingga pada sampel *Hammerdrive* dalam penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa tegangan lekat dengan kedua jenis kerusakan yang terjadi adalah mendekati sama nilainya.

# BAB VI
# KESIMPULAN DAN SARAN

## 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan hasil pengujian pada penelitian ini, sehingga didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Didapatkan nilai kuat cabut angkur (*Pull out test*) dengan metode pemasangan *post installed* berkisar antara 1970 kgf – 4330 kgf dengan nilai rata-rata 3200 kgf. Pada sampel angkur tipe *Dynabolt* memberikan nilai rata-rata kuat cabut angkur sebesar 2376 kgf, dan pada sampel *Hammerdrive* memberikan nilai rata-rata kuat cabut angkur sebesar 4024 kgf.
2. Pola kerusakan yang terjadi ketika pengujian *Pull out* yang dilakukan penulis adalah kerusakan *Slip* dan Putus baut (*Steel failure*), pada penelitian ini kerusakan slip terjadi lebih sedikit dibanding kerusakan putus baut (*steel failure*).
3. Dilakukan verifikasi terhadap hitungan teoritis dengan pengujian yang dilakukan di laboratorium disesuaikan berdasarkan tipe kerusakan baut angkur, secara keseluruhan terdapat selisih nilai dari yang terkecil dari 4% hingga 50%, untuk masing masing baut terjadi 2 tipe kerusakan yaitu kerusakan baut putus (*Steel failure*) dan *slip*. Pada sampel *Dynabolt* dengan tipe kerusakan putus baut didapatkan nilai rata-rata selisih error sebesar 13%, dan pada kerusakan *slip* didapatkan nilai rata-rata selisih error sebesar 50%, dan pada tipe baut *Hammerdrive* dengan kerusakan putus baut didapatkan nilai selisih perhitungan dengan pengujian rata-rata sebesar 29%, dan pada kerusakan *slip* didapatkan nilai selisih error rata-rata sebesar 4%.

## 6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, terdapat beberapa hal yang dapat dijadikan saran guna mengembangkan mengenai penelitian pengujian *pull out* dengan metode pemasangan angkur secara *post installed* selanjutnya.

1. Perlu ditingkatkan dalam proses pembuatan benda uji meliputi dari proses mix design, proses pengeboran diperlukan bor yang lebih proper sehingga lobang yang dihasilkan presisi.
2. Diperlukan sampel yang lebih banyak supaya mendapatkan data pengujian yang lengkap sehingga dapat menyimpulkan hasil pengujian secara matang.
3. Perlu mengkaji lebih lanjut mengenai spesifikasi *epoxy* yang digunakan sebagai bahan perekat pemasangan angkur tersebut.
4. Perlu mengkaji lebih lanjut mengenai analisis perhitungan teoritis pada angkur tipe *Dynabolt* dengan jenis kerusakan *slip.*

# DAFTAR PUSTAKA

American Society for Testing and Materials ASTM C900-87 (1987). *Standart Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete*. America

American Society for Testing Materials ASTM C33-93 *standard Specification for concrete aggregates.* Annual Book of ASTM Standards, ASTM 1994. Vol. 04.02, Concrete and Aggregates, ASTM C33-93, pp 10-16.

Amirul, H, & Apriyatno, H. (2020, August). *Eksperimen Tarik Angkur Tipe Ekspansi secara Cast in Place dan Post Installed dengan Keggalan Breakout Concret*. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS* (pp. 51-58).

Anatasya, L., & Apriyatno, H. (2020, August). *Eksperimen Pullout Test Hammer Drive Anchor M10 X 120mm dengan Jarak Angkur Tepi Beton Kritis melalui Metode Pemasangan Cast-In Place dan Post Installed*. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS* (pp. 59-65).

Badan Standarisasi Nasional. (1999). *Metode pengujian kuat tarik baja beton*: SNI 07-2529-1999, Jakarta, Indonesia.

Badan Standarisasi Nasional. SNI-1974-2011 *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder.*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.

