

ANALISA KEKUATAN SAMBUNGAN PADA SISTEM KOMPOSIT KAYU NANGKA DAN BETON NORMAL

TUGAS AKHIR

Untuk Memenuhi Sebagian Dari Syarat-Syarat
Yang Diperlukan Untuk Memperoleh
Ijazah Sarjana Teknik

Disusun Oleh:

REZA WANARA

NIM : 1605903020013

Bidang : Struktur

Jurusan : Teknik Sipil



**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS TEUKU UMAR
ALUE PEUNYARENG – MEULABOH
2022**

LEMBAR PENGESAHAN JURUSAN
ANALISA KEKUATAN SAMBUNGAN PADA SISTEM
KOMPOSIT KAYU NANGKA DAN BETON NORMAL

Oleh

Nama Mahasiswa : Reza Wanara
Nomor Induk Mahasiswa : 1605903020013
Bidang Studi : Struktur
Jurusan : Teknik Sipil

Alue Peunyareng, 20 Desember 2022

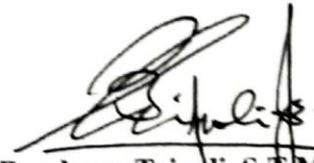
Diuji Oleh;

Penguji I



Dr. Ir. Astiah Amir, S.T., M.T
NIDN. 0123037304

Penguji II



Bambang Tripodi, S.T., M.T
NIP. 197902102021211004

Diketahui/Disahkan Oleh;

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Teuku Umar




Dr. Ir. M. Isy, M.T.
NIP. 19620411 198903 1002

Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Teuku Umar




Ir. Lissa Opirina, S.T., M.T.
NIP. 197905102021212009

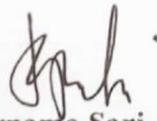
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI
ANALISA KEKUATAN SAMBUNGAN PADA SISTEM
KOMPOSIT KAYU NANGKA DAN BETON NORMAL

Oleh

Nama Mahasiswa : Reza Wanara
Nomor Induk Mahasiswa : 1605903020013
Bidang Studi : Struktur
Jurusan : Teknik Sipil

Alue Peunyareng, 20 Desember 2022

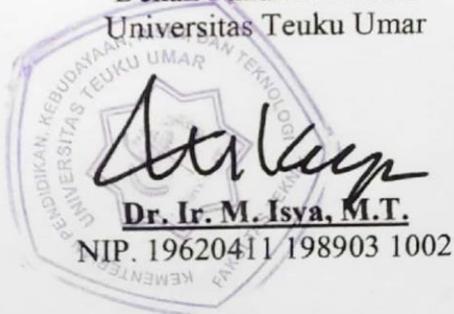
Disetujui Oleh;
Pembimbing



Dewi Purnama Sari, S.T., M.Eng
NIP. 198505052021212006

Diketahui/Disahkan Oleh;

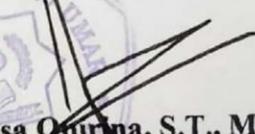
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Teuku Umar




Dr. Ir. M. Isya, M.T.
NIP. 196204111989031002

Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Teuku Umar




Ir. Lissa Opirna, S.T., M.T.
NIP. 197905102021212009

PERNYATAAN

Saya yang betanda tangan di bawah ini:

Nama : Reza Wanara

NIM : 1605903020013

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa:

1. Didalam skripsi saya tidak terdapat bagian atau satu kesatuan yang utuh dari tugas akhir, tesis, disertasi, buku atau bentuk lain yang saya kutip dari karya orang lain tanpa saya sebutkan sumbernya yang dapat dipandang sebagai tindakan penjiplakan.
2. Sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat reproduksi karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain yang dijadikan seolah olah karya asli saya sendiri.
3. Apabila ternyata terdapat dalam tugas akhir saya bagian bagian yang memenuhi unsur penjiplakan, maka saya menyatakan kesediaan untuk dibatalkan sebagian atau seluruhnya hak atas kesarjanaan saya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya untuk dapat digunakan seperlunya.

Alue peunyareng, 20 Desember 2022

Penulis,

Reza Wanara
NIM. 1605903020013

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatulahi wabarakatuh

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas berkah, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul *“Analisa Kekuatan Sambungan Pada Sistem Komposit Kayu Nangka dan Beton Normal”*. Shalawat beriring salam senantiasa kita curahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW sebagai suri tauladan untuk umat manusia. Penyusunan Tugas Akhir ini untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini tidak dapat diselesaikan tanpa dukungan dari berbagai pihak baik moril maupun materil. Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya terutama kepada Ayahanda saya Fazil dan Ibunda saya Neliana, yang tiada henti-hentinya mendoakan, memberikan perhatian, kasih sayang sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan Strata I ini. Serta terima kasih kepada keluarga dan saudara yang selalu mendo'akan selama penulis menyelesaikan kuliah.

Dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. M. Isya, M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar, Meulaboh;
2. Ibu Ir. Lissa Opirina, S.T., M.T, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar, Meulaboh;
3. Ibu Dewi Purnama Sari, S.T., M.Eng, selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak berperan dalam memberikan bimbingan, arahan, meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya hingga terselesaikannya penyusunan tugas akhir ini;
4. Ibu Dr. Ir. Astiah Amir, S.T., M.T, selaku Dosen Penguji I dan Bapak Bambang Tripoli, S.T, M.T, selaku Dosen Penguji II yang telah banyak memberikan kritik dan saran yang membangun untuk kesempurnaan penyusunan tugas akhir ini;
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar Meulaboh, dengan tulus dan ikhlas berkenan memberikan ilmu pengetahuan

yang sangat bermanfaat selama masa perkuliahan;

6. Seluruh Pegawai/Staf Akademik Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar yang telah membantu memenuhi kebutuhan penulis selama perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir ini;
7. Teman-teman angkatan 2016 yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu memberikan tenaga, saran dan motivasi kepada penulis dalam menyusun tugas akhir ini.

Penyusun menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan ilmu dan pengalaman. Oleh karena itu penyusun mengharapkan segala kritik dan saran yang sangat membangun sehingga hasil penelitian ini menjadi lebih baik lagi. Tugas akhir ini diharapkan bermanfaat dalam memberikan informasi keilmuan maupun pengetahuan kepada penulis dan kepada semua pihak pembaca. Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan bagi semua pihak yang ikhlas membantu, membimbing dan mengarahkan hingga selesainya penelitian dan Tugas Akhir ini dengan imbalan pahala yang setimpal, Amiin Yaa Rabbal 'Alamiin. Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Alue Peunyareng, 20 Desember 2022

Penulis,

Reza Wanara
NIM. 1605903020013

ANALISA KEKUATAN SAMBUNGAN PADA SISTEM KOMPOSIT KAYU NANGKA DAN BETON NORMAL

Oleh :

REZA WANARA

NIM 1605903020013

Komisi Pembimbing

Dewi Purnama Sari, S.T., M.Eng

ABSTRAK

Eksplorasi besar-besaran bahan alam untuk memproduksi beton berdampak pada kondisi lingkungan dan pemanasan global yang dapat menyebabkan bencana alam. Oleh karena itu penggunaan bahan beton harus se-efisien mungkin. Penggunaan kayu sebagai bahan konstruksi telah lama berkembang sebelum munculnya teknologi beton dan baja. Struktur komposit sistem lantai, sambungan merupakan bagian terlemah sehingga banyak kerusakan struktur akibat gagalnya sambungan. Alat sambung dapat meneruskan gaya geser serta mencegah atau mengurangi gerakan antara kayu dengan plat beton pracetak. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh sistem sambungan pada komposit batang kayu nangka dengan beton. Pengikat antara beton pracetak dan batang nangka adalah sekrup kunci (*lag screw*) berukuran berdiameter 6 mm dan 8 mm dengan panjang 100 mm. Adapun beton yang dipakai adalah beton pracetak dengan mutu beton K200, mempunyai lebar 150 mm, tebal 50 mm dan tinggi 400 mm dan dilakukan pengujian pada umur beton 28 hari. Batang nangka yang digunakan berdimensi lebar 80 mm tebal, 50 mm dan panjang 400 mm. Metode yang digunakan adalah metode *European Yield Model (EYM)*. Penelitian ini menganalisa kekuatan alat sambung antara kayu dan beton pracetak dengan variasi berjumlah 4 jenis. Variasi tersebut terdiri dari 3 benda uji dengan kode B8-1x, B6-1x, B6-2y dan B8-2y. Pengujian ini, untuk benda uji dengan alat sambung berdiameter 6 mm, sudut pemasangan 60° dan panjang sekrup 127 mm mempunyai beban maksimum 39,32 kN. Kekakuan maksimum yang didapat dari LVL kayu nangka sebesar 3.00 kN pada benda uji berdiameter 6 mm, panjang sekrup 127 mm, sedangkan nilai minimum yang didapat sebesar 1,52 kN berdiameter 6 mm, panjang sekrup 101,6 mm. Saat pengujian, beton pracetak sangat banyak mengalami kehancuran. sehingga hanya dua benda uji yang mempunyai beton yang tidak rusak dan alat sambung hanya mengalami kondisi leleh yang besar. Kegagalan tersebut terdapat pada satu benda uji komposit dengan berdiameter 6 mm, sudut pemasangan 60° dan panjang sekrup 127 mm.

Kata Kunci : Alat sambung, Kayu nangka, Sistem komposit, Beton normal

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN JURUSAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN HITUNG.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Penelitian	2
1.5 Hasil Penelitian	3
BAB II TINJAUAN KEPUSTAKAAN.....	4
2.1 Pengertian Batang Nangka	4
2.1.1 Sifat fisik kayu nangka	4
2.1.2 Berat jenis	5
2.1.3 Kandungan air	5
2.1.4 Kembang susut	6
2.2 <i>European Yield Model (EYM)</i>	7
2.3 Sambungan Sekrup Kunci (<i>Lag Screw</i>)	9
2.4 Kuat Tumpu <i>Lag Screw</i>)	9

2.5 Sekrup Kunci (<i>Lag Screw</i>)	10
2.6 Kuat Leleh Lentur <i>Lag Screw</i>	11
2.7 Analisis Sambungan <i>Lag Screw</i>	12
2.8 Pengujian Kuat Tumpu	13
2.9 Sambungan Batang Nangka	14
2.10 Pengertian Beton	17
2.11 Bahan Campuran Beton.....	18
2.12 Kuat Tekan Beton	18
2.13 Penelitian Terdahulu.....	19
BAB III METODE PENELITIAN	22
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	22
3.2 Penyiapan Material dan Bahan Penelitian	22
3.3 Peralatan yang digunakan	23
3.4 Tahaan Metode Penelitian	23
3.4.1 Tahap persiapan awal	24
3.4.2 Tahap pemilihan bahan dan peralatan	24
3.4.3 Tahap uji pendahuluan.....	24
3.4.4 Tahap pembuatan benda uji batang nangka	24
3.4.5 Tahap pemeriksaan kadar air dan berat jenis sebelum pengujian	25
3.4.6 Tahap pembuatan beton pada batang nangka	26
3.4.7 Tahap pembuatan beton pada benda uji kubus	26
3.4.8 Tahap analisis dan hasil penelitian	27
3.5 Pengujian Kuat Tumpu Kayu Nangka.....	29
3.6 Pengujian Kuat Cabut <i>Lag Screw</i> Pada Kayu Nangka	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
4.1 Analisis Hasil Pengujian.....	32
4.1.1 Kapasitas geser beton pracetak dan batang nangka.....	34
4.2 Pembahasan Pengujian	35

4.2.1 Nilai pengujian kapasitas geser beton pada beban 40%	35
4.2.2 Pengujian perhitungan tahanan lateral menggunakan EYM.....	37
4.2.3 Benda Uji Komposit	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran.....	46
DAFTAR KEPUSTAKAAN.....	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Bentuk-bentuk Alat sambung <i>Lag Screw</i> (ASCE,1996)	12
Gambar 2.2 : Distribusi Tegangan Tumpu Pada Sambungan <i>Lag Screw</i>	13
Gambar 2.3 : Fabrikasi Spesimen Kayu	13
Gambar 2.4 : Konfigurasi Uji Kuat Tumpu	14
Gambar 2.5 : Model Atau Tipe Kerusakan Berdasarkan Model Batas Leleh.	16
Gambar 2.6 : Moda Kegagalan Sambungan Dengan satu Bidang Geser	17
Gambar 3.1 : Sambungan Pada Sistem Komposit Batang Nangka dan Beton Dengan Posisi <i>Lag Screw</i> 90°	25
Gambar 3.2 : Penampang Pada Komposit Batang Nangka Dan Beton.....	26
Gambar 3.3 : Benda Uji Kubus	27
Gambar 3.4 : Skema <i>Setting Up</i> Pengujian Kuat Tekan	28
Gambar 3.5 : <i>Setting Up</i> Pengujian Kuat Tumpu Uji Setengah Lubang	30
Gambar 3.6 : Proses Pemasangan Sekrup Pada Benda Uji	30
Gambar 4.1 : Grafik Hubungan Beban dengan Slip BU 1 sampai BU 3	33
Gambar 4.2 : Dokumen <i>Setting Up</i> Pembebanan	34
Gambar 4.3 : Penentuan Nilai F maks pada Beban 40%	36
Gambar 4.4 : Hasil Benda Uji B8-1x	39
Gambar 4.5 : Grafik Hubungan Beban Dengan Slip Pada Variasi 1	39
Gambar 4.6 : Hasil Benda Uji B6-1x	40
Gambar 4.7 : Grafik Hubungan Beban Dengan Slip Pada Variasi 2	41
Gambar 4.8 : Hasil Benda Uji B6-2y	42
Gambar 4.9 : Grafik Hubungan Beban Dengan Slip Pada Variasi 3	42
Gambar 4.10: Hasil Benda Uji B8-2y	43
Gambar 4.11: Grafik Hubungan Beban Dengan Slip Pada Variasi 4	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	: Rata-rata Berat Jenis Volume Segar, Berat Jenis Volume Kering Udara Dan Berat Jenis Volume Kering Tanur (%)	5
Tabel 2.2	: Rata-rata Kadar Air Segar dan Kadar Air Kering Udara (%).....	6
Tabel 2.3	: Rata-rata Keteguhan Lengkung Statik Pada Batas Patah (MOR)..	7
Tabel 2.4	: Sambungan Dengan Satu Irisan Yang Menyambung Dua Komponen	8
Tabel 3.1	: Campuran Beton yang Digunakan	26
Tabel 4.1	: Spesifikasi Benda Uji	33
Tabel 4.2	: Hasil Pengujian Geser	35
Tabel 4.3	: Perhitungan Nilai Kekakuan Satu Sekrup	37
Tabel 4.4	: Perhitungan Tahanan Lateral	38

DAFTAR LAMPIRAN GAMBAR

Gambar A.1.1 : Bagan Alir Penelitian.....	48
Gambar A.1.2 : Peralatan yang Digunakan	49
Gambar A.1.3 :Proses Pengolahan Bahan	50
Gambar A.1.4 :Proses Pengecoran Beton Pracetak.....	51
Gambar A.1.5 :Proses Pengeboran Beton Pracetak	52
Gambar A.1.6 : Proses Perakitan Beton Pracetak	53
Gambar A.1.7 : Pengujian Kuat Cabut Pada Baut	54
Gambar A.1.8 :Pengujian Kuat Tekan Pada Benda Uji.....	55
Gambar A.1.9 : Hasil Benda Uji Setelah Pengujian Kuat Tekan.....	56
Gambar A.1.10 : Kelelehan Baut Setelah di Uji	57
Gambar A.1.11 : Pengujian Kuat Tumpu.....	58

DAFTAR LAMPIRAN TABEL

Tabel B.3.1 : Perhitungan <i>Mix Design</i> Beton.....	59
Tabel B.3.2 : Rekap Perhitungan <i>Mix Design</i>	61
Tabel B.3.3 : Hubungan Faktor Air Semen dan Kuat Tekan Beton K-200.....	61

DAFTAR LAMPIRAN HITUNG

Lampiran C.1.1 Persamaan EYM pada Diameter 8 mm Panjang Sekrup	
101,6 mm.....	62
Lampiran C.1.2 Persamaan EYM pada Diameter 8 mm Panjang Sekrup	
127 mm.....	63
Lampiran C.1.3 Persamaan EYM pada Diameter 6 mm Panjang Sekrup	
101.6 mm.....	64
Lampiran C.1.4 Persamaan EYM pada Diameter 6 mm Panjang Sekrup	
127 mm.....	65

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan struktur komposit sistem lantai kayu dan beton memiliki berat struktur yang lebih ringan bila dibandingkan dengan lantai beton bertulang, sehingga beban mati yang didistribusikan ke fondasi menjadi lebih sedikit. Struktur komposit sistem lantai, sambungan merupakan bagian terlemah sehingga banyak kerusakan struktur akibat gagalnya sambungan. Alat sambung dapat meneruskan gaya geser serta mencegah atau mengurangi gerakan antara kayu dengan slab beton. Performa mekanik kayu dan beton sangat dipengaruhi oleh kualitas alat sambung antara kayu dan beton. Alat sambung juga harus terdeformasi secara plastis sebelum terjadi kerusakan pada bagian kayu ataupun beton (Suriani, 2014). Penggunaan kayu sebagai bahan konstruksi telah lama berkembang sebelum munculnya teknologi beton dan baja. Saat ini ketersediaan kayu dalam ukuran besar dengan kekuatan yang diinginkan sudah sangat terbatas (Pratiwi & Tjondro, 2018).

Struktur lantai komposit kayu-beton ini memiliki lebih banyak keunggulan bila dibandingkan dengan lantai beton bertulang saja. Fragiacomio & Lukaszewska (2013) menyatakan bahwa pada struktur komposit sistem lantai ini, slab beton dapat mengurangi defleksi beban hidup serta kerentanan terhadap getaran sistem lantai. Selain itu slab beton juga lebih tahan terhadap api (Yeoh *et al.* 2010).

Menghindari gagalnya sistem sambungan pada struktur komposit sistem batang kayu nangka dengan beton, dilakukan penelitian mengenai sistem sambungan pada komposit batang kayu nangka dengan beton tersebut. Selain itu, perhitungan kapasitas tahanan lateral dan perilaku sambungan perlu diperhatikan lebih dalam. Persamaan untuk menghitung tahanan lateral sambungan pada konstruksi kayu diusulkan oleh Johansen (1949) yaitu *Yield Model* atau yang lebih dikenal dengan *European Yield Model* (EYM) dalam Dasar-dasar Perencanaan Sambungan Kayu (Awaludin, 2018).

Teori EYM ini, kayu dan alat sambung diasumsikan berperilaku *rigid-plastic*. Tahanan lateral sambungan pada teori ini diperoleh apabila kekuatan tumpu ultimit kayu di bawah alat sambung tercapai, atau terbentuknya suatu atau beberapa sendi plastis pada alat sambung disertai dengan tegangan plastis pada kayu. Tahanan lateral acuan satu paku (Z) pada sambungan dengan satu irisan yang menyambung dua komponen menurut EYM dapat dilihat pada Persamaan 1 sampai dengan 4.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan serta penelusuran referensi, maka yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana kekuatan sambungan, sambungan komposit dan tahanan lateral pada beton normal?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan penelitian ini untuk mengetahui kekuatan sambungan, sambungan komposit dan tahanan lateral pada batang angka dan beton normal.

1.4 Batasan Penelitian

Agar penelitian ini tidak menyimpang dari tujuannya, maka diberi batasan masalah sebagai berikut:

1. Faktor air semen (FAS) rencana adalah 0,54;
2. Kuat tekan rencana (f'_c) adalah 25 MPa;
3. Pengujian kuat tekan beton komposit dilakukan pada umur beton 28 hari;
4. Pengujian yang dilakukan adalah beban static;
5. Metode yang digunakan adalah teori *European Yield Model* (EYM).

1.5 Hasil Penelitian

Hasil penelitian meliputi pemahaman tentang melihat kegagalan sambungan lelehnya pada daerah tumpuan, kegagalan beton dan kayunya terhadap sambungan pada sistem komposit serta untuk melihat beban dan lendutan yang terjadi saat beban maksimal dan minimal. Adapun manfaat lain agar dapat memberikan kontribusi ilmiah yang mendasar terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dan sumber informasi teknologi dalam bidang rekayasa struktur bangunan

BAB II

TINJAUAN KEPUSTAKAAN

Bab ini akan disajikan teori-teori yang mendukung permasalahan dalam penelitian, dikutip dari hasil penelitian terdahulu beserta referensi yang ada. Sambungan antara batang nangka dan beton pada struktur komposit sistem lantai merupakan bagian terlemah sehingga banyak kerusakan struktur akibat gagalnya sambungan karena melampaui kekuatan beton tersebut. Beban yang bekerja mengakibatkan patahan pada sambungan komposit dapat berupa gaya tekan. Jika sambungan komposit tidak mampu menahan gaya tekan, maka pada daerah yang menerima gaya tekan paling besar misalnya pada tengah bentang akan terjadi patahan.

2.1 Pengertian Batang Nangka

Nangka atau *Artocarpus heterophyllus Lam* merupakan salah satu tanaman buah suku *Moraceae genus Artocarpus* berupa pohon yang berasal dari India dan telah menjadi tanaman nasional bagi Indonesia (Rosandy, 2015).

Batang yang sudah tua sangat baik untuk bahan bangunan. Semakin tua warna kuningnya, semakin bermutu pula tinggi kayunya. Kayu nangka dianggap lebih unggul dari pada jari untuk membuat meubel, konstruksi bangunan pembubutan, tiang kapal, dayung, perkakas dan alat musik (Dennis, 2017).

2.1.1 Sifat fisik kayu nangka

Penggunaan kayu untuk konstruksi luar bangunan harus memenuhi syarat kekuatan dan keawetan, karena tujuan umum para pemilik bangunan maupun perencana adalah membangun/mempunyai gedung yang aman dan kuat konstruksinya, biaya konstruksi murah, umur bangunan cukup lama serta biaya pemeliharannya ringan. Ketahanan kayu dari organisme perusak ditentukan oleh sifat keawetan kayu dan kondisi lingkungan penggunaannya.

2.1.2 Berat jenis

Berat jenis kayu nangka adalah perbandingan berat kayu nangka terhadap berat suatu volume air yang sama dengan volume kayu tersebut. Berat jenis dan kerapatan kayu nangka menentukan sifat fisika dan mekanikanya. Hal ini disebabkan nilai berat jenis dan kerapatan kayu nangka ditentukan oleh banyaknya zat kayu. Berdasarkan penentuan konstruksi kayu di Inonesia (SNI 7973, 2013), nilai-nilai yang diadopsi tersebut tentunya meningkatkan resiko ketidaksesuaian jika digunakan langsung di Indonesia, hal ini karena Indonesia sebagai negara tropis memiliki kayu dengan rentang berat jenis yang lebih besar dan didominasi oleh kayu berdaun lebar dengan struktur anatomi yang berbeda. Sehingga dapat disimpulkan kayu nangka memiliki kualitas yang baik. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Rata-rata Berat Jenis Volume Segar, Berat Jenis Volume Kering Udara dan Berat Jenis Volume Kering Tanur (%).

Aksial	Berat Jenis		
	Berat Jenis Segar	Berat Jenis Kering Udara	Berat Jenis Tanur
Pangkal	0.60	0.62	0.63
Tengah	0.51	0.52	0.55
Ujung	0.52	0.54	0.56
Rata-rata	0.54	0.56	0.58

Sumber: Nana Marlina (2018)

2.1.3 Kandungan air

Penyerapan dan pengeluaran air yang berulang-ulang biasanya diikuti dengan retak dan pecah pada kayu. Mengatasi keadaan tersebut maka beberapa cara yang perlu diperhatikan diantaranya adalah menyimpan kayu pada ruang yang tidak lembab, lantai kering dan sirkulasi udara lancar. (Nana Marlina, 2018) melakukan penelitian kadar air serta berat jenis kayu nangka. Pengukuran kadar air dilakukan sehari setelah penebangan. Hasil penelitiannya tercantum pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Rata-rata Kadar Air Segar dan Kadar Air Kering Udara (%)

Aksial	Kadar Air	
	Kadar Air Segar	Kadar Air Kering Udara
Pangkal	97.35	12.83
Tengah	96.81	11.73
Ujung	84.86	12.13
Rata-rata	93.01	13.36

Sumber: Nana Marlina (2018)

Berdasarkan Tabel 2.2 diketahui bahwa nilai rata-rata kadar air kering udara pada kayu nangka yaitu 13,36%, dengan nilai tertinggi diperoleh pada bagian pangkal 12.83% dan terendah pada bagian tengah 11.73%. Kadar air kayu akan berubah sesuai dengan kondisi iklim tempat dimana kayu berada akibat dari perubahan suhu dan kelembaban udara (Bowyer, et al, 2003). Di Indonesia nilai kadar air kering udara berkisar antara 12 hingga 20% (Ardiansah, 2017). Berdasarkan hasil uji analisis keragaman pada taraf signifikan 5% diketahui bahwa kedudukan aksial batang pada pohon tidak berpengaruh nyata terhadap kadar air kering udara kayu nangka (Nana Marlina, 2018).

2.1.4 Kembang susut

Kembang susut kayu nangka perlu diperhatikan agar struktur bangunan kayu nangka tidak mengalami perubahan bentuk dan penurunan kualitas akibat adanya penyusutan. Adanya perubahan bentuk ini tentunya akan mengurangi nilai fungsi dari sebuah struktur bangunan, misalnya penyusutan pada pintu dan jendela sehingga tidak bisa dibuka, retaknya kaca, dan lain-lain.

Nilai rata-rata keteguhan lengkung statik pada batas patah (MOR) kayu nangka pada kedudukan aksial disajikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Rata-rata Keteguhan Lengkung Statik Pada Batas Patah (MOR)

Pangkal	Tengah	Ujung	Rata-rata
812.57	587.90	564.97	655.15

Sumber: Nana Marlina (2018)

Hasil perhitungan (Nana Marlina, 2018) keteguhan lengkung statik pada batas patah (MOR) kayu nangka menurut kelas kuat Indonesia masuk dalam kelas kuat III yang memiliki kisaran nilai MoR 500 – 725 kg/cm². Berdasarkan Tabel 2.3 keteguhan lengkung statik pada batas patah (MOR) kayu nangka (*Artocarpus heterophyllus*) yang diperoleh nilai tertinggi pada bagian pangkal sebesar 812.57 dan terendah pada bagian ujung sebesar 564.97. Berdasarkan hasil analisis keragaman pada taraf signifikan 5% bahwa kedudukan aksial batang pada pohon berpengaruh nyata terhadap keteguhan lengkung statik pada batas patah (MoR) kayu nangka.

2.2 *European Yield Model (EYM)*

European Yield Model (EYM) adalah teori yang menjadi acuan perhitungan kekuatan sambungan kayu yang kemudian diadopsi oleh *American Forest & Paper Association (AF & PA)* sebagai dasar *National Design Specification (NDS) for Wood Construction* untuk analisis perhitungan tahanan lateral sambungan kayu. Terdapat tiga parameter utama dalam perhitungan kekuatan sambungan berdasarkan metode EYM, yaitu kuat tumpu kayu, kuat lentur *lag screw*, dan geometri sambungan kayu.

Model European Yield Model (EYM) hanya digunakan untuk mencari beban pada titik leleh suatu sambungan, sedangkan untuk menentukan beban maksimum digunakan metode *offset 5% diameter*. Persamaan nilai model tabel kelelahan *lag screw* dapat dilihat pada Tabel 2.5 Halaman 16.

Dalam teori EYM ini, kayu dan alat sambung diasumsikan berperilaku *rigid-plastic*. Tahanan lateral sambungan pada teori ini diperoleh apabila kekuatan tumpu ultimit kayu di bawah alat sambung tercapai, atau terbentuknya suatu atau beberapa sendi plastis pada alat sambung disertai dengan tegangan plastis pada kayu. Tahanan lateral acuan satu paku (Z) pada sambungan dengan satu irisan yang menyambung dua komponen menurut EYM dapat dilihat pada persamaan-persamaan berikut ini:

Tabel 2.4 Sambungan Dengan Satu Irisan Yang Menyambung Dua Komponen

Model Batas Leleh	Sambungan Dengan Satu Irisan
I_s	$\frac{3,3Dt_sF_{es}}{K_D}$
III_m	$\frac{3,3k_2DpF_{em}}{K_D(1+2R_e)}$
III_s	$\frac{3,3k_2Dt_sF_{es}}{K_D(1+2R_e)}$
IV_s	$\sqrt{\frac{2F_{em}F_{yb}}{3(1+R_e)}}$

Sumber: Ali Awaludin (2018)

Dengan nilai k_1 dan k_2 persamaan-persamaan berikut ini:

$$k_1 = (-1) + \sqrt{2(1+R_e) + \frac{2F_{yb}(1+2R_e)D^2}{3F_{em}t_s^2}} \quad (2.1)$$

$$k_2 = (-1) + \sqrt{\frac{2(1+R_e)}{F_e} + \frac{2F_{yb}(1+2R_e)D^2}{3F_{em}t_s^2}} \quad (2.2)$$

Dimana:

t_m = Tebal kayu utama;

t_s = Tebal beton samping;

D = Diameter alat sambung;

p = Kedalaman penetrasi efektif batang alat pengencang pada komponen pemegang;

K_D = Bernilai 2,2 untuk alat sambung berdiameter kurang dari 4,3 mm;

F_{em} = Kuat tumpu kayu utama;

- F_{es} = Kuat tumpu beton samping;
- F_{yb} = Kuat lentur alat sambung;
- R_e = Perbandingan antara F_{em} dan F_{es} .

Perhitungan nilai kekakuan dalam penelitian ini mengacu pada ISO 6891: 1983 (1983), Persamaan untuk menghitung nilai kekakuan (k_s) dapat dilihat pada persamaan 2:

$$k_s = 0,4 \frac{F_{maks}}{vi} \quad (2.3)$$

Dimana:

- k_s = Kekakuan
- F_{maks} = Beban maksimal
- vi = Selip pada beban 40%

2.3 Sambungan Sekrup Kunci (*Leg Screw*)

Perkiraan yang akurat untuk tahanan lateral sambungan komposit kayu-beton dengan alat sambung sekrup kunci diperlukan dalam mendisain konstruksi kayu yang handal terhadap beban lateral (seperti angin atau beban gempa) (Suriani, 2014)

Sambungan menggunakan alat sambung sekrup kunci (*leg screw*) terdapat beberapa hal yang harus diperhitungkan, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Tahanan lateral acuan;
2. Geometrik sambungan *lag screw*;
3. Faktor koreksi sambungan.

2.4 Kuat Tumpu *Lag screw*

Kuat tumpu *lag screw* (*Bolt bearing strenght*) adalah suatu sifat mekanik bahan yang ditentukan berdasarkan hasil uji yang menggambarkan kuat batas dari kayu sekeliling lubang yang terbebani tekan atau *lag screw* (Nasution et al., 2021). Tenggangan kuat tempu dihitung dengan membagi beban pada *lag screw*

dibagi dengan panjang *lag screw* dan diameter *lag screw*. Tegangan kuat tumpu yang didasarkan pada hasil pengujian batas leleh yang didefinisikan sebagai *offset* diameter 5% pada kurva beban-deformasi (Ross, 2010).

Kekuatan tumpu *lag screw* memiliki kolerasi yang cukup positif dengan nilai kekuatan tekan sejajar serat. Semakin tinggi nilai kekuatan tekan sejajar serat kayu maka nilai kekuatan tumpu *lag screw* yang dihasilkan semakin tinggi juga. Dengan demikian dapat dikatakan nilai tekan sejajar serat dapat digunakan sebagai parameter untuk menduga nilai kekuatan tumpu *lag screw* yang dihasilkan. Meskipun pengujian keduanya relatif sama yaitu dengan menggunakan beban tekan pada contoh uji namun besarnya nilai kekuatan tumpu *lag screw* lebih dipengaruhi oleh distribusi tegangan dibawah *lag screw* akibat diberikan beban tekan. Selain hal itu, berdasarkan uji statistik jenis kayu dan ukuran diameter *lag screw* juga mempengaruhi nilai kekuatan tumpu *lag screw* yang dihasilkan (Sadiyo *et al.*, 2012).

2.5 Sekrup Kunci (*Lag Screw*)

Lag screw merupakan salah satu jenis alat sambung mekanis atau pengencang yang banyak digunakan dalam sambungan kayu. *Lag screw* umumnya digunakan untuk memikul beban-beban yang lebih besar dibandingkan dengan beban yang dipikul oleh alat sambung lain seperti paku. Pemakaian *lag screw* umumnya pada sambungan dengan pembebanan lateral (Suriani, 2014).

Berdasarkan kadar unsur karbon (C) maka *lag screw* besi yang digunakan termasuk dalam kategori baja karbon rendah (kadar karbon < 0,3 %). Sementara itu, *lag screw* baja termasuk dalam kategori baja karbon sedang (kadar karbon > 0,3 %). Kadar unsur C merupakan dasar penggolongan baja karbon rendah (<0,3%), sedang (0,3-0,6 %), dan tinggi (>0,6%). *Lag screw* baja karbon rendah memiliki kekuatan yang lebih rendah dari pada *lag screw* baja karbon sedang terutama terkait dengan unsur c yang lebih rendah karena pada unsur C memberikan sifat kekuatan pada *lag screw* (Herawati *et al.*, 2017).

2.6 Kuat Leleh Lentur *Lag Screw*

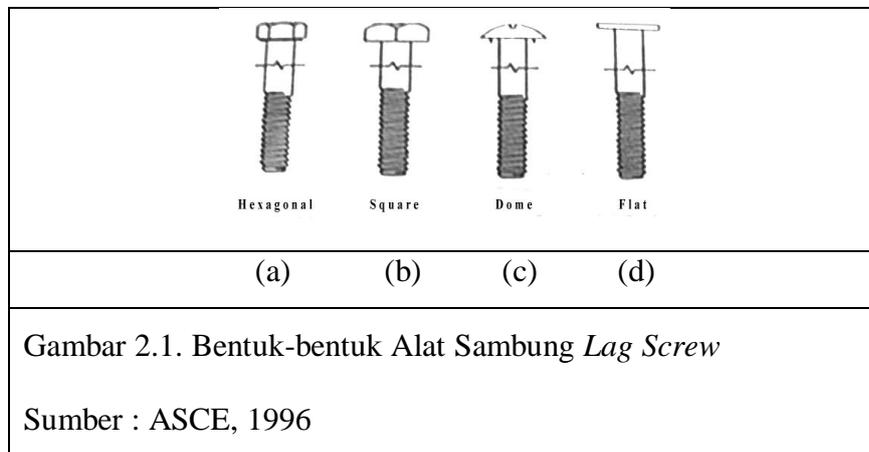
Kuat leleh lentur *lag screw* adalah nilai yang digunakan untuk memprediksi kapasitas beban suatu *lag screw* yang dibentangkan dan di berikan beban tekan pada arah tegak lurus. *Lag screw* merupakan salah satu jenis alat sambung mekanis atau pengencang yang banyak digunakan dalam sambungan kayu. *Lag screw* umumnya digunakan untuk memikul beban-beban yang lebih besar dibandingkan dengan beban yang dipikul oleh alat sambung lain seperti paku. Pemakaian *lag screw* umumnya pada sambungan dengan pembebanan lateral (Suriani, 2014).

Berdasarkan kadar unsur karbon (C) maka *lag screw* besi yang digunakan termasuk dalam kategori baja karbon rendah (kadar karbon $< 0,3\%$). Sementara itu, *lag screw* baja termasuk dalam kategori baja karbon sedang (kadar karbon $> 0,3\%$). Kadar unsur C merupakan dasar penggolongan baja karbon rendah ($< 0,3\%$), sedang ($0,3 - 0,6\%$), dan tinggi ($> 0,6\%$). *Lag screw* baja karbon rendah memiliki kekuatan yang lebih rendah daripada *lag screw* baja karbon sedang terutama terkait dengan unsur C yang lebih rendah karena pada unsur C memberikan sifat kekuatan pada *lag screw* (Herawati et al., 2017).

Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan mekanika teknik berdasarkan teori batas leleh sesuai untuk menganalisis alat sambung atau pengencang tipe dowel pada sambungan kayu. Model batas leleh Eropa (*European Yield Model*) selanjutnya dipakai secara luas dalam standar desain sambungan yang berlaku di banyak negara. Berdasarkan model batas leleh, nilai desain acuan pengencang yang memikul beban lateral geser dipengaruhi antara lain oleh kekuatan leleh lentur (bending yield strength, F_{yb}) pengencang. Kekuatan leleh lentur pengencang (F_{yb}) dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 7973:2013 ditentukan berdasarkan metode offset 5% diameter ($0.05D$) dari kurva beban perpindahan yang diperoleh pada pengujian lentur pengencang.

2.7 Analisis Sambungan *Lag Screw*

Alat sambung *lag screw* umumnya terbuat dari baja lunak (*mild steel*) dengan kepala berbentuk hexagonal, square, dome, atau flat seperti pada Gambar 2.1. Diameter *lag screw* berkisar antara $\frac{1}{4}$ " sampai dengan 1,25". Untuk kemudian pemasangan, lubang *lag screw* diberi kelonggaran 1 mm. Alat sambung *lag screw* biasanya digunakan pada sambungan dua irisan dengan tebal minimum kayu samping adalah 30 mm dan kayu tengah adalah 40 mm dan dilengkapi cicin penutup.

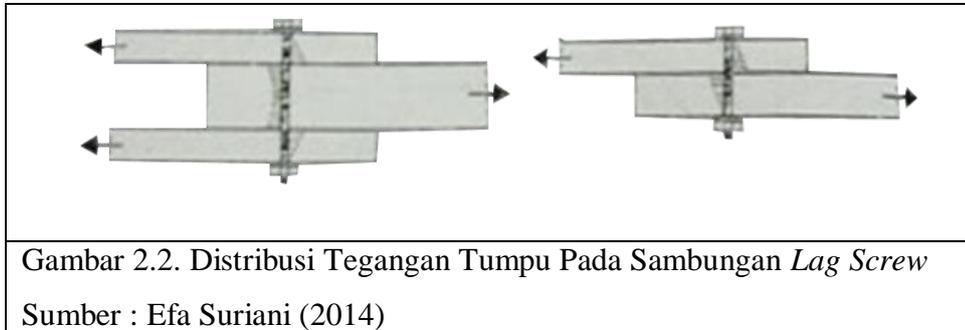


Keterangan:

- (a) *Hexagonal*
- (b) *Square*
- (c) *Dome*
- (d) *Flat*

Alat sambung *lag screw* umumnya difungsikan untuk mendukung beban tegak lurus sumbu panjangnya. Kekuatan sambungan *lag screw* ditentukan oleh kuat tumpu kayu, tegangan lentur, dan angka kelangsingan (nilai banding antara panjang *lag screw* pada kayu utama dengan diameter *lag screw*). Ketika angka kelangsingan kecil, *lag screw* menjadi sangat kaku dan distribusi tegangan tumpu kayu di bawah *lag screw* akan terjadi secara merata. Semakin tinggi angka kelangsingan *lag screw*, maka *lag screw* mulai mengalami tekuk dan tegangan

tumpu kayu terdistribusi secara tidak merata. Tegangan tumpu kayu maksimum terjadi pada bagian samping kayu utama.