Badan Standarisasi Nasional. SNI-7974-2013 *Spesifikasi Air Pencampur Yang Digunakan Dalam Produksi Beton Semen Hidraulis.* Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.

Badan Standarisasi Nasional. SNI-2847-2019 *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.* Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Badan Standarisasi Nasional. (2015). *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktura*l: SNI 1729:2015, Jakarta, Indonesia.

Bastian Dwi, A., & Henry, A. (2022) *Eksperiment On Chemical Attachment Of Anchor Deform Depth 110 mm Cast-In Place And Post Installed Drill Bit Extractor Method.* Semarang : Universitas Negeri Semarang.

Dewobroto, W., (2016) *Struktur Baja Perilaku, Analisis & Desain-AISC 2010 Edisi ke-2.* Tangerang : Jurusan Teknik Sipil UPH, Lippo Karawaci, Tangerang.

Dipohusodo, I., (1994), *Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03.* Gramedia, Jakarta.

Kementrian PUPR, Puslitbang (2005) *Prasarana Transportasi Departemen Pekerjaan Umum, Divisi 7-2005.* Jakarta

Lu, C., & Sonoda, Y. (2021). *An analytical study on the pull-out strength of anchor bolts embedded in concrete members by sph method*. Applied Sciences, 11(18), 8526.

Mulyono, T. (2013) *Teknologi Beton : Dari Teori Praktek..* Jakarta : Universitas Negeri Jakarta

Kresiariati, N., & Apriyatno, H. (2022). *Eksperimen Kegagalan Breakout Chemical Anchor Stud Metode Cast in Place dan Post Installed Dengan Modifikasi Lubang Drill Bit Extractor*. Citizen: Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia, *2*(3), 403-410.

Park, R. and Paulay, T., (1975). *Reinforced Concrete Structure.* John Willey & Son, New York.

Sendow, M. R., Manalip, H., & Kumaat, E. J. (2018). *Tegangan Lekat Antara Baja Dan Beton Mutu Tinggi Dengan Variasi Luas Tulangan*. *Jurnal Sipil Statik*, *6*(11).

Wang, D., Wu, D., He, S., Zhou, J., & Ouyang, C. (2015). *Behavior of post-installed large-diameter anchors in concrete foundations*. *Construction and Building Materials*, *95*, 124-132.

Wiguntoro, W., & Apriyatno, H. (2020, August). *Studi Eksperimental Perilaku Pull-Out pada Angkur Mekanis dengan Perbandingan Kekuatan Metode Pemasangan Cast-In-Place dan Post-Installed*. In Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS (pp. 45-50).