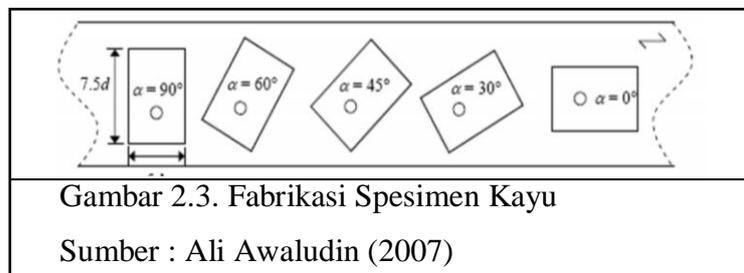


Gambar 2.2. Distribusi Tegangan Tumpu Pada Sambungan *Lag Screw*

Sumber : Efa Suriani (2014)

2.8 Pengujian Kuat Tumpu

Pengujian kuat tumpu kayu telah dilakukan oleh beberapa peneliti untuk mendapatkan persamaan empiris baru untuk perhitungan kayu. Salah satunya adalah penelitian (Tantisaputri et al., 2020) yang meneliti kuat tumpu kayu jenis *Shorea obtusa* dengan memvariasikan sudut pembebanan terhadap serat dalam 5 sudut: 0° , 30° , 45° , 60° , dan 90° . Pengujian kuat tumpu dari pembebanan sejajar atau tegak lurus terhadap serat terdiri dari enam spesimen kayu. Namun, hanya tiga benda uji kayu yang disiapkan sebagai tumpuan pengujian dari setiap sudut pembebanan terhadap serat. Konfigurasi pengujian rongga penuh dengan pendekatan Eurocode 5 yang dilakukan dengan diameter lubang *lag screw* 13 mm dan plat baja buhul setebal 4 mm. Spesimen kayu yang dipotong dari potongan kayu yang sama sesuai dengan contoh teknik pada Gambar 2.3 dikarenakan jumlah replika setiap muatan sudut terhadap serat kecil.



Gambar 2.3. Fabrikasi Spesimen Kayu

Sumber : Ali Awaludin (2007)

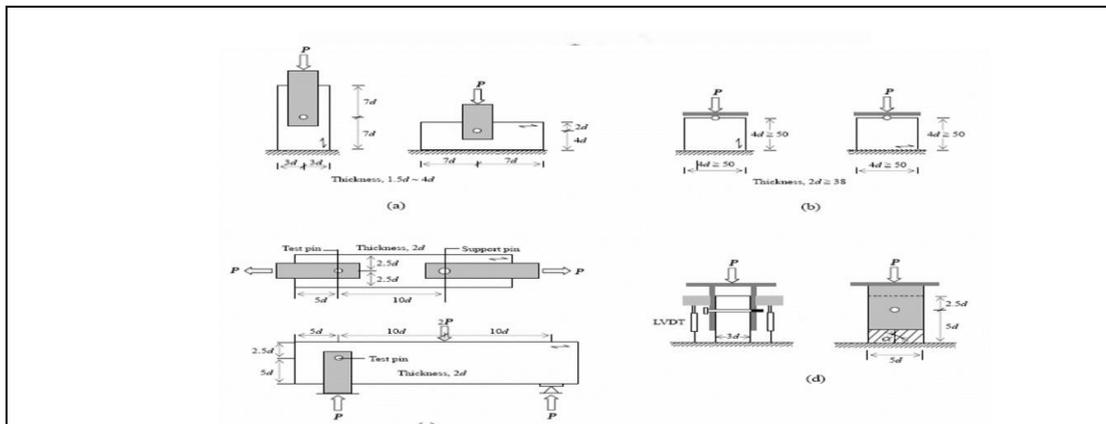
Dimensi spesimen kayu dari penelitian ini lebih kecil daripada dimensi spesimen Eurocode 5 karena keterbatasan ukuran kayu yang dimiliki. Hal ini membuktikan bahwa spesimen kayu semua sudut pembebanan yang berbeda

terhadap serat bias dibuat dari sepotong kayu yang sama. Kuat tumpu ditentukan sebagai beban tumpu yang terbagi dengan proyeksi daerah *lag screw*. Kadar air dan berat jenis berdasarkan berat kering oven dan volume spesimen diukur dengan menggunakan potongan-potongan kecil dari spesimen kayu yang digunakan dalam uji tumpu. Pengujian rongga penuh yang diusulkan oleh Whale dan Smith dan diterima dalam Eurocode 5 diilustrasikan pada Gambar 2.4. (a).

$$F_{e//} = 82 (1-0.01d) G \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (2.4)$$

$$F_{e\perp} = \frac{y/b}{R} \frac{RR}{RR} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (2.5)$$

Persamaan di atas diusulkan untuk menetapkan kuat tumpu pada pembebanan sejajar ($F_{e//}$) dan tegak lurus serat ($F_{e\perp}$).



Gambar 2.4. (a-d). Beberapa konfigurasi uji kuat tumpu. a. Konfigurasi pengujian Eurocode 5; b. Pengujian setengah rongga *National Design and Specification* (NDS); c. Konfigurasi pengujian Hirai; d. pengujian rongga penuh

Sumber : Ali Awaludin (2007)

2.9 Sambungan Batang Nangka

Sambungan batang nangka adalah dua batang batang nangka atau lebih yang disambung sehingga menjadi satu batang batang nangka yang panjang maupun tegak lurus dalam satu bidang datar atau bidang dua dimensi. Ditinjau dari sudut konstruksi, sambungan merupakan bagian yang terlemah dari suatu konstruksi batang nangka, sehingga kegagalan suatu konstruksi kayu sering disebabkan oleh

kegagalan sambungan daripada kegagalan material itu sendiri. Ada beberapa hal yang menyebabkan rendahnya kekuatan sambungan pada konstruksi kayu, yaitu terjadinya pengurangan luas tampang, terjadinya penyimpangan arah serat, dan terbatasnya luas sambungan (Siagian, 2014). Menurut penelitian Sutanto et al. (2018), ukuran alat sambung dan berat jenis kayu berpengaruh nyata terhadap nilai desain sambungan kayu. Semakin besar alat sambung yang digunakan dan semakin tinggi berat jenis kayu yang digunakan menghasilkan nilai desain sambungan yang semakin tinggi.

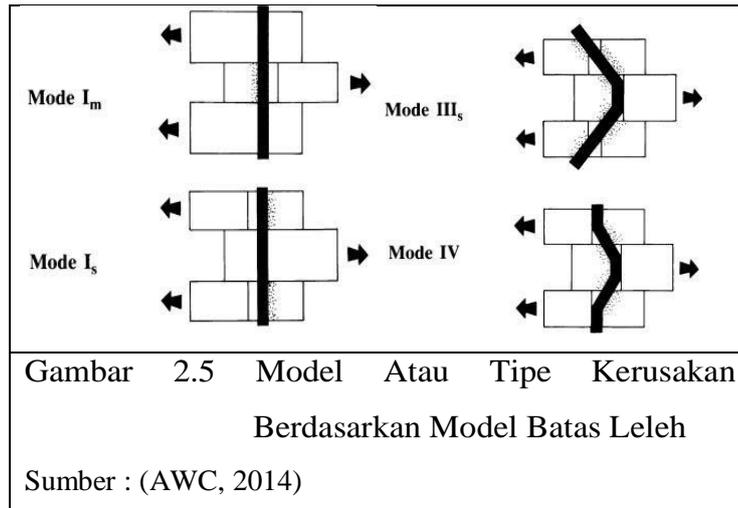
American Forest and Paper Association mengadopsi teori batas leleh ke dalam NDS 1991. NDS 2015 yang ada saat ini tetap menggunakan batas teori leleh dalam penentuan nilai kekuatan sambungan kayu di Amerika. NDS 2015 secara lengkap menyajikan tabel nilai desain lateral rujukan *lag screw* untuk sambungan kayu yang menggunakan plat geser tunggal maupun geser ganda dimana nilai-nilai tersebut dapat langsung digunakan dalam rancangan konstruksi. Penentuan nilai lateral rujukan sambungan kayu di Indonesia dapat ditentukan melalui pengujian empiris di laboratorium dimana nilai kekuatan kayu ditentukan pada sesaran 15 mm (AWC, 2014).

Teori *European Yield Model* dengan dasar empat ragam kerusakan akibat lelehnya *lag screw* dan hancurnya kayu mulai diperkenalkan pada tahun 1949. Ragam keruntuhan pada sambungan geser tunggal yaitu:

1. Ragam Leleh I : kayu hancur baik pada balok sisi ataupun utama dengan kekuatan *lag screw* lebih besar dari kayu. Ragam Im kayu utama yang hancur, sedangkan ragam Is kayu sekunder yang hancur;
2. Ragam Leleh II : kayu hancur lokal dekat muka balok kayu karena privoting/berputarnya *lag screw* kaku terhadap bidang geser;
3. Ragam Leleh III : *lag screw* leleh terhadap lentur dengan satu titik sendi plastis per bidang geser dan dengan hancurnya kayu. Ragam III_{Im} kayu utama yang hancur dan sendi plastis *lag screw* di kayu sekunder, sedangkan ragam III_{Is} kayu sekunder yang hancur dan sendi plastis di kayu utama;
4. Ragam Leleh IV : *lag screw* leleh terhadap lentur dengan dua titik sendi plastis per bidang geser dan dengan hancurnya kayu. Pada sambungan

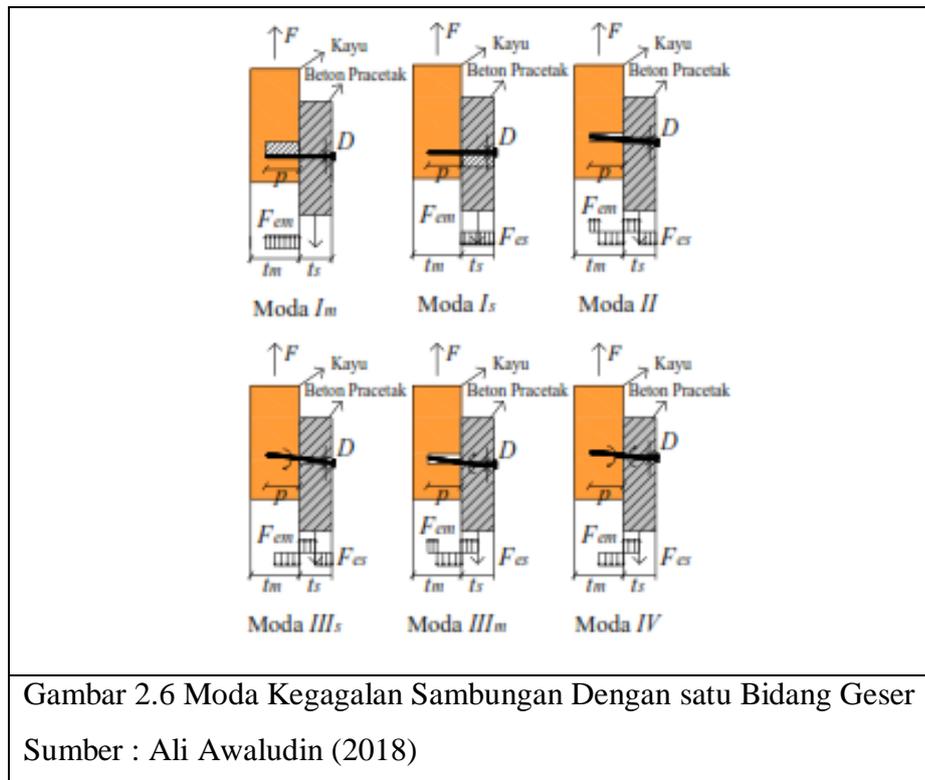
dengan geser ganda, tidak terjadi keruntuhan sambungan geser kayu ragam II dan ragam III_m (Nasution et al., 2021)

Pengamatan terhadap tipe kerusakan pada masing-masing sambungan dilakukan setelah pengujian. Tipe kerusakan disesuaikan dengan model leleh sambungan tipe dowel yang dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Kemudian dihitung nilai kekuatan sambungan kayu berdasarkan pendekatan teoritis dan empiris (hibrida). Besar nilai kekuatan sambungan dihitung berdasarkan persamaan model batas leleh (*yield limit equation*) untuk sambungan kayu geser ganda menurut NDS 2015, namun variabel-variabel dalam persamaan tersebut didapatkan dari hasil pengujian yang telah dilakukan.

Nilai kekuatan sambungan kayu berdasarkan NDS 2015 merupakan nilai kekuatan sambungan berdasarkan pendekatan ASD dengan nilai yang digunakan ditentukan berdasarkan kondisi tertentu. Kondisi tersebut mencakup pembebanan normal (10 tahun), kayu digunakan dalam kondisi yang kering, tidak terpapar suhu yang tinggi dan sebagainya (Nasution et al., 2021). Rumus umum untuk menghitung Z dari sambungan kayu geser tunggal dengan alat sambung *lag screw* NDS 2015 sebagai berikut:



Sambungan dengan pemasangan sekrup miring memiliki perilaku yang lebih kompleks akibat adanya kombinasi gaya lateral dan gaya cabut dari sekrup tersebut (Girhammar *et al*, 2017).

2.10 Pengertian Beton

Beton adalah campuran semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*) (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2019). Ketiga campuran tersebut akan mengeras seperti batuan karena terjadi reaksi kimia antara semen dan air. Sifat-sifat beton umumnya dipengaruhi oleh kualitas bahan, cara pengerjaan dan cara perawatannya. Karakteristik semen mempengaruhi kualitas beton dan kecepatan pengerasannya. Gradasi agregat halus mempengaruhi pengerjaannya, serta gradasi agregat kasar mempengaruhi kekuatan beton. Kualitas dan kuantitas air mempengaruhi pengerasan dan kekuatan (Murdock, 2003).

Beton normal adalah beton yang mempunyai berat 2320 hingga 2400 kg/m³ (SNI 2847: 2019). Berdasarkan ASTM C33M agregat kasar terdiri dari kerikil-kerikil hancur, batu pecah, terak tanur sembur berpendingin udara atau dihancurkan dan agregat halus harus terdiri dari pasir alam, pabrikan pasir, atau kombinasinya. Kandungan agregat dalam beton sangat tinggi, proporsi campuran agregat dalam beton adalah sekitar 70%-80% (Mulyono,2004), kuat tekan beton yang diisyaratkan (f'_c) adalah kuat tekan beton yang ditetapkan oleh perencanaan struktur (benda uji) berbentuk selinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm atau kubus 15 cm x 15 cm x 15 cm dipakai dalam percobaan struktur beton, dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa). Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah benda uji yang berbentuk selinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Menurut (Hf et al., 2014) ada beberapa faktor yang mempengaruhi mutu dari kekuatan beton diantaranya adalah:

1. Proporsi bahan-bahan penyusunnya;
2. Metode perancangan;
3. Perawatan dan;
4. Keadaan pada saat pengecoran dilaksanakan.

2.11 Bahan Campuran Beton

Komponen-komponen pada campuran beton diantaranya yaitu agregat, semen *portland*, dan air. Komponen ini dicampur dengan perbandingan yang bermacam-macam dan disesuaikan dengan mutu beton yang direncanakan. Mutu atau kekuatan beton ini maksudnya adalah kekuatan beton dalam menerima gaya tekan sampai beton mengalami pecah (*crash*).

2.12 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Kekuatan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton. Biasanya kekuatan tekan rencana beton dihitung pada umur 28 hari. Secara umum diketahui

bahwa semakin tinggi nilai faktor air semennya, maka semakin rendah mutu beton. Sifat yang paling penting dari beton adalah kuat tekan beton. Kuat tekan beton biasanya berhubungan dengan sifat-sifat lain, maksudnya apabila kuat tekan beton tinggi, sifat-sifat lainnya juga baik (Tjokrodimulyo, 2010).

Kekuatan tekan beton yang paling umum digunakan adalah sekitar 200 kg/cm² sampai 500 kg/cm². Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar, yaitu menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu. Menurut Mulyono (2004) faktor yang dapat mempengaruhi mutu kekuatan beton itu proporsi bahan penyusun, metode pencampuran, perawatan dan keadaan pada saat pengecoran. Tata cara pengujian yang umum dipakai adalah standar ASTM C39. Rumus yang digunakan untuk perhitungan kuat tekan beton adalah:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (5)$$

Dimana:

$f'c$ = kuat tekan beton (MPa);

P = beban maksimum (N);

A = luas penampang benda uji (mm²).

2.13 Penelitian Terdahulu

Ali Awaludin (2018) LVL kayu Sengon dan beton dapat membentuk struktur komposit sistem lantai. Sambungan antara LVL kayu Sengon dan beton struktur komposit sistem lantai merupakan bagian terlemah sehingga banyak kerusakan struktur akibat gagalnya sambungan. Oleh karena itu, penelitian ini membahas tentang tahanan lateral sambungan *lag screw* pada sistem komposit LVL kayu sengon dan beton pracetak.

Nia Dwi Handayani (2011) melakukan penelitian Pengaruh Variasi Sudut Serat Pada Kuat Tumpu Kayu *Laminated Veneer Lumber* (LVL). Penelitian ini menggunakan metode eksperimen di laboratorium dengan mengadaptasi pengujian Ali Awaludin yaitu *double-shear bearing test* dengan alat sambung *lag screw* berdiameter 7 mm. Kayu yang dipilih adalah kayu LVL jenis *Falcata* atau sengon.

Hasil pengujian kuat lentur *lag screw*, kuat tumpu dan kuat cabut *lag screw* pada LVL kayu Sengon yang telah dilakukan, didapatkan nilai kuat lentur *lag screw* sebesar 568 MPa, kuat tumpu *lag screw* pada LVL kayu Sengon sebesar 4,12 MPa untuk *lag screw* diameter 8 mm dan 2,93 MPa untuk *lag screw* diameter 6 mm.

Suriani (2014) Perkiraan yang akurat untuk tahanan lateral sambungan komposit kayu-beton dengan alat sambung sekrup kunci diperlukan dalam mendesain konstruksi kayu yang handal terhadap beban lateral (seperti angin atau beban gempa). Dalam penelitian ini, evaluasi kekuatan tahanan lateral dilakukan pengujian geser sambungan dengan pembebanan monotonik dan model analisis diadopsi dari model EYM (European Yield Model). Kayu yang digunakan: Toona sureni (berat jenis 0,45), Swietenia mahagoni (berat jenis 0,51) dan Artocarpus heterophyllus (berat jenis 0,54) dan mutu beton aktual 15,93 MPa dan 21,27 MPa. Sekrup kunci dipakai diameter 8 mm (panjang 130 mm), ring penutup diameter 22,8 mm, dan fischer S14.

Nasution et al. (2021) Pengujian kuat sambungan kayu geser ganda dilakukan berdasarkan standar ASTM D5652–15: Standard Test Methods for Bolted Connections in Wood and Wood-Based Products (ASTM, 2015). *Lag screw* dimasukkan ke dalam lubang yang telah dibuat pada elemen kayu (utama dan sisi) yang akan disambung, *lag screw* dikencangkan dengan memasang cincin (ring) dan mur sehingga posisinya rapat dengan sambungan. Sambungan kayu selanjutnya dipasang pada pemegang (grip) yang telah terpasang pada mesin UTM. Pengujian menggunakan UTM Tensilon kapasitas 5 ton dengan kecepatan pembebanan sekitar 1 mm/menit (beban maksimum dicapai dalam rentang waktu 5 hingga 20 menit). Pengujian dihentikan jika telah mencapai beban maksimum yang ditandai dengan kerusakan kayu yang disambung. Pengamatan terhadap tipe kerusakan pada masing-masing sambungan dilakukan setelah pengujian.

Tantisaputri et al. (2020) Penelitian ini berfokus pada kapasitas geser alat sambung sistem komposit LVL kayu Sengon dengan beton pracetak yang dibebani secara statik. Benda uji penelitian berupa LVL kayu Sengon berukuran tinggi 400 mm, lebar 80 mm, dan tebal 50 mm dan beton pracetak dengan tulangan wiremesh berukuran tinggi 400 mm, lebar 150 mm, dan tebal 50 mm yang disambung dengan

alat sambung mekanik berupa sekrup jenis lag screw. Dimana lag screw pada teori EYM termasuk kedalam jenis dowel-type fasteners. Pada penelitian ini, kehadiran ulir pada lag screw diabaikan sehingga teori EYM, SNI dan EC5 dapat digunakan untuk menentukan tahanan lateral alat sambung.

Sutanto et al. (2018) Salah satu tipe alat sambung yang umum digunakan untuk menyambung kayu di Indonesia adalah alat sambung tipe dowel. Dowel adalah alat sambung mekanik dengan bentuk pen berpenampang bulat. Beberapa contoh alat sambung dowel antara lain adalah paku, *lag screw*, dan pasak. Di Indonesia paku menjadi alat sambung yang populer digunakan karena memiliki berbagai kelebihan antara lain harganya murah, pemasangan mudah, sambungan bersifat kaku dan memiliki kekuatan cukup. Sudah banyak penelitian yang dilakukan tentang sambungan kayu seperti yang dilakukan oleh Awaludin, et al. (2007), Sandhaas, et al. (2013), dan Hassan, et al. (2013) yang menyatakan bahwa sambungan kayu dipengaruhi oleh berat jenis kayu, kadar air kayu, diameter dowel, dan arah pembebanan.

BAB III

METODE PENELITIAN

Konsep metode penelitian yang baik dalam sebuah penelitian perlu dilakukan agar tujuan penelitian tercapai dan mendapatkan hasil yang diinginkan sesuai pedoman yang ada. Penelitian ini terdiri atas kajian pustaka, persiapan, pengujian propertis material, pembuatan benda uji, perawatan benda uji dan pengujian kapasitas balok. Untuk bagan alir penelitian dilampirkan pada Lampiran A.3.1 Halaman 50.

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dan pembuatan benda uji dilakukan di laboratorium bahan dan struktur, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar. Pegujian ini dilakukan di laboratorium bahan dan struktur, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syah Kuala. Waktu penelitian ini dilakukan pada tanggal 01 Januari 2021 untuk penelitian dan pengujian, serta pengolahan data dilakukan sampai 01 November 2022.

3.2 Penyiapan Material dan Bahan Penelitian

Material yang akan digunakan untuk proses pembuatan komposit batang nangka dan beton adalah batang nangka, agregat, semen *portland* dan air. Batang nangka yang digunakan adalah batang nangka (*Artocarpus heterophyllus Lam*) yang telah dikeringkan, berbatang lurus, tidak terserang hama dan berukuran 5 cm x 8 cm dan panjang 40 cm yang batang nangkanya berusia lebih dari 1,5 – 2 tahun. Batang nangka tersebut diperoleh dari Desa Padang Panyang, Kecamatan Kuala Pesisir, Kabupaten Nagan Raya, Provinsi Aceh. Air digunakan untuk campuran agregat dan semen agar terjadinya beton yang kemudian akan dimasukkan kedalam batang nangka. Mutu beton yang direncanakan pada penelitian ini adalah K – 200 dalam 1 m³.

Ukuran *lag screw* yang digunakan sebagai pengikat kedua sisi beton ke batang angka terdapat 2 ukuran *lag screw*. *Lag screw* yang digunakan yaitu *lag screw* yang berdiameter 6 mm dan 8 mm dengan panjang 100 mm, 6 mm dan 8 mm dengan panjang 125 mm sebagai alat sambung komposit batang angka dan beton.

3.3 Peralatan yang digunakan

Peralatan yang digunakan untuk proses pembuatan komposit batang angka dan beton adalah mesin *chain saw* untuk memotong pohon angka. Mesin pembelah kayu digunakan untuk membelah batang angka sesuai ukuran yang ditentukan.

Mesin bor memiliki fungsi untuk membuat lubang pada batang angka dan beton sebagai tempat *lag screw*, digunakan mata bor dengan diameter 6 mm dan 8 mm. Palu digunakan untuk membuat *bekisting* pada beton sebelum beton di cor.

3.4 Tahapan Metode Penelitian

Tahapan metode penelitian merupakan urutan – urutan kegiatan yang dilaksanakan secara sistematis, logis dengan mempergunakan alat bantu ilmiah yang bertujuan untuk memperoleh kebenaran suatu objek permasalahan. Secara garis besar pelaksanaan penelitian dengan tahap – tahap sebagai berikut:

- a. Tahap 1 : Tahap persiapan awal;
- b. Tahap 2 : Tahap pemilihan bahan dan peralatan;
- c. Tahap 3 : Tahap uji pendahuluan;
- d. Tahap 4 : Tahap pembuatan benda uji batang angka;
- e. Tahap 5 : Tahap pemeriksaan kadar air; sebelum pengujian;
- f. Tahap 6 : Tahap pengujian;
- g. Tahap 7 : Tahap analisis pengujian;

3.4.1 Tahap persiapan awal

Semua bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian disiapkan terlebih dahulu dalam tahap ini, antara lain: bahan, peralatan, maupun program kerjanya sehingga penelitian yang akan dilakukan dapat berjalan dengan lancar. Peralatan yang akan digunakan akan diperiksa sebelumnya untuk mengetahui kelayakan alat dalam pelaksanaan penelitian.

3.4.2 Tahap pemilihan bahan dan peralatan

Bahan utama dalam penelitian ini adalah batang angka dengan dimensi 5 cm x 8 cm dan panjang 40 cm yang telah dipilih permukaan yang halus dan tidak mempunyai cacat fisik. Peralatan yang digunakan adalah gergaji, mistar siku, busur, serta pensil atau spidol.

3.4.3 Tahap uji pendahuluan

Tahap uji pendahuluan meliputi: uji kuat tumpu dan uji kuat tekan beton. Tujuan dari tahap ini adalah untuk menentukan kekuatan sambungan pada sistem komposit batang angka dan beton.

3.4.4 Tahap pembuatan benda uji batang angka

Terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan untuk mendapatkan benda uji yang sempurna untuk penelitian ini antara lain :

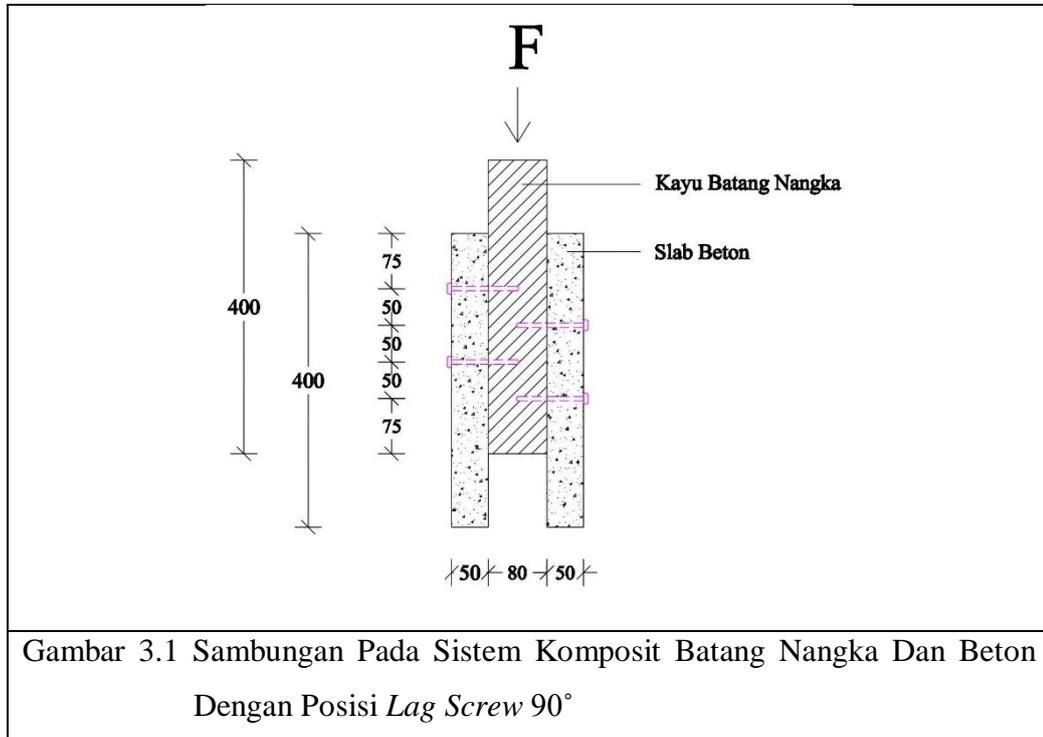
1. Pembuatan spesimen batang angka

Bentuk benda uji di gambar pada papan batang angka yang telah disiapkan sesuai pada gambar 3.1

2. Pembuatan lubang sambungan

Setelah batang angka dipotong-potong sesuai ukuran maka sampel-sampel batang angka dilubangi dengan mesin bor yang menggunakan mata bor sebesar 6 mm dan 8 mm sesuai dengan ukuran *lag screw* yang akan dipakai dalam pengujian, pengeboran untuk lubang dilakukan pada jarak $6d$ dan $8d$ dari ujung kayu, d pada penelitian ini adalah diameter *lag screw* yang berukuran 5 mm sehingga jarak $5d$ menjadi 25 mm.

Sambungan pada sistem komposit batang nangka dan beton dengan posisi *lag screw* 90° diameter *lag screw* 6 mm dan 8 mm dengan panjang 100 mm dan 125 mm dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut ini :



3.4.5 Tahap pemeriksaan kadar air dan berat jenis sebelum pengujian

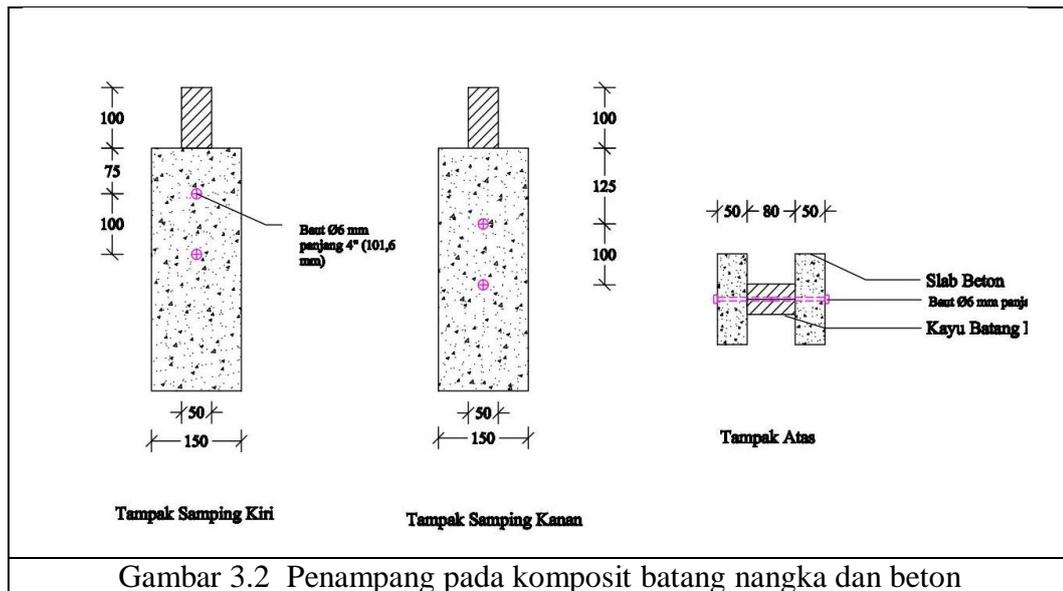
Tahap – tahap yang dilakukan untuk mengetahui kadar air dan berat jenis batang nangka sebelum pengujian adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan sampel benda uji dengan ukuran 8 cm x 40 cm.
2. Potongan batang nangka tersebut kemudian dihitung volumenya dan ditimbang sehingga didapatkan berat awal (W_q).
3. Sampel batang nangka dikeringkan dalam oven selama 1 jam dengan suhu 100°C.
4. Setelah 1 jam sampel batang nangka diambil dan ditimbang beratnya, didapat berat batang nangka setelah kering oven (W_d).
5. Kadar air dan berat jenis dihitung dengan mengacu pada berat jenis kayu.

3.4.6 Tahap pembuatan beton pada batang nangka

Volume untuk komposit beton pracetak diketahui bahwa beton pracetak memiliki panjang 40 cm, lebar 15 cm dan tebal 5 cm. Jadi untuk menghitung volume ini menggunakan rumus volume persegi panjang, yaitu :

$$V = P \times L \times T$$



Tahapan perhitungan *mix design* dapat dilihat pada Lampiran B.3.1 halaman 61.

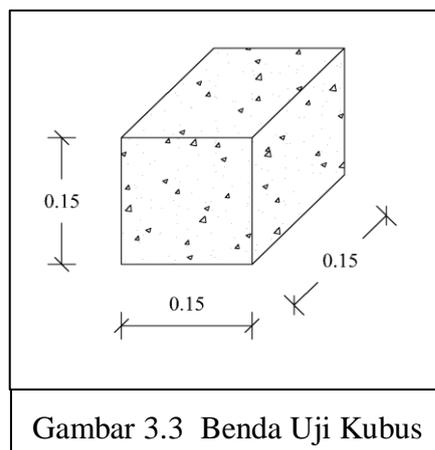
Tabel 3.1 Campuran Beton yang Digunakan

No	Material	Berat pengecoran dengan 10%	Benda Uji m ³	Untuk 16 Benda Uji (1 : 2 : 3)	Satuan
1	Semen	207,9	0,00603	34,65	Kg
2	Pasir	207,9	0,00603	69,3	Kg
3	Kerikil	207,9	0,00603	103,95	Kg
4	Air	207,9	0,00603	18,71	Kg
Total		831,6	0,00603	226,61	Kg

3.4.7 Tahap pembuatan beton pada benda uji kubus

Perhitungan kebutuhan beton pada benda uji silinder pada penelitian ini juga dilakukan dan diuji kuat tekannya untuk membandingkan hasil uji kuat tekan pada komposit batang nangka dan beton dengan posisi *lag screw* 90 derajat dengan hasil uji kuat tekan beton kubus ukuran 15 X 15 X 15 cm. Apakah kedua perbandingan benda uji tersebut sesuai untuk mencapai kuat tekan beton dengan mutu beton normal.

Perhitungan mix design pada benda uji kubus dengan mutu beton normal sama seperti benda uji komposit bambu dan beton dengan menggunakan posisi *lag screw* 90 derajat. Untuk benda uji kubus jumlah benda uji yang digunakan 2 buah benda uji. Jadi perhitungan mix designnya adalah :

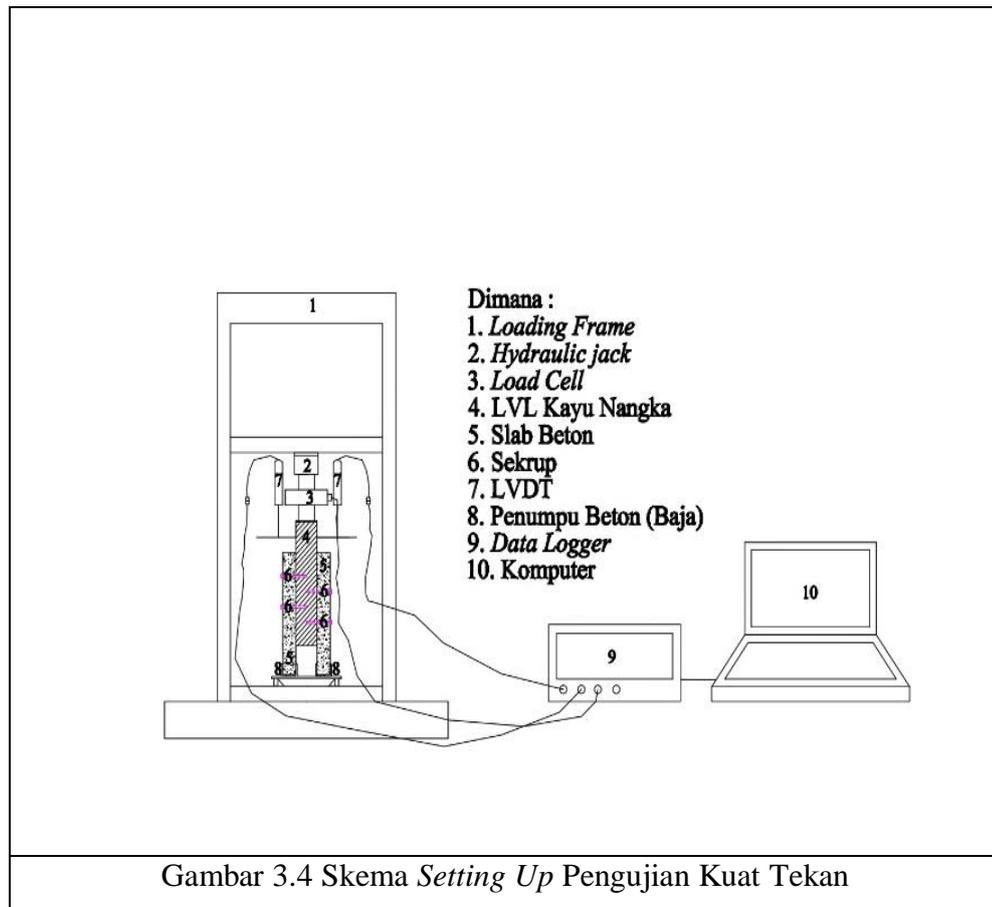


$$\begin{aligned} V &= S \times S \times S \\ &= 0,15 \times 0,15 \times 0,15 \\ &= 0,003375 \text{ M}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume x jumlah benda uji} \\ &= 0,003375 \text{ M}^3 \times 2 = 0,00675 \text{ M}^3 \end{aligned}$$

3.4.8 Tahap analisis dan hasil penelitian

Tahap selanjutnya setelah didapatkan hasil pengujian adalah analisis data untuk mengetahui besarnya beban dan tegangan saat terjadi patah. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dan analisis.



Pembebanan pada saat pengujian dilakukan secara statik menggunakan alat *universal testing machine*. Benda uji beton pracetak dan LVL kayu Nangka diberi LVDT pada kedua sisinya. Pada saat pengujian, LVDT dan *load cell* terhubung pada *data logger* sehingga beban selip dan deformasi yang terjadi dapat terekam. Skema *setting up* pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.4.

Penelitian ini akan mencari besarnya kuat tumpu saat terjadi patah batang nangka dengan posisi *lag screw* 90° , setelah itu kekakuan awal dan sudut pembebanan terhadap serat dibuat grafik hubungan antara kekakuan awal dan sudut pembebanan terhadap serat masing – masing benda uji sehingga dari tabel tersebut dapat diketahui alternatif penggunaan sambungan yang data menahan kuat lentur.

Hasil yang diharapkan dalam penelitian adalah persamaan empiris dan data kekuatan sambungan pada sistem komposit batang nangka dan beton dengan posisi *lag screw* 90° . Persamaan empiris dapat dirumuskan melalui kurva efek sudut

pembebanan terhadap serat pada kuat tumpu batang nangka dengan berat jenis tertentu.