# LAMPIRAN

**Lampiran 1 : Data pengujian tarik angkur Hammerdrive 1**

| Beban (P) | | Ekstensiometer | Deformasi (ΔL) | Regangan (ε') | Tegangan (σ) |
|---|---|---|---|---|---|
| kgf | N | ... x $10^2$ mm | mm | % | MPa |
| 100 | 981 | 1 | 0,01 | 0,017% | 8,67 |
| 200 | 1962 | 1,50 | 0,015 | 0,025% | 17,35 |
| 300 | 2943 | 1,90 | 0,019 | 0,032% | 26,02 |
| 400 | 3924 | 2,10 | 0,021 | 0,035% | 34,70 |
| 500 | 4905 | 2,50 | 0,025 | 0,042% | 43,37 |
| 600 | 5886 | 3,00 | 0,03 | 0,050% | 52,04 |
| 700 | 6867 | 3,30 | 0,033 | 0,055% | 60,72 |
| 800 | 7848 | 3,60 | 0,036 | 0,060% | 69,39 |
| 900 | 8829 | 4,00 | 0,04 | 0,067% | 78,07 |
| 1000 | 9810 | 4,20 | 0,042 | 0,070% | 86,74 |
| 1100 | 10791 | 4,60 | 0,046 | 0,077% | 95,41 |
| 1200 | 11772 | 5,00 | 0,05 | 0,083% | 104,09 |
| 1300 | 12753 | 5,10 | 0,051 | 0,085% | 112,76 |
| 1400 | 13734 | 5,40 | 0,054 | 0,090% | 121,44 |
| 1500 | 14715 | 6,00 | 0,06 | 0,100% | 130,11 |
| 1600 | 15696 | 6,10 | 0,061 | 0,102% | 138,78 |
| 1700 | 16677 | 6,70 | 0,067 | 0,112% | 147,46 |
| 1800 | 17658 | 7,00 | 0,07 | 0,117% | 156,13 |
| 1900 | 18639 | 7,20 | 0,072 | 0,120% | 164,80 |
| 2000 | 19620 | 7,80 | 0,078 | 0,130% | 173,48 |
| 2100 | 20601 | 8,00 | 0,08 | 0,133% | 182,15 |
| 2200 | 21582 | 8,50 | 0,085 | 0,142% | 190,83 |
| 2300 | 22563 | 9,00 | 0,09 | 0,150% | 199,50 |
| 2400 | 23544 | 9,40 | 0,094 | 0,157% | 208,17 |
| 2500 | 24525 | 9,90 | 0,099 | 0,165% | 216,85 |
| 2600 | 25506 | 10,10 | 0,101 | 0,168% | 225,52 |
| 2700 | 26487 | 10,90 | 0,109 | 0,182% | 234,20 |
| 2740 | 26879,4 | 11,00 | 0,11 | 0,183% | 237,67 |
| 2800 | 27468 | 11,50 | 0,115 | 0,192% | 242,87 |
| 2900 | 28449 | 12,00 | 0,12 | 0,200% | 251,54 |
| 3000 | 29430 | 12,90 | 0,129 | 0,215% | 260,22 |
| 3100 | 30411 | 13,4 | 0,134 | 0,223% | 268,89 |
| 3130 | 30705,3 | 13,6 | 0,136 | 0,227% | 271,49 |

**Lampiran 2 : Data pengujian tarik angkur Hammerdrive 2**

| Beban (P) | | Ekstensiometer | Deformasi (ΔL) | Regangan (ε') | Tegangan (σ) |
|---|---|---|---|---|---|
| kgf | N | ... x $10^2$ mm | mm | % | MPa |
| 100 | 981 | 1 | 0,01 | 0,017% | 8,67 |
| 200 | 1962 | 1,50 | 0,015 | 0,025% | 17,35 |
| 300 | 2943 | 2,00 | 0,02 | 0,033% | 26,02 |
| 400 | 3924 | 2,10 | 0,021 | 0,035% | 34,70 |
| 500 | 4905 | 2,50 | 0,025 | 0,042% | 43,37 |
| 600 | 5886 | 2,80 | 0,028 | 0,047% | 52,04 |
| 700 | 6867 | 3,00 | 0,03 | 0,050% | 60,72 |
| 800 | 7848 | 3,50 | 0,035 | 0,058% | 69,39 |
| 900 | 8829 | 4,00 | 0,04 | 0,067% | 78,07 |
| 1000 | 9810 | 4,10 | 0,041 | 0,068% | 86,74 |
| 1100 | 10791 | 4,80 | 0,048 | 0,080% | 95,41 |
| 1200 | 11772 | 5,00 | 0,05 | 0,083% | 104,09 |
| 1300 | 12753 | 5,10 | 0,051 | 0,085% | 112,76 |
| 1400 | 13734 | 5,40 | 0,054 | 0,090% | 121,44 |
| 1500 | 14715 | 6,00 | 0,06 | 0,100% | 130,11 |
| 1600 | 15696 | 6,50 | 0,065 | 0,108% | 138,78 |
| 1700 | 16677 | 7,00 | 0,07 | 0,117% | 147,46 |
| 1800 | 17658 | 7,10 | 0,071 | 0,118% | 156,13 |
| 1900 | 18639 | 7,70 | 0,077 | 0,128% | 164,80 |
| 2000 | 19620 | 8,00 | 0,08 | 0,133% | 173,48 |
| 2100 | 20601 | 9,10 | 0,091 | 0,152% | 182,15 |
| 2200 | 21582 | 9,50 | 0,095 | 0,158% | 190,83 |
| 2300 | 22563 | 9,50 | 0,095 | 0,158% | 199,50 |
| 2400 | 23544 | 9,90 | 0,099 | 0,165% | 208,17 |
| 2500 | 24525 | 10,00 | 0,1 | 0,167% | 216,85 |
| 2600 | 25506 | 10,10 | 0,101 | 0,168% | 225,52 |
| 2700 | 26487 | 11,00 | 0,11 | 0,183% | 234,20 |
| 2760 | 27075,6 | 11,50 | 0,115 | 0,192% | 239,40 |
| 2800 | 27468 | 12,00 | 0,120 | 0,200% | 242,87 |
| 2900 | 28449 | 12,20 | 0,122 | 0,203% | 251,54 |
| 2920 | 28645,2 | 12,5 | 0,125 | 0,208% | 253,28 |

**Lampiran 3 : Data pengujian tarik angkur Hammerdrive 3**

| Beban (P) | | Ekstensiometer | Deformasi (ΔL) | Regangan (ε') | Tegangan (σ) |
|---|---|---|---|---|---|
| kgf | N | ... x $10^2$ mm | mm | % | MPa |
| 100 | 981 | 0,1 | 0,001 | 0,002% | 8,67 |
| 200 | 1962 | 0,50 | 0,005 | 0,008% | 17,35 |
| 300 | 2943 | 1,00 | 0,01 | 0,017% | 26,02 |
| 400 | 3924 | 1,00 | 0,01 | 0,017% | 34,70 |
| 500 | 4905 | 1,10 | 0,011 | 0,018% | 43,37 |
| 600 | 5886 | 1,50 | 0,015 | 0,025% | 52,04 |
| 700 | 6867 | 1,90 | 0,019 | 0,032% | 60,72 |
| 800 | 7848 | 2,00 | 0,02 | 0,033% | 69,39 |
| 900 | 8829 | 2,20 | 0,022 | 0,037% | 78,07 |
| 1000 | 9810 | 2,60 | 0,026 | 0,043% | 86,74 |
| 1100 | 10791 | 3,00 | 0,03 | 0,050% | 95,41 |
| 1200 | 11772 | 3,10 | 0,031 | 0,052% | 104,09 |
| 1300 | 12753 | 3,70 | 0,037 | 0,062% | 112,76 |
| 1400 | 13734 | 4,00 | 0,04 | 0,067% | 121,44 |
| 1500 | 14715 | 4,50 | 0,045 | 0,075% | 130,11 |
| 1600 | 15696 | 4,60 | 0,046 | 0,077% | 138,78 |
| 1700 | 16677 | 4,90 | 0,049 | 0,082% | 147,46 |
| 1800 | 17658 | 5,00 | 0,05 | 0,083% | 156,13 |
| 1900 | 18639 | 5,50 | 0,055 | 0,092% | 164,80 |
| 2000 | 19620 | 5,90 | 0,059 | 0,098% | 173,48 |
| 2100 | 20601 | 6,00 | 0,06 | 0,100% | 182,15 |
| 2200 | 21582 | 6,50 | 0,065 | 0,108% | 190,83 |
| 2300 | 22563 | 6,70 | 0,067 | 0,112% | 199,50 |
| 2400 | 23544 | 7,10 | 0,071 | 0,118% | 208,17 |
| 2500 | 24525 | 7,80 | 0,078 | 0,130% | 216,85 |
| 2600 | 25506 | 8,00 | 0,08 | 0,133% | 225,52 |
| 2700 | 26487 | 8,90 | 0,089 | 0,148% | 234,20 |
| 2780 | 27271,8 | 9,10 | 0,091 | 0,152% | 241,14 |
| 2800 | 27468 | 9,80 | 0,098 | 0,163% | 242,87 |
| 2900 | 28449 | 11,00 | 0,11 | 0,183% | 251,54 |
| 3000 | 29430 | 13,5 | 0,135 | 0,225% | 260,22 |
| 3100 | 30411 | 14,5 | 0,145 | 0,242% | 268,89 |