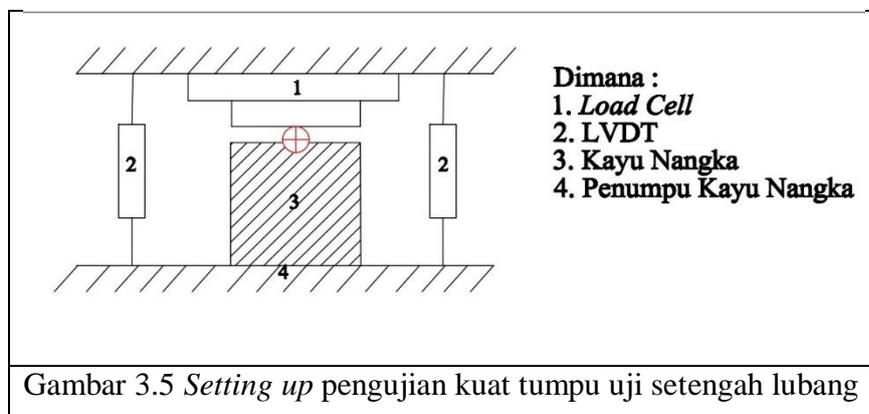
3.5 Pengujian Kuat Tumpu Kayu Nangka

Pengujian kuat tumpu kayu nangka menggunakan baut, pada penelitian ini menggunakan benda uji dengan dimensi 10 cm x 10 cm x 2 cm. Ukuran baut yang digunakan berdiameter 6 mm dan 8 mm. variasi yang digunakan hanya 1 variasi yaitu variasi sejajar.

Berikut ini adalah langkah-langkah pengujian kuat tumpu bambu laminasi yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu :

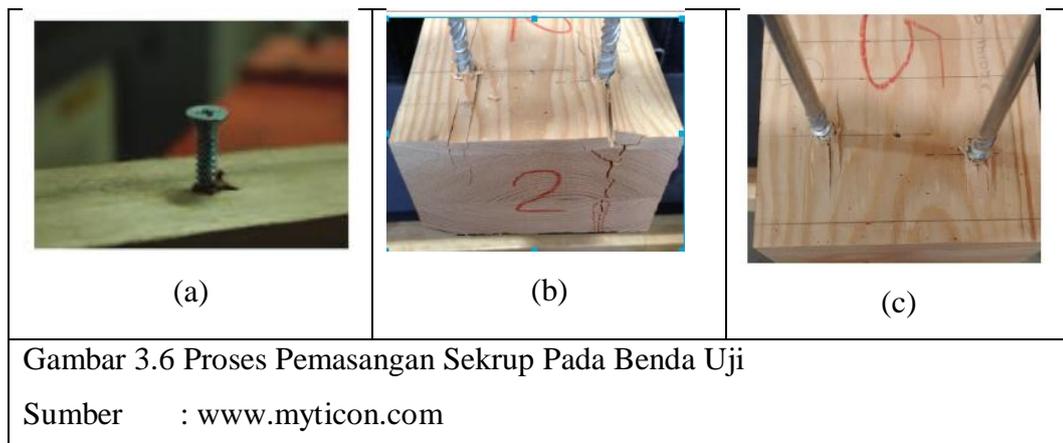
- Kayu nangka dipotong sesuai dengan standar ASTM D5764, pada penelitian ini benda uji berukuran 10 cm x 10 cm x 2 cm;
- Apabila sudah didapatkan dimensi sesuai dengan yang diinginkan, kemudian benda uji diberi kode berdasarkan variasi diameter baut yang akan digunakan;
- Setelah itu, benda uji pada bagian atasnya berbentuk setengah lingkaran dengan ukuran yang bervariasi sesuai dengan baut yang akan digunakan;
- Kemudian baut dipasangkan diatas benda uji, kemudian benda uji diletakkan pada mesin UTM dan dilakukan pembebanan hingga benda uji mencapai batasnya.

Setting up pengujian kuat tumpu kayu nangka dengan metode setengah lubang menggunakan mesin UTM (*Universal Testing Machine*) dapat dilihat pada Gambar 3.5.



3.6 Pengujian Kuat Cabut *Lag Screw* Pada Kayu Nangka

Pengujian benda uji pada *Universal Testing Machine* menghasilkan *output* berupa besar beban dan peralihan. Beban puncak pada setiap benda uji kemudian diolah sehingga menjadi nilai kuat cabut yang didefinisikan sebagai gaya cabut yang dibutuhkan per mm². Sekrup yang dapat digunakan pada penelitian ini adalah jenis sekrup yang termasuk pada sekrup kayu yang terbuat *dari low carbon steel* dengan diameter 6 dan 8 mm yang panjangnya 101,6 dan 127 mm. Pemasangan sekrup dilakukan secara manual dengan menggunakan alat antu kunci pas untuk pemasangan sekrup pada specimen kayu tersebut. Proses pemasangan sekrup dilakukan sebesar panjang ulir pada sekrup tersebut atau sebesar 1/3 panjang sekrup jika ulir terdapat di sepanjang sekrup dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Pengujian cabut sekrup yang dilakukan sesuai prosedur tentu saja menyebabkan kerusakan benda uji. Pada umumnya benda uji akan mengalami kehancuran disekitar sekrup. Hal ini diakibatkan ulir pada sekrup yang sifatnya merusak kayu sekitarnya ketika sekrup dicabut tegak lurus terhadap arah ulir sekrup, pola kegagalan juga menunjukkan bahwa gagal terjadi ada kayu yang hancur.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memuat tentang pengolahan data dan pembahasan sesuai dengan hasil yang diperoleh dari pengujian di Laboratorium Konstruksi Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik USK dan disesuaikan dengan landasan teori pada bab II. Penelitian ini merupakan perhitungan kapasitas geser alat sambung (sekrup) pada sistem komposit LVL kayu nangka dengan beton pracetak yang dibebani secara statik. Benda uji kayu berukuran 400 mm, lebar 80 mm dan tebal 50 mm dan beton pracetak berukuran tinggi 400 mm, lebar 150 mm dan tebal 50 mm yang disambung dengan alat sambung berupa *lag screw*. Benda uji pada penelitian ini menggunakan model benda uji *double shear* untuk mempermudah bekerjanya gaya tekan dari mesin *hydraulic*. Benda uji divariasikan berdasarkan mutu beton pracetak beton normal diameter sekrup (D), kedalaman penetrasi (p), sudut pemasangan sekrup (θ), panjang sekrup (P) dan jumlah benda uji (n) dengan jumlah masing-masing jumlah benda uji dapat dilihat pada tabel 4.1.

4.1 Analisis Hasil Pengujian

Hasil yang diperoleh dari penelitian mulai dari pemeriksaan sifat fisis agregat, menimbang berat jenis kayu nangka, pengujian kuat tekan kubus umur 7 hari, kemudian pengujian kuat tumpu batang nangka dan *leg screw*. Gambaran hasil analisa disajikan dalam bentuk tabel dan grafik, agar mudah untuk dipahami. Tabel spesifikasi benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini.

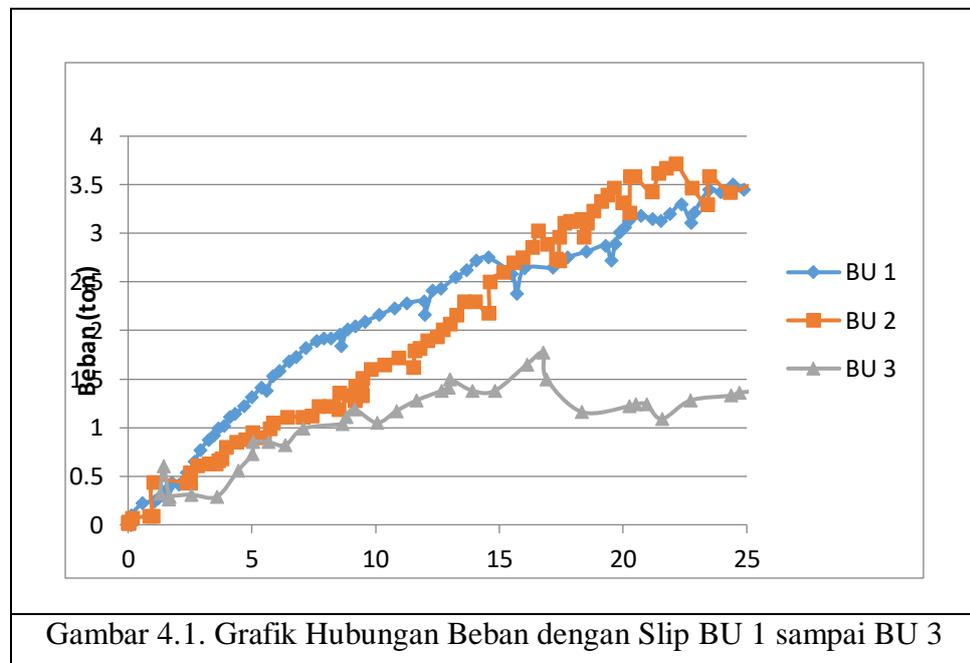
Tabel 4.1 Spesifikasi Benda Uji

Kode	D	P	p	n
	(mm)	(mm)	(mm)	
B8-1x	8	101.6	51.6	3
B6-1x	6	101.6	51.6	3
B6-2y	6	127	69.3	3
B8-2y	8	127	69.3	3

Keterangan :

- Simbol B adalah beton normal
- Simbol 6 dan 8 adalah diameter sekrup
- Simbol 1 untuk sudut pemasangan 90° dan simbol 2 untuk sudut pemasangan 60°
- Simbol x untuk panjang sekrup 101,6 mm dan simbol y untuk panjang sekrup 127 mm

Sedangkan grafik hubungan beban dengan slip dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini.



4.1.1 Kuat tekan beton pracetak dan batang nangka

Sekrup diletakkan pada lubang yang telah dibor pada beton pracetak lalu dikencangkan pada LVL kayu nangka yang juga dibor. Pembebanan pada saat pengujian dilakukan secara statik menggunakan alat *universal testing machine*. Benda uji pracetak dan LVL kayu nangka diberi LVDT di kedua sisinya. Pada saat pengujian, LVDT dan *load cell* terhubung pada *data logger* sehingga beban dan deformasi yang terjadi terekam. Dokumen *setting up* pembebanan dapat dilihat pada gambar 4.1.



Parameter-parameter yang dipakai untuk perhitungan tahanan lateral ialah kuat lentur *lag screw*, kuat tumpu dan kuat cabut pada LVL kayu nangka yang didapatkan dari hasil laboratorium. Pengujian tumpu *lag screw* pada LVL kayu nangka dilakukan sesuai ASTM-D 5764 dengan Sembilan buah benda uji berukuran masing-masing 38 mm x 80 mm x 60 mm diberi lubang berukuran setengah diameter *lag screw* pada tepi atasnya. Sedangkan pada pengujian kuat cabut *lag screw*, pengujian dilakukan terhadap sudut pemasangan 90°. Pengujian tersebut dilakukan dengan jumlah benda uji sebanyak 3 buah.

4.2 Pembahasan Pengujian

Hasil pengujian kuat lentur *lag screw* menurut Awaludin dkk (2019) bernilai 568 MPa, kuat tumpu *lag screw* pada LVL kayu nangka berdiameter 6 mm dan 8 mm, secara berurutan sebesar 2,43 MPa dan 2,14 MPa. Selanjutnya pada pengujian kuat cabut *lag screw* pada LVL kayu nangka yang mempunyai sudut pemasangan 90° berdiameter 6 mm dan 8 mm ialah 10,05 MPa. Hasil pengujian sambungan komposit LVL kayu nangka dan beton pracetak dapat dilihat pada Tabel 4.2.

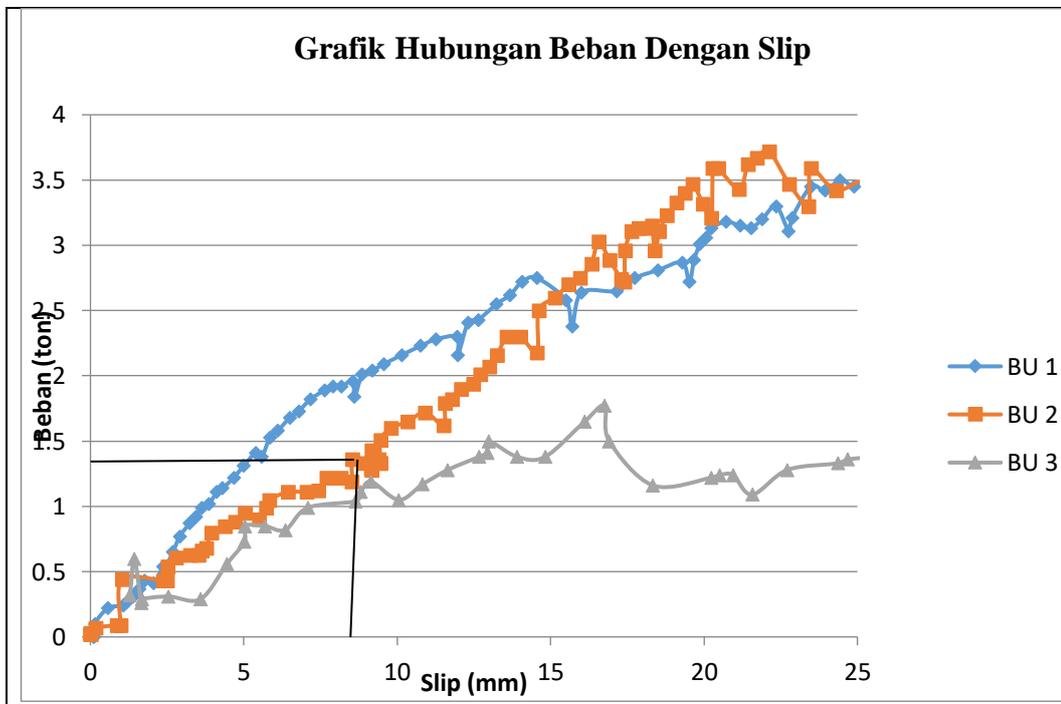
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Geser

Kode	P maks	P min	P Rata-rata
	kN	kN	kN
B8-1x	36.48	17.36	26.92
B6-1x	34.81	33.15	33.98
B6-2y	39.32	24.71	32.02
B8-2y	33.64	32.66	33.15

Kekakuan merupakan ketahanan bahan terhadap deformasi yang terjadi. Bahan mampu meregang pada tegangan tinggi tanpa diikuti dengan regangan yang besar. Tingkat kekakuan suatu bahan ditunjukkan oleh sudut yang dibentuk oleh regangan pada daerah elastik.

4.2.1 Nilai pengujian tahanan lateral beton pada beban 40%

Perhitungan nilai kekakuan dilakukan tiap sampel pada masing-masing kelompok benda uji, kemudian dirata-ratakan. Perhitungan nilai kekakuan dapat dilihat pada tabel 4.3.



Gambar 4.3 Penentuan Nilai F maks pada Beban 40%

Berikut ini adalah perhitungan nilai kekakuan satu sekrup (k_s) pada variasi 1 sampel benda uji 2 diameter 8 mm yang terjadi penurunan (slip) pada saat beban 40% menggunakan persamaan (2.3)

$$\begin{aligned}
 F_{maks} &= 36,48 \text{ kN} \\
 V_i &= 8,7 \text{ mm} \\
 \text{Kekakuan BN 2 - 8 mm } 90^\circ &= k_s = 0,4 \frac{F_{maks}}{v_i} \\
 &= 0,4 \frac{36,48}{8,7} \\
 &= 1,68 \text{ kN/mm}
 \end{aligned}$$

Menggunakan persamaan yang sama, hasil perhitungan kekakuan satu sekrup yang terjadi penurunan (slip) pada saat beban 40% dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Perhitungan Nilai Kekakuan Satu Sekrup

Kode	k maks	k min	k rata- rata
	kN	kN	kN
B8-1x	2.82	1.68	2.25
B6-1x	2.01	1.52	1.77
B6-2y	3.00	1.79	2.39
B8-2y	2.01	1.58	1.80

Perhitungan kuat tekan dengan sistem komposit pada beton normal dengan nilai kekakuan satu sekrup dapat dilihat pada tabel 4.3 nilai maksimum terdapat pada variasi benda uji dengan kode B6-2y dengan nilai 3.00 kN dan nilai minimum terdapat pada variasi benda uji dengan kode B6-1x dengan nilai 1,52 kN.

4.2.2 Nilai pengujian perhitungan tahanan lateral menggunakan EYM

European Yield Model (EYM) adalah teori yang menjadi acuan perhitungan kekuatan sambungan kayu yang kemudian diadopsi oleh *American Forest & Paper Association (AF & PA)* sebagai dasar *National Design Specification (NDS) for Wood Construction* untuk analisis perhitungan tahanan lateral sambungan kayu. Terdapat tiga parameter utama dalam perhitungan kekuatan sambungan

berdasarkan metode EYM, yaitu kuat tumpu kayu, kuat lentur *lag screw*, dan geometri sambungan kayu.

Perhitungan tahanan lateral menurut persamaan EYM dapat dilihat pada tabel 4.4 dengan menggunakan persamaan pada Tabel 2.4 Halaman 8.

Tm	=	50	mm
Ts	=	50	mm
D	=	8	mm
p	=	51.6	mm
Kd	=	3	
Fem	=	2.43	MPa
Fes	=	20	MPa
Fyb	=	10.05	Mpa
Re	=	0.1215	
Fe	=	2.43	MPa

$$\begin{aligned}
 \text{Model Batas Leleh} = I_s &= \frac{3,3Dt_s F_{es}}{K_D} \\
 &= \frac{3,3 \times 8 \times 50 \times 20}{3} \\
 &= 8800 \text{ N} \\
 &= 8,8 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Menggunakan model batas leleh yang berbeda pada tabel 2.4, hasil perhitungan tahanan lateral setiap variasi dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Perhitungan Tahanan Lateral

Kode	Is (kN)	III _m (kN)	III _s (kN)	IV _s (kN)
B8-1x	8.8	4.77	38.06	3.81
B6-1x	8.8	1.01	8.08	3.81
B6-2y	8.8	1.36	8.08	3.81
B8-2y	8.8	6.41	38.06	3.81

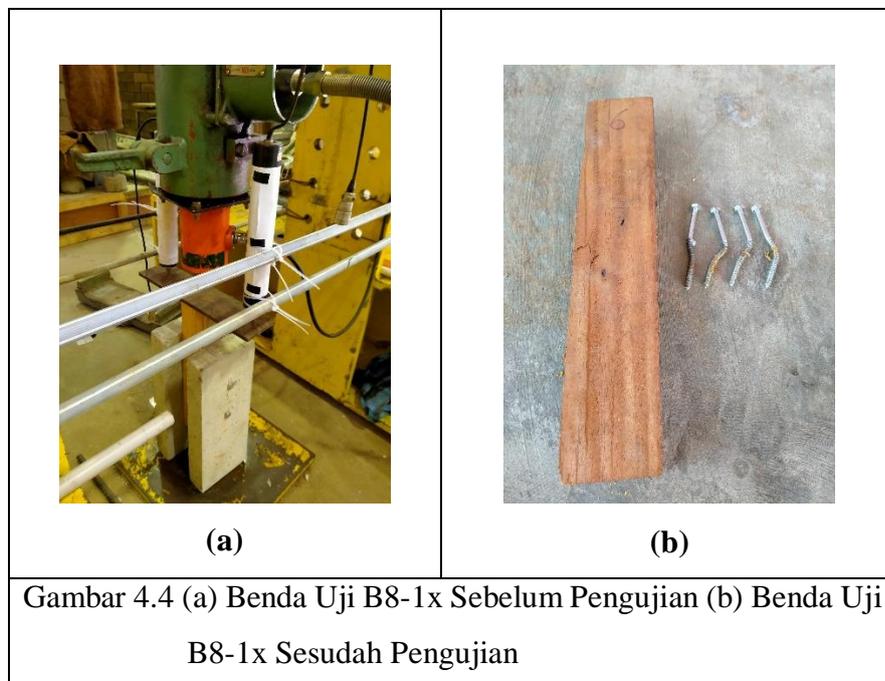
Perhitungan tahanan lateral pada persamaan tabel 2.4 dengan model batas leleh *Is*, *III_m*, *III_s* dan *IV_s*, nilai tahanan lateral dapat dilihat pada tabel 4.4 nilai maksimum terdapat pada variasi benda uji dengan kode B8-1x dan B8-2y dengan

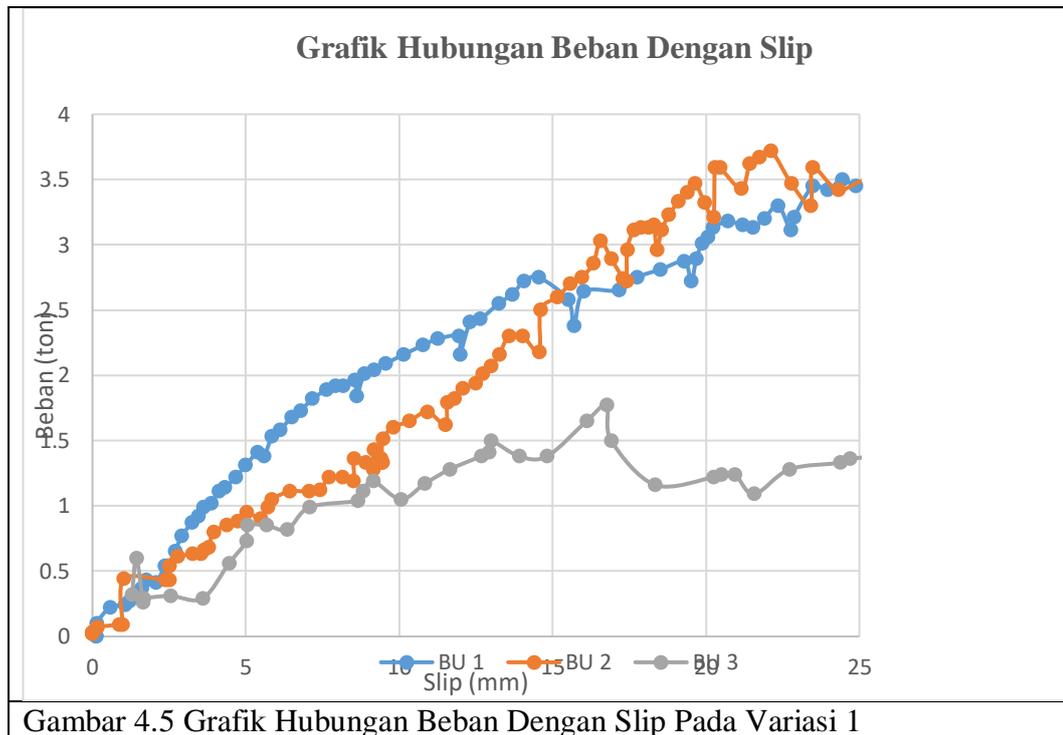
nilai 36.06 kN dan nilai minimum terdapat pada variasi benda uji dengan kode B6-1x dengan nilai 1,01 kN.

4.2.3 Benda uji komposit

- 1) Benda uji berdiameter 8 dengan panjang sekrup 101,6 mm sudut 90°

Gambar hasil benda uji dan grafik hubungan beban dengan slip pada benda uji B8-1x dapat dilihat pada gambar 4.3 dan gambar 4.4.



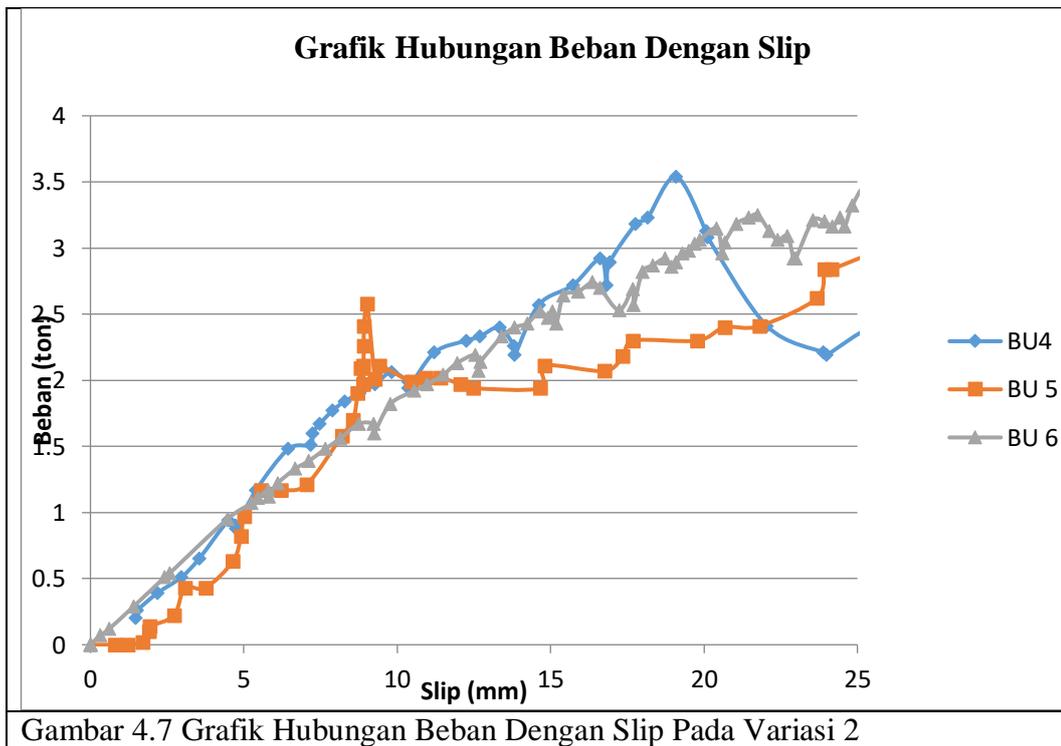
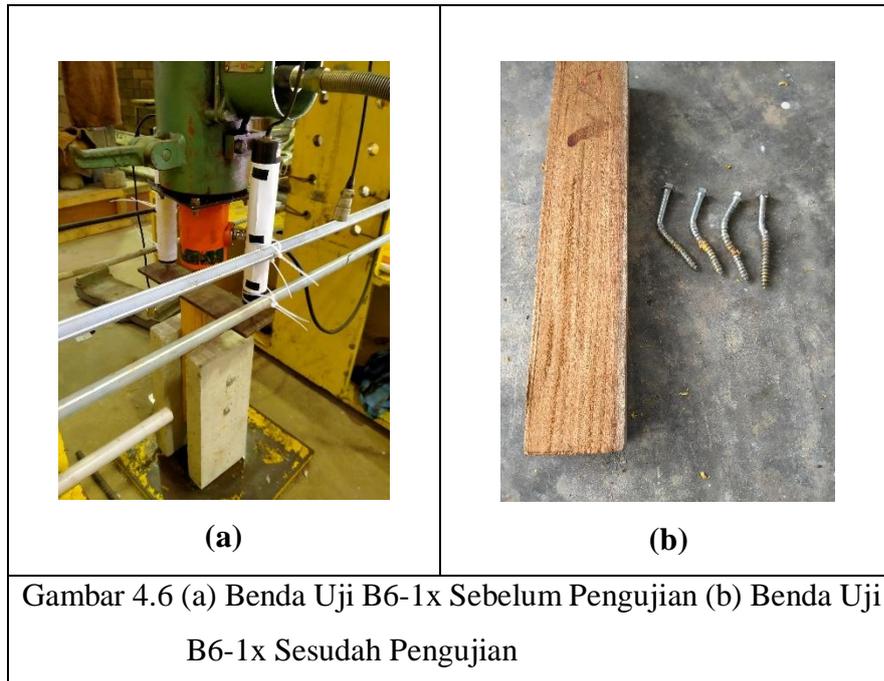


Gambar 4.5 Grafik Hubungan Beban Dengan Slip Pada Variasi 1

Berdasarkan hasil pengujian, dapat dilihat pada Gambar 4.3 saat sebelum pengujian benda uji masih utuh antara beton pracetak dengan batang angka, setelah di uji bisa dibandingkan bahwa benda uji setelah pengujian ada kelelahan serta lendutan pada sekrup dan kehancuran beton pracetak akibat uji kuat tekan. Batang angka yang menjadi tumpuan pada *load cell* bisa dilihat masih utuh dan hanya beton yang mengalami kehancuran serta sekrup juga mengalami kelelahan (kelelahan model IV) dapat dilihat pada Gambar 2.5. Nilai P maks untuk variasi 1 berada pada 36,48 kN dan lendutan maks berada pada 2,82 kN. Hubungan penurunan dan lendutan dapat dilihat grafik pada Gambar 4.4.

- 2) Benda uji berdiameter 6 dengan panjang sekrup 101,6 mm sudut 90°

Gambar hasil benda uji dan grafik hubungan beban dengan slip pada benda uji B6-1x dapat dilihat pada gambar 4.5 dan gambar 4.6.

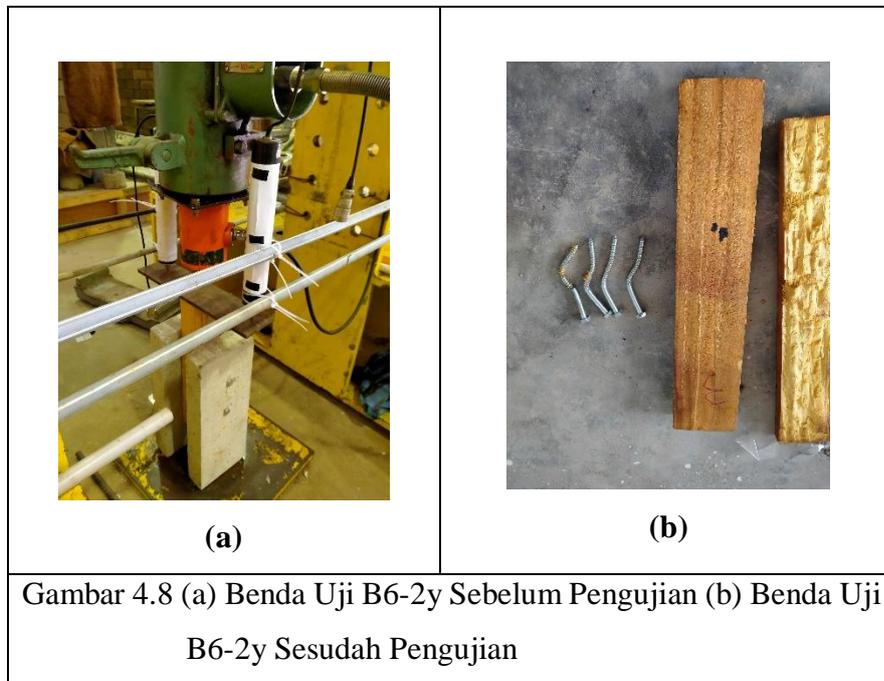


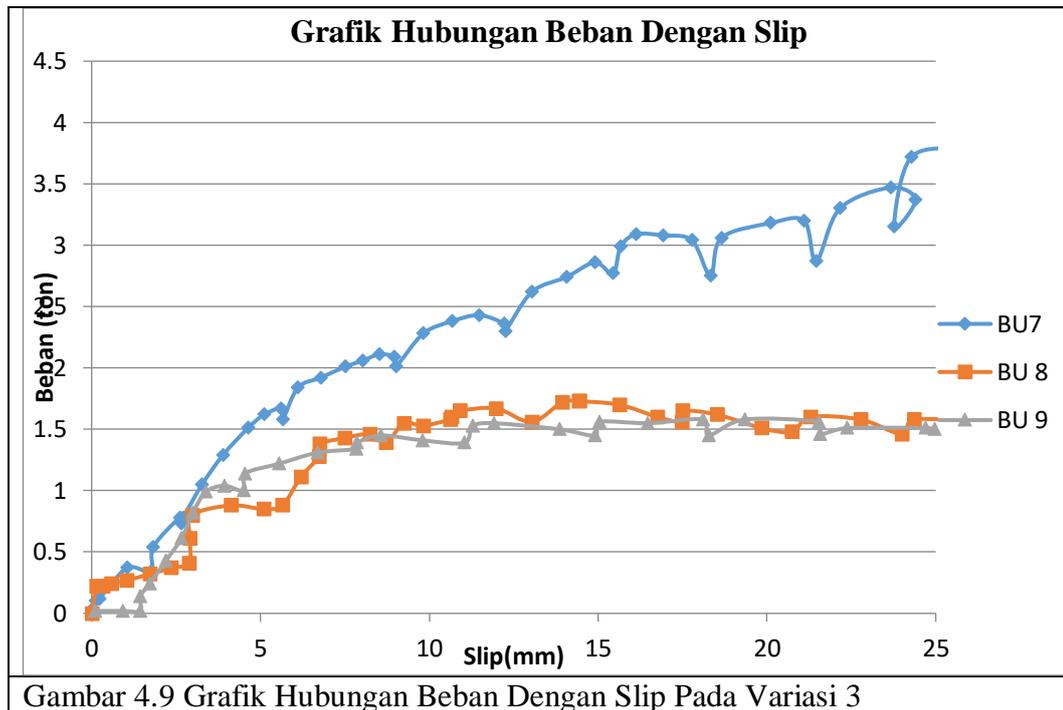
Berdasarkan hasil pengujian, dapat dilihat pada Gambar 4.5 saat sebelum pengujian benda uji masih utuh antara beton pracetak dengan batang nangka, setelah di uji bisa dibandingkan bahwa benda uji setelah pengujian ada kelelahan

serta lendutan pada sekrup dan kehancuran beton pracetak akibat uji kuat tekan. Batang rangka yang menjadi tumpuan pada *load cell* bisa dilihat masih utuh dan hanya beton yang mengalami kehancuran serta sekrup juga mengalami kelelahan (kelelahan model IV) dapat dilihat pada Gambar 2.5. Nilai P maks untuk variasi 2 berada pada 34,81 kN dan lendutan maks berada pada 2,01 kN. Hasil penurunan pada benda uji dapat dilihat grafik pada Gambar 4.6.

3) Benda uji berdiameter 6 dengan panjang sekrup 127 mm sudut 60°

Gambar hasil benda uji dan grafik hubungan beban dengan slip pada benda uji B6-2y dapat dilihat pada gambar 4.7 dan gambar 4.8.

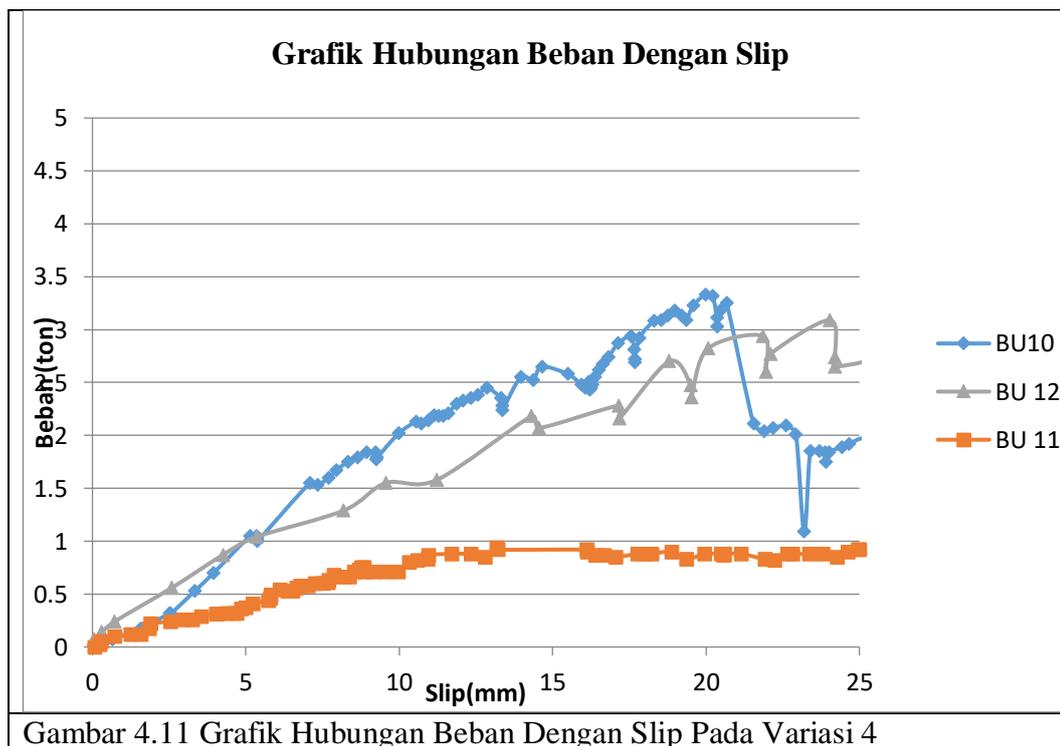
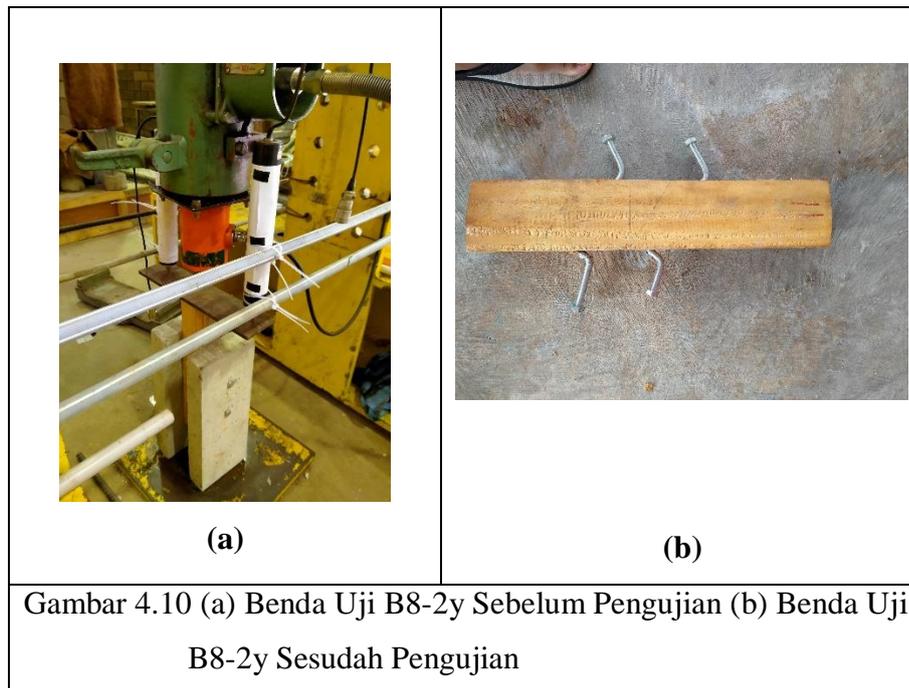




Berdasarkan hasil pengujian, dapat dilihat pada Gambar 4.7 saat sebelum pengujian benda uji masih utuh antara beton pracetak dengan batang angka, setelah di uji bisa dibandingkan bahwa benda uji setelah pengujian ada kelelahan serta lendutan pada sekrup dan kehancuran beton pracetak akibat uji kuat tekan. Batang angka yang menjadi tumpuan pada *load cell* bisa dilihat masih utuh dan hanya beton yang mengalami kehancuran serta sekrup juga mengalami kelelahan (kelelahan model IV) dapat dilihat pada Gambar 2.5. Nilai P maks untuk variasi 3 berada pada 39,32 kN dan lendutan maks berada pada 3.00 kN. Hasil penurunan pada benda uji dapat dilihat grafik pada Gambar 4.8.

.4) Benda uji berdiameter 8 dengan panjang sekrup 127 mm sudut 60°

Gambar hasil benda uji dan grafik hubungan beban dengan slip pada benda uji B8-2y dapat dilihat pada gambar 4.9 dan gambar 4.10.