## Lampiran 4 : Data pengujian tarik angkur Dynabolt 1

| Beban (P) | | Ekstensiometer | Deformasi (ΔL) | Regangan (ε') | Tegangan (σ) |
|---|---|---|---|---|---|
| kgf | N | ... x $10^2$ mm | mm | % | MPa |
| 100 | 981 | 0,1 | 0,001 | 0,002% | 18,13 |
| 200 | 1962 | 0,50 | 0,005 | 0,012% | 36,26 |
| 300 | 2943 | 0,80 | 0,008 | 0,019% | 54,39 |
| 400 | 3924 | 1,10 | 0,011 | 0,027% | 72,52 |
| 500 | 4905 | 1,70 | 0,017 | 0,041% | 90,66 |
| 600 | 5886 | 2,50 | 0,025 | 0,060% | 108,79 |
| 700 | 6867 | 3,00 | 0,03 | 0,072% | 126,92 |
| 800 | 7848 | 3,60 | 0,036 | 0,087% | 145,05 |
| 900 | 8829 | 3,80 | 0,038 | 0,092% | 163,18 |
| 1000 | 9810 | 4,00 | 0,04 | 0,096% | 181,31 |
| 1100 | 10791 | 4,20 | 0,042 | 0,101% | 199,44 |
| 1200 | 11772 | 5,00 | 0,05 | 0,121% | 217,57 |
| 1300 | 12753 | 5,20 | 0,052 | 0,125% | 235,70 |
| 1400 | 13734 | 5,90 | 0,059 | 0,142% | 253,83 |
| 1500 | 14715 | 6,00 | 0,06 | 0,145% | 271,97 |
| 1600 | 15696 | 6,30 | 0,063 | 0,152% | 290,10 |
| 1700 | 16677 | 7,10 | 0,071 | 0,171% | 308,23 |
| 1800 | 17658 | 7,80 | 0,078 | 0,188% | 326,36 |
| 1900 | 18639 | 8,00 | 0,08 | 0,193% | 344,49 |
| 1950 | 19129,5 | 8,30 | 0,083 | 0,200% | 353,56 |
| 2000 | 19620 | 9,00 | 0,09 | 0,217% | 362,62 |
| 2100 | 20601 | 9,20 | 0,092 | 0,222% | 380,75 |
| 2200 | 21582 | 9,90 | 0,099 | 0,239% | 398,88 |
| 2300 | 22563 | 10,80 | 0,108 | 0,260% | 417,01 |
| 2400 | 23544 | 11,00 | 0,11 | 0,265% | 435,15 |