Berdasarkan hasil pengujian, dapat dilihat pada Gambar 4.9 saat sebelum pengujian benda uji masih utuh antara beton pracetak dengan batang nangka, setelah di uji bisa dibandingkan bahwa benda uji setelah pengujian ada kelelahan

serta lendutan pada sekrup dan kehancuran beton pracetak akibat uji kuat tekan. Batang angka yang menjadi tumpuan pada *load cell* bisa dilihat masih utuh dan hanya beton yang mengalami kehancuran serta sekrup juga mengalami kelelahan (kelelahan model III) dapat dilihat pada Gambar 2.5. Nilai P maks untuk variasi 4 berada pada 33,64 kN dan lendutan maks berada pada 2,01 kN. Hasil penurunan Hasil penurunan pada benda uji dapat dilihat grafik pada Gambar 4.10.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengolahan data dan pembahasan serta diskusi, maka diperoleh beberapa kesimpulan yang merupakan hasil dari penelitian ini. Saran dikemukakan dengan tujuan agar penelitian ini dapat dikembangkan dan dilanjutkan oleh peneliti lainnya.

5.1 Kesimpulan

1. Benda uji dengan alat sambung diameter 6 mm, sudut pemasangan 60° dan panjang sekrup 127 mm mempunyai beban maksimum 39,32 kN. Beban minimum benda uji terdapat pada alat sambung berdiameter 8 mm dengan sudut 90° dan panjang sekrup 101,6 mm yang memiliki beban minimum sebesar 17,36 kN;
2. Nilai kekakuan satu sekrup maksimal yang didapat dari pengujian LVL kayu angka adalah sebesar 3,00 kN yang terdapat pada benda uji B6-2y, sedangkan nilai minimal satu sekrup adalah 1,52 kN yang terdapat pada benda uji B6-1x;
3. Perhitungan tahanan lateral, model batas leleh *Is* memiliki hasil yang sama yaitu 8,8 kN. Untuk model batas leleh *III_m* memiliki nilai yang berbeda yaitu 4,77 kN benda uji B8-1x, 1,01 kN benda uji B6-1x, 1,36 kN benda uji B6-2y dan 6,41 kN benda uji B8-2y. Model batas leleh *III_s* memiliki nilai tertinggi pada benda uji B8-1x dan B8-2y yaitu sebesar 38,06 kN dan 8,08 kN untuk benda uji B6-1x dan B6-2y. Pada model batas leleh *IV_s* memiliki nilai yang sama yaitu sebesar 3,81 kN;
4. Penggunaan LVL kayu angka juga baik untuk struktur komposit sama halnya dengan LVL kayu sengon. Namun, pada kekakuan komposit kayu angka tidak sebaik kekakuan pada benda uji komposit kayu sengon. Hal tersebut dikarenakan tidak adanya penggunaan *epoxy* pada tiap baut pemasangan *lag screw* dan tidak adanya dudukan untuk berdirinya benda uji komposit pada saat pengujian.

5.2 Saran

Penelitian ini diharapkan dapat dilanjutkan oleh peneliti lain, dengan memperhatikan saran sebagai berikut :

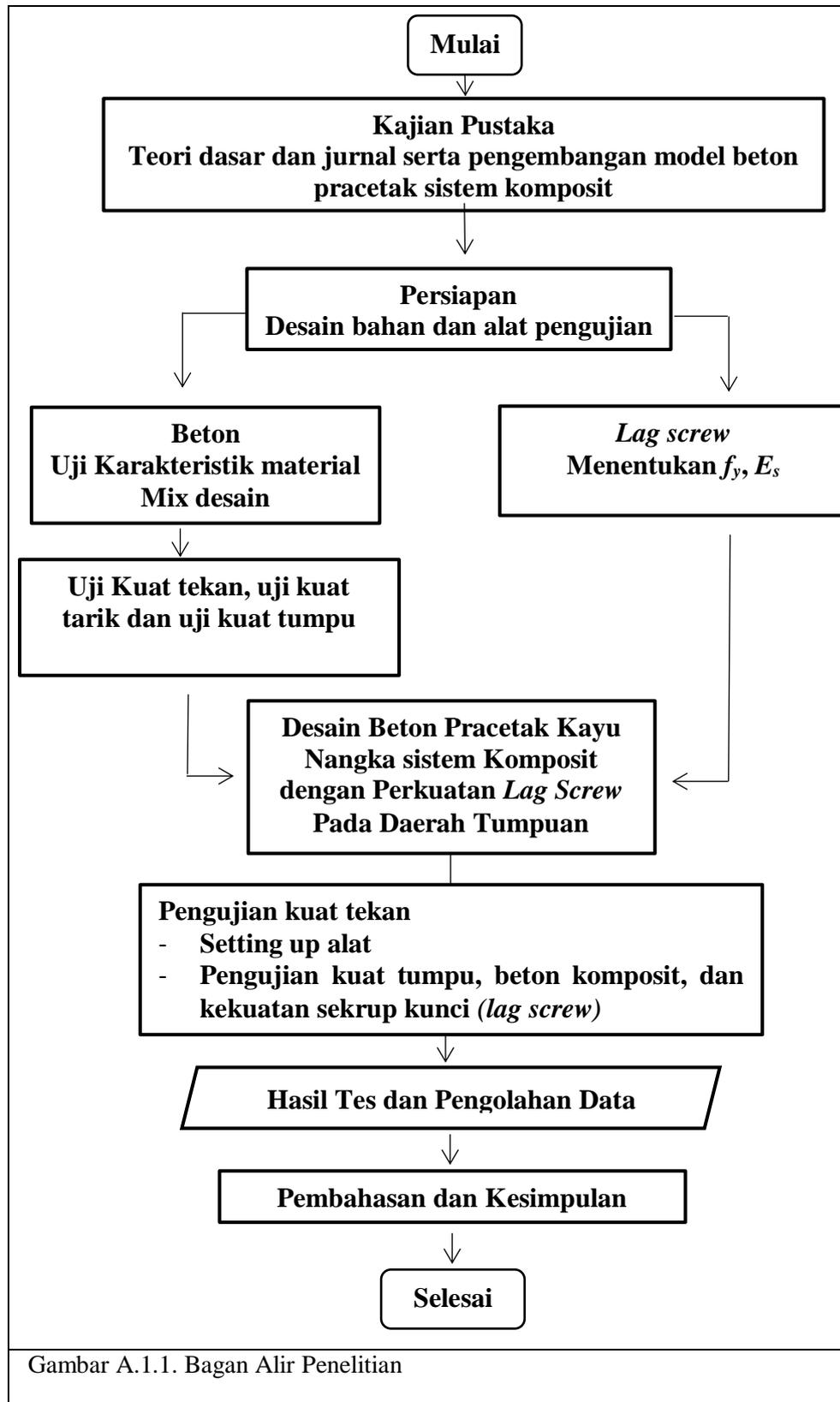
1. *Lag screw* disarankan agar menggunakan *epoxy* terlebih dahulu agar pada saat pengujian *lag screw* dapat lebih kuat;
2. Perlu diperhatikan selump tes pada saat pembuatan benda uji sesuai rencana;
3. Saat pemasangan *lag screw*, sebaiknya pada beton yang baru dicetak dibuat bolongan sesuai diameter sekrup agar lebih mudah pemasangan *lag screw* pada benda uji, dikarenakan jika di bor pada saat beton sudah kering dan mengeras sangat sulit untuk dibor dan beton banyak yang rusak/hancur;
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan mengambil variasi benda uji yang dapat meningkatkan kekuatan beton komposit.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Awaludin, A. (2018) Analisa Kekuatan Lateral pada Sistem Komposit LVL Kayu Sengon dan Beton Pracetak. Media Komunikasi Sipil. *E-ISSN : 2549-6778*
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2019). SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. Standar Nasional Indonesia (SNI), 8, 720. www.bsn.go.id.
- Dennis, E. (2017). Pemanfaatan Biji Buah Nangka (*Artocarpus heterophyllus*) Sebagai Bahan Baku Pembuatan Susu Nabati dengan Penambahan Perisa Jahe (*Zingiber officinale* Rosc.). *Journal Pangan*, 3, 87.
- Fragiacomo, M., & Lukaszewska, E. (2013). *Time-Dependent Behavior of Timber–Concrete Composite Floors with Prefabricated Concrete Slabs. Engineering Structures*, 52, 687-696.
- Girhammar, (2017) model kekakuan untuk sekrup miring dalam mode tegangan geser ada sambungan kayu ke kayu, *Engineering structures* 136,580-595, 2017
- Herawati E., (2017). Karakteristik Kekuatan Lele Lentur *Lag screw* Besi Dengan Beberapa Variasi Diameter *Lag screw*. *Jurnal Teknik Sipil*. 24 (3): 217-222
- Indonesia, S. N. (2013). Spesifikasi Desain Untuk Konstruksi Kayu. Jakarta: badan standarisasi nasional, (7973-2013)
- Marliana, Nana (2018). Variasi Sifat Fisik dan Mekanika Kayu Nangka (*Artocarpus Heterophyllus*) Berdasarkan Arah Aksial. S1 Thesis, Universitas Mataram.
- Nasution, A., Teknologi, D., Hutan, H., Kehutanan, F., & Utara, U. S. (2021). Analisis Kekuatan Sambungan Kayu Geser Ganda Dengan *Lag screw* Tunggal Pada Kayu Terap (*Artocarpus odoratissimus*).
- Handayani, N.D. (2011). Pengaruh Sudut Variasi Serat Pada Kuat Tumpu Kayu LVL, Univesitas Sebelas Maret, Surakarta.

- Pratiwi dan Tjondro. (2018). Kajian Kekuatan Dan Kekakuan Rangka Kayu Meranti Dengan Sambungan Plywood Gusset Plate Dan Lag Screw Fastener, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.
- Rosandy, F. T. (2015). Pengaruh Pemberian Ekstrak Kulit Batang Nangka (*Artocarpus heterophyllus* Lmk .) Terhadap Lama Hidup Mencit (*Mus musculus*) Yang Diinfeksi *Toxoplasma gondii*. Skripsi. Fakultas Kedokteran Hewan. Universitas Airlangga Surabaya, 22–23.
- Siagian R. (2014). Bahan Ajar: Konstruksi Bangunan Jilid 2. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Jakarta.
- Suriani, E. (2014). Perilaku Sambungan Komposit kayu-beton dengan Alat Sambung Sekrup Kunci terhadap Beban Lateral. 31–38.
- Sutanto, R. R., Sadiyo, S., & Nugroho, N. (2018). Desain Kekuatan Sambungan Geser Tunggal Menggunakan Paku pada Lima Jenis Kayu Indonesia. *Jurnal Teknik Sipil*, 25(1), 25. <https://doi.org/10.5614/jts.2018.25.1.4>
- Tantisaputri, I. A., Awaludin, A., & Siswosukarto, S. (2020). Analisa Kekuatan Tahanan Lateral Pada Sistem Komposit LVL Kayu Sengon dan Beton Pracetak. *Media Komunikasi Teknik Sipil*,
- Tjokrodinuljo, (2010). Penggunaan Pasir Tailing Timahdan Batu Pecah Granit Dari Pulau Bangka Untuk Beton Normal. Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Wahyudi, (2016). Pengaruh Pemasangan Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan K175. Universitas Medan Area, Medan
- Yeoh, D., Fragiacomio, M., De Franceschi, M., & Heng Boon, K. (2010). *State of The Art on Timber-Concrete Composite Structures: Literature Review. Journal of Structural Engineering*, 137(10), 1085-1095.

Lampiran A



Gambar A.1.1. Bagan Alir Penelitian

Lampiran A

	
<p>Molen</p>	<p>Saringan</p>
	
<p>Bekisting</p>	<p>Kerucut Abram's</p>
	 
<p>Timbangan</p>	
<p>Gambar A.1.2 : Peralatan yang Digunakan</p>	

Lampiran A



(a)



(b)



(c)



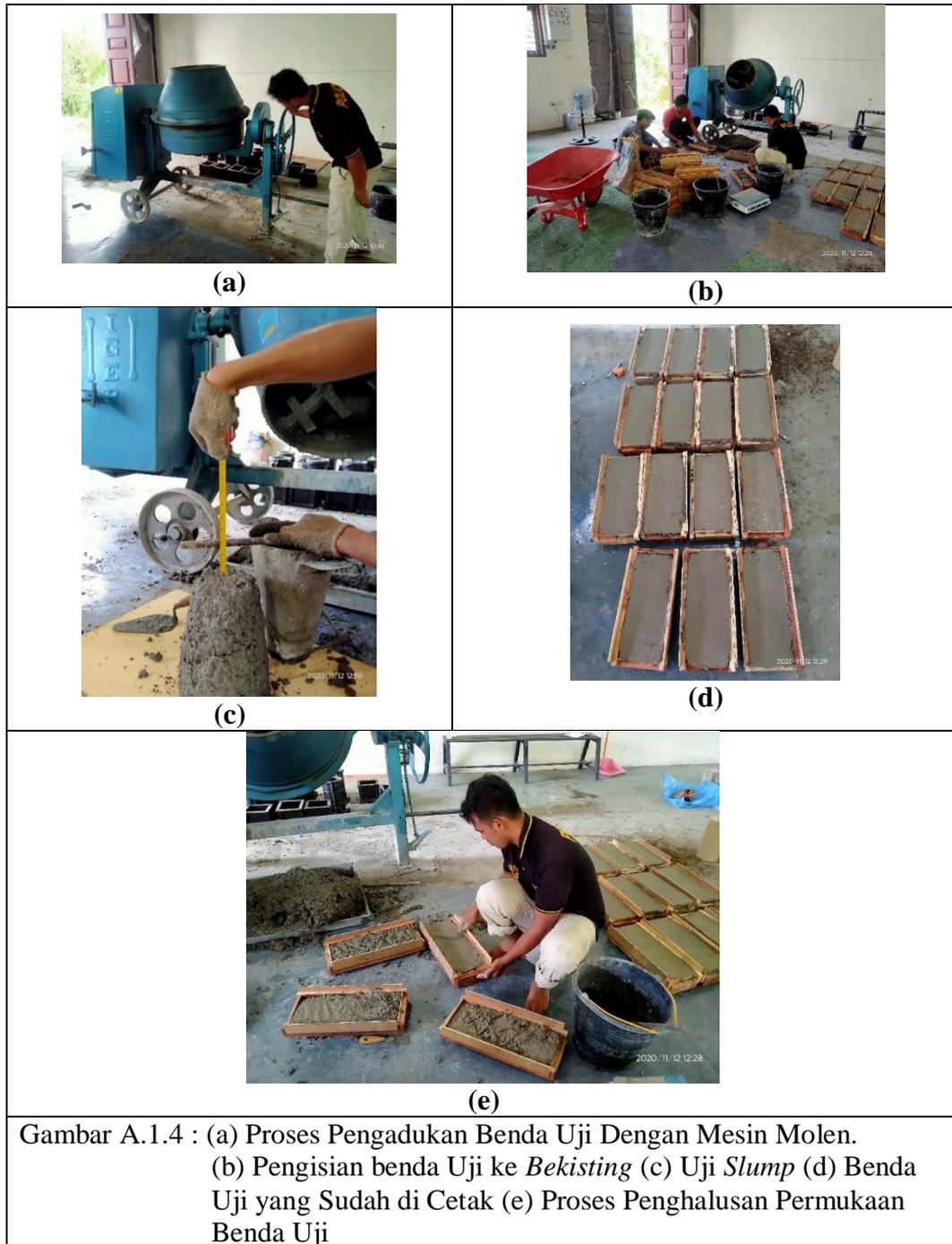
(d)



(e)

Gambar A.1.3 : (a) Pengayakan pasir. (b) Perakitan Bekisting (c) Pengukuran Plat Bekisting (d) Menimbang dan Penyaringan Agregat (e) Pengayakan Pasir

Lampiran A



Lampiran A



Lampiran A



(a)



(b)

Gambar A.1.6 : (a)-(b) Proses Perakitan Benda Uji Menggunakan *Lag Screw*

Lampiran A



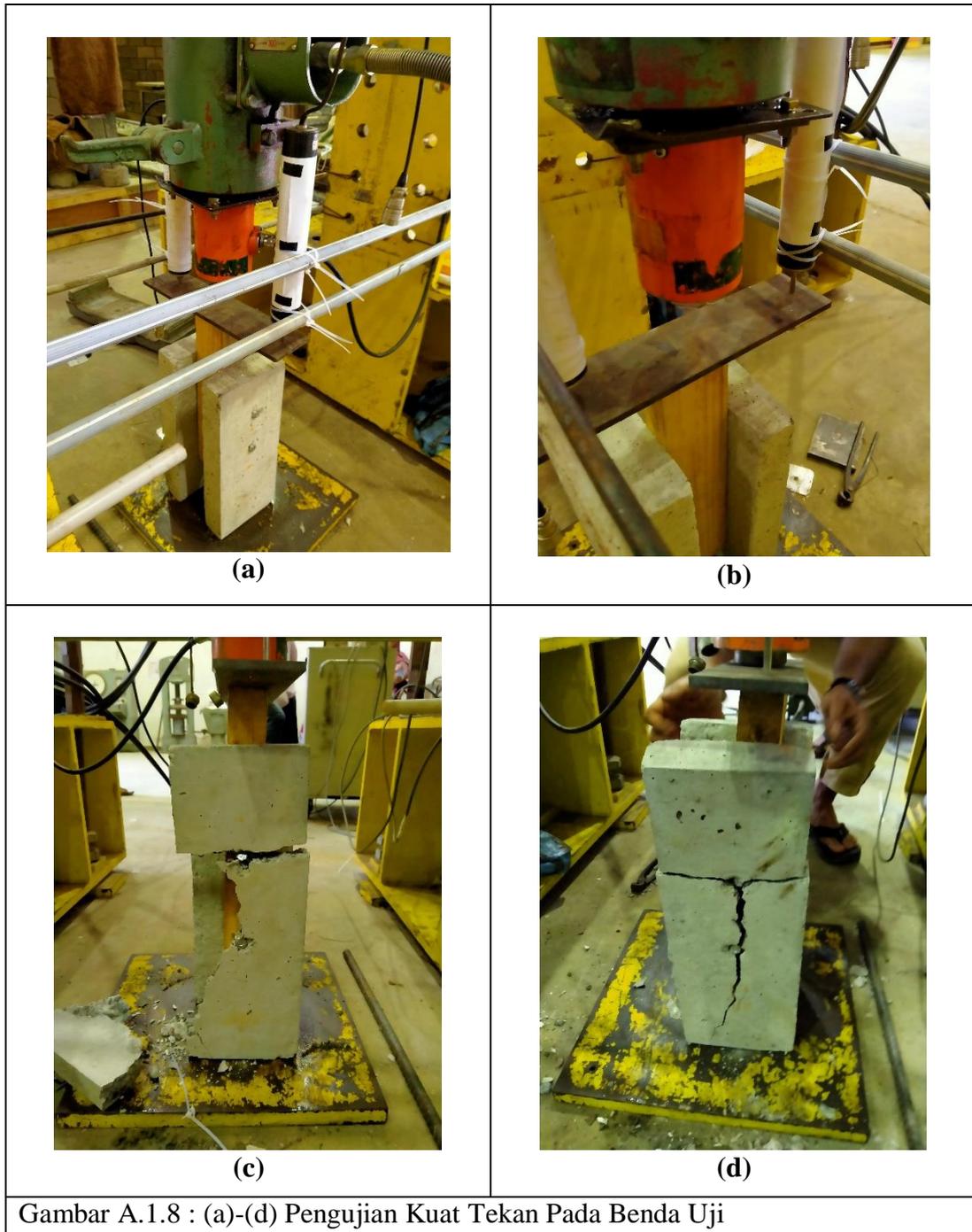
(a)