**Lampiran 5 : Data pengujian tarik angkur Dynabolt 2**

| Beban (P) | | Ekstensiometer | Deformasi (ΔL) | Regangan (ε') | Tegangan (σ) |
|---|---|---|---|---|---|
| kgf | N | ... x $10^2$ mm | mm | % | MPa |
| 100 | 981 | 1 | 0,01 | 0,017% | 18,13 |
| 200 | 1962 | 1,50 | 0,015 | 0,025% | 36,26 |
| 300 | 2943 | 2,00 | 0,02 | 0,033% | 54,39 |
| 400 | 3924 | 2,80 | 0,028 | 0,047% | 72,52 |
| 500 | 4905 | 3,10 | 0,031 | 0,052% | 90,66 |
| 600 | 5886 | 4,00 | 0,04 | 0,067% | 108,79 |
| 700 | 6867 | 4,50 | 0,045 | 0,075% | 126,92 |
| 800 | 7848 | 5,00 | 0,05 | 0,083% | 145,05 |
| 900 | 8829 | 5,20 | 0,052 | 0,087% | 163,18 |
| 1000 | 9810 | 6,00 | 0,06 | 0,100% | 181,31 |
| 1100 | 10791 | 6,20 | 0,062 | 0,103% | 199,44 |
| 1200 | 11772 | 7,00 | 0,07 | 0,117% | 217,57 |
| 1250 | 12262,5 | 7,50 | 0,075 | 0,125% | 226,64 |
| 1300 | 12753 | 7,50 | 0,075 | 0,125% | 235,70 |
| 1400 | 13734 | 8,00 | 0,08 | 0,133% | 253,83 |
| 1500 | 14715 | 8,50 | 0,085 | 0,142% | 271,97 |
| 1600 | 15696 | 9,00 | 0,09 | 0,150% | 290,10 |
| 1700 | 16677 | 10,00 | 0,1 | 0,167% | 308,23 |
| 1800 | 17658 | 10,30 | 0,103 | 0,172% | 326,36 |
| 1900 | 18639 | 11,00 | 0,11 | 0,183% | 344,49 |
| 2000 | 19620 | 11,50 | 0,115 | 0,192% | 362,62 |
| 2100 | 20601 | 11,80 | 0,118 | 0,197% | 380,75 |
| 2200 | 21582 | 11,80 | 0,118 | 0,197% | 398,88 |

**Lampiran 6 : Data pengujian tarik angkur Dynabolt 3**

| Beban (P) | | Ekstensiometer | Deformasi (ΔL) | Regangan (ε') | Tegangan (σ) |
|---|---|---|---|---|---|
| kgf | N | ... x $10^2$ mm | mm | % | MPa |
| 100 | 981 | 0,1 | 0,001 | 0,002% | 18,13 |
| 200 | 1962 | 1,00 | 0,01 | 0,024% | 36,26 |
| 300 | 2943 | 1,10 | 0,011 | 0,027% | 54,39 |
| 400 | 3924 | 1,70 | 0,017 | 0,041% | 72,52 |
| 500 | 4905 | 2,00 | 0,02 | 0,048% | 90,66 |
| 600 | 5886 | 2,20 | 0,022 | 0,053% | 108,79 |
| 700 | 6867 | 3,00 | 0,03 | 0,072% | 126,92 |
| 800 | 7848 | 3,10 | 0,031 | 0,075% | 145,05 |
| 900 | 8829 | 3,90 | 0,039 | 0,094% | 163,18 |
| 1000 | 9810 | 4,00 | 0,04 | 0,096% | 181,31 |
| 1100 | 10791 | 4,30 | 0,043 | 0,104% | 199,44 |
| 1200 | 11772 | 5,00 | 0,05 | 0,121% | 217,57 |
| 1300 | 12753 | 5,20 | 0,052 | 0,125% | 235,70 |
| 1400 | 13734 | 5,80 | 0,058 | 0,140% | 253,83 |
| 1500 | 14715 | 6,00 | 0,06 | 0,145% | 271,97 |
| 1600 | 15696 | 6,20 | 0,062 | 0,149% | 290,10 |
| 1700 | 16677 | 6,90 | 0,069 | 0,166% | 308,23 |
| 1800 | 17658 | 8,00 | 0,08 | 0,193% | 326,36 |
| 1900 | 18639 | 9,00 | 0,09 | 0,217% | 344,49 |
| 2000 | 19620 | 10,00 | 0,1 | 0,241% | 362,62 |
| 2100 | 20601 | 11,10 | 0,111 | 0,268% | 380,75 |
| 2200 | 21582 | 12,10 | 0,121 | 0,292% | 398,88 |
| 2280 | 22366,8 | 13,00 | 0,13 | 0,313% | 413,39 |

**Lampiran 7: Dokumentasi pengujian kuat tekan trial and error beton**




CONTROLS
AUTOMAX





**Lampiran 8 : Dokumentasi proses pembuatan benda uji**








**Lampiran 9 : Dokumentasi proses pengujian agregat**




















**Lampiran 10 : Dokumentasi Pengujian Kuat Tarik Material Angkur**