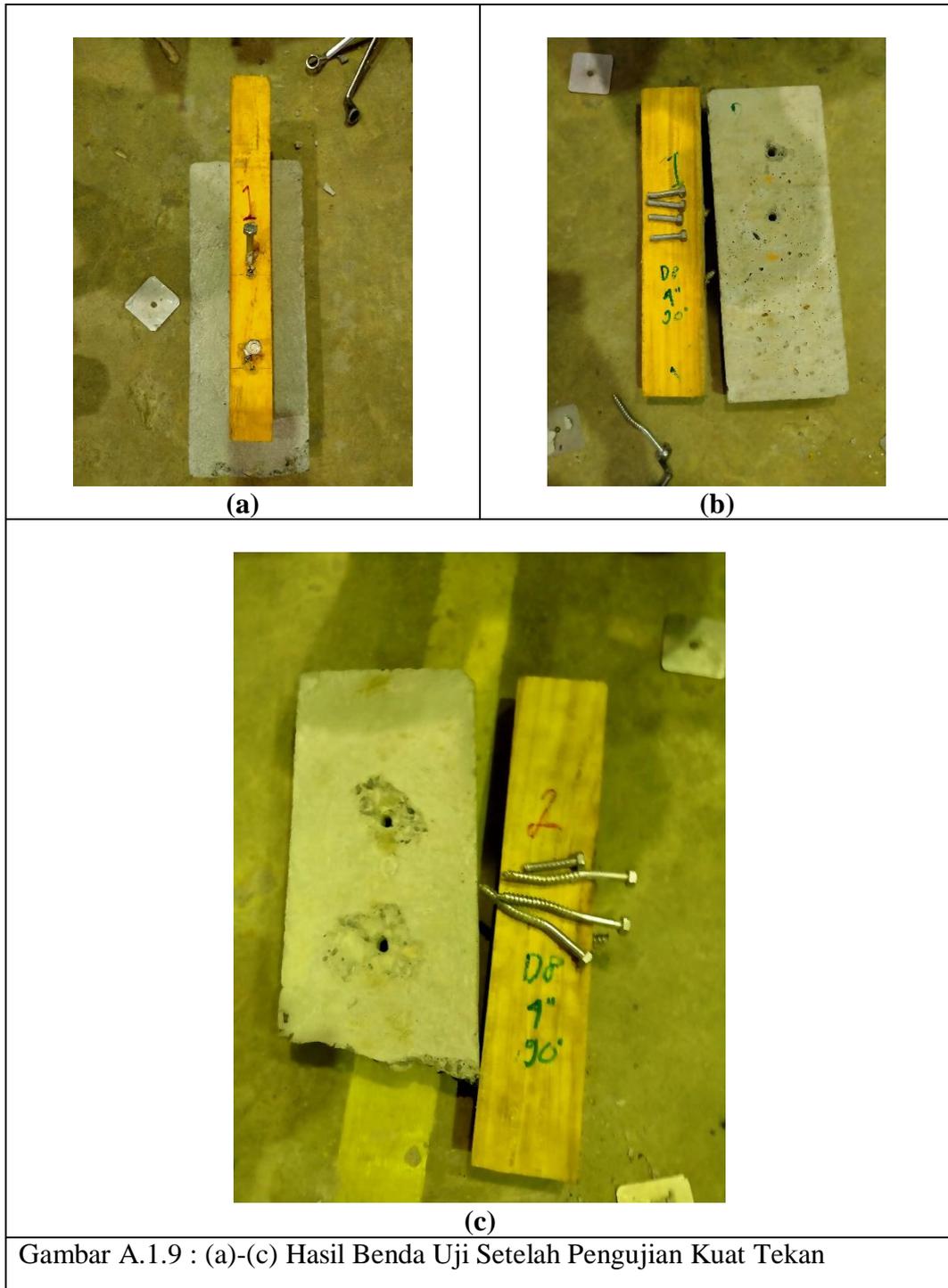
(b)

Gambar A.1.7 : (a)-(b) Pengujian Kuat Cabut Pada Baut

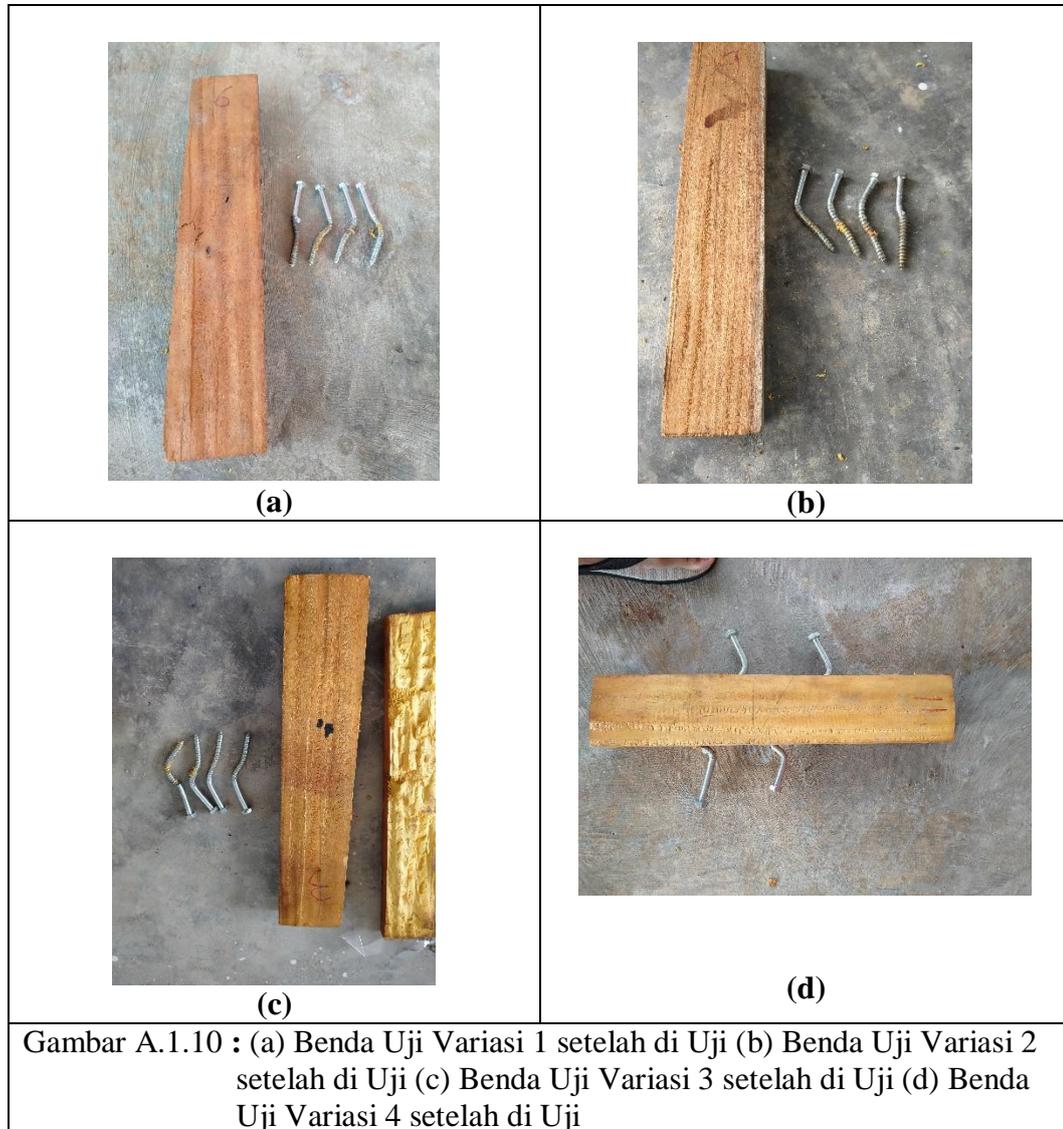
Lampiran A



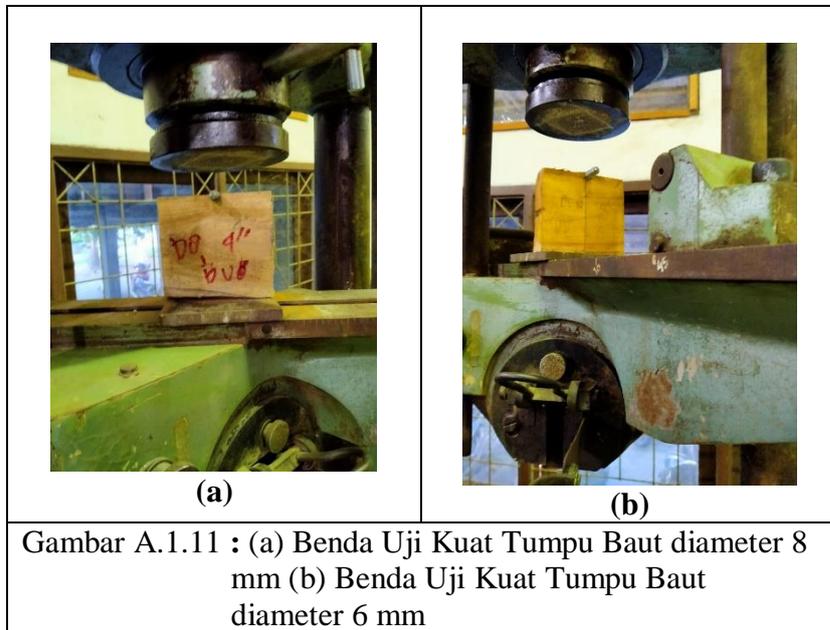
Lampiran A



Lampiran A



Lampiran A



DAFTAR LAMPIRAN TABEL

Tabel B.3.1. Perhitungan *Mix Design* Beton

Kebutuhan Bahan Pembuatan Benda Uji Beton :

Langkah 1 : Tinggi *slump* yang diinginkan adalah 75 – 100 mm.

Langkah 2 : Diameter maksimum *aggregate* yang digunakan adalah 19 mm

Langkah 3 : Jenis beton adalah *Non Air – Entrained Concrete* (konstruksi tidak dipengaruhi oleh perbedaan temperatur akibat membeku dan mencair (*freezing and thawing*). Jumlah air yang dibutuhkan untuk mendapatkan *slump* 75 – 100 mm dengan diameter maksimum agregat 19 mm diperkirakan jumlah air yang diperlukan adalah 25 Kg/m³ atau 25 liter dalam seluruh 12 benda uji.

Langkah 4 : Dalam 1 buah benda uji komposit batang nangka dan beton, berjumlah 2 buah beton pracetak. Sehingga volume yang dibutuhkan dalam 1 buah benda uji adalah $2 \times 0,003 = 0,006 \text{ M}^3$. Benda uji yang dibutuhkan sebanyak 12 benda uji. Total volume keseluruhan dalam 12 benda uji adalah $12 \times 0,006 \text{ M}^3 = 0,072 \text{ M}^3$.

Langkah 5 : Benda uji kubus pada penelitian ini juga diperhitungkan untuk perbandingan kepada benda uji komposit batang nangka dan beton. Volume kubus dalam 1 benda uji adalah 0,003375 M³, Menggunakan 3 benda uji. Sehingga volume kubus yang dibutuhkan dalam 3 benda uji adalah $3 \times 0,003375 = 0,010125 \text{ M}^3$.

Langkah 6 : Berat beton pada benda uji komposit dan benda uji kubus digunakan 2400 Kg/m³.

$$\begin{aligned} \text{Berat beton (WBM)} &= 2400 \times \text{volume benda uji (12 benda uji)} \\ &= 2400 \times 0,072 \\ &= 172,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat beton (WKB)} &= 2400 \times \text{volume kubus (2 kubus)} \\ &= 2400 \times 0,00675 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$= 16,2 \text{ kg}$$

$$\text{Total} = \text{WBM} + \text{WKB}$$

$$= 172,8 + 16,2$$

$$\text{WT} = 189 \text{ kg}$$

Langkah 7 : Berat total pengecoran (WT) pada penelitian ini tambah dengan 10% dari Berat total pengecoran. Jadi perhitungannya adalah :

$$\text{Berat pengecoran} = \text{WT} + (10\% \text{ WT})$$

$$= 189 + (10\% (189))$$

$$= 207,9 \text{ kg}$$

Langkah 8 : Pada penelitian ini perhitungan jumlah kebutuhan Semen, Pasir dan kerikil menggunakan metode 1 Pc : 2 Ps : 3 Krl dari berat pengecoran. Perhitungannya adalah :

$$\text{Semen Pc} = \frac{1}{6} \times \text{Berat pengecoran}$$

$$= \frac{1}{6} \times 207,9 = 34,65 \text{ kg}$$

$$\text{Pasir} = \frac{2}{6} \times \text{Berat pengecoran}$$

$$= \frac{2}{6} \times 207,9 = 69,3 \text{ kg}$$

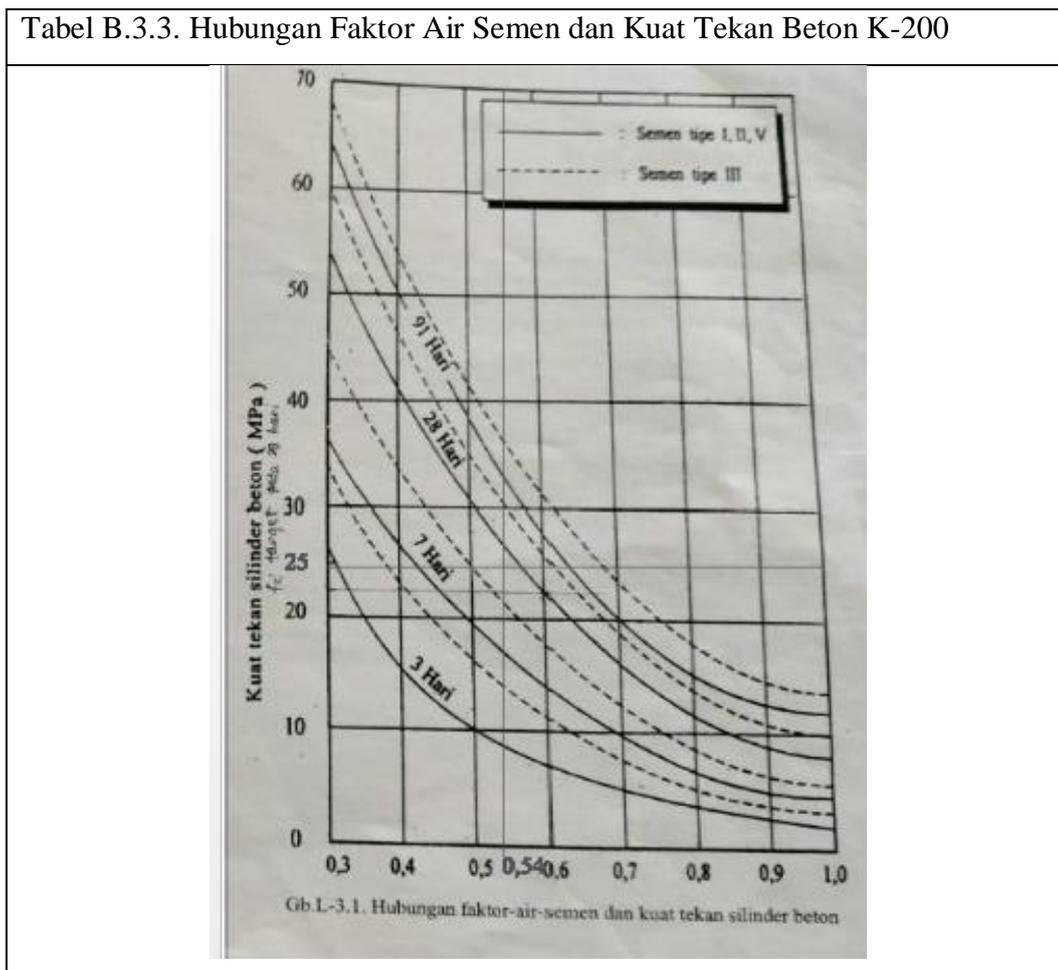
$$\text{Kerikil} = \frac{3}{6} \times \text{Berat pengecoran}$$

$$= \frac{3}{6} \times 207,9 = 103,95 \text{ kg}$$

$$\text{Air} = f_{as} \times \text{berat semen}$$

$$= 0,54 \times 34,65 = 18,71 \text{ Kg} \approx 19 \text{ Kg.}$$

No	Material	Berat pengecoran dengan 10%	Benda Uji m ³	Untuk 12 Benda Uji (1 : 2 : 3)	Satuan
1	Semen	207,9	0,00603	34,65	Kg
2	Pasir	207,9	0,00603	69,3	Kg
3	Kerikil	207,9	0,00603	103,95	Kg
4	Air	207,9	0,00603	18,71	Kg
Total		831,6	0,00603	226,61	Kg



Sumber: Tjokrodinuljo, (2010)

DAFTAR LAMPIRAN HITUNG

Lampiran C.1.1 Persamaan EYM pada Diameter 8 mm Panjang Sekrup 101,6

mm

$$\begin{aligned}
 T_m &= 50 \text{ mm} \\
 T_s &= 50 \text{ mm} \\
 D &= 8 \text{ mm} \\
 p &= 51.6 \text{ mm} \\
 K_d &= 3 \\
 F_{em} &= 2.43 \text{ MPa} \\
 F_{es} &= 20 \text{ MPa} \\
 F_{yb} &= 10.05 \text{ Mpa} \\
 Re &= 0.1215 \\
 F_e &= 2.43 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{K1} &= \begin{array}{ccc|ccc} -1 & + & 2 & 1 & 0.1215 & \frac{2 \cdot 10.05 \cdot 79.552}{18225} \\ & & & & & \\ = & -1 & + & 2 & 1 & 0.1215 + 0.09 \\ & & & & & \\ = & -1 & + & & & 1.74 \\ & & & & & \\ = & & & & & \mathbf{0.74} \end{array}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{K2} &= \begin{array}{ccc|ccc} -1 & + & \frac{2.243}{2.43} & + & \frac{1598.9952}{18225} \\ = & -1.00 & + & 0.9230453 & + & 0.09 \\ = & -1 & + & 1.0053764 & & \\ = & & & & & \mathbf{0} \end{array}
 \end{aligned}$$

$$\mathbf{Is} = \mathbf{8800} \quad 8800 \text{ N} \quad 8.8 \text{ kN}$$

$$\mathbf{III_m} = \frac{17.79707}{3.729} = \mathbf{4.77} \text{ kN}$$

$$\text{III}_s = \frac{141.936}{3.729} = 38.06 \text{ kN}$$

$$\text{IV}_s = \frac{48.843}{3.3645} = 14.51716 = 3.81 \text{ kN}$$

Lampiran C.1.2 Persamaan EYM pada Diameter 8 mm Panjang Sekrup 127

mm

$$\begin{aligned} T_m &= 50 \text{ mm} \\ T_s &= 50 \text{ mm} \\ D &= 8 \text{ mm} \\ p &= 69.3 \text{ mm} \\ K_d &= 3 \\ F_{em} &= 2.43 \text{ MPa} \\ F_{es} &= 20 \text{ MPa} \\ F_{yb} &= 10.05 \text{ Mpa} \\ R_e &= 0.1215 \\ F_e &= 2.43 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{K1} &= \begin{array}{ccc|ccc} -1 & + & 2 & 1 & 0.1215 & \frac{2 \cdot 10.05 \cdot 79.552}{18225} \\ = & -1 & + & 2 & 1 & 0.1215 + 0.09 \\ = & -1 & + & & 1.74 & \\ = & \mathbf{0.74} & & & & \end{array} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{K2} &= \begin{array}{ccc|ccc} -1 & + & \frac{2.243}{2.43} & + & \frac{1598.9952}{18225} \\ = & -1.00 & + & 0.9230453 & + & 0.09 \\ = & -1 & + & 1.005 & & \\ = & \mathbf{0.0054} & & & & \end{array} \end{aligned}$$

$$I_s = 8800 \quad 8800 \text{ N} \quad 8.8 \text{ kN}$$

$$III_m = \frac{23.90187}{3.729} = 6.41 \text{ kN}$$

$$III_s = \frac{141.936}{3.729} = 38.06 \text{ kN}$$

$$IV_s = \frac{48.843}{3.3645} = 14.51716 = 3.81$$

Lampiran C.1.3 Persamaan EYM pada Diameter 6 mm Panjang Sekrup 101.6

mm

$$\begin{aligned} T_m &= 50 \text{ mm} \\ T_s &= 50 \text{ mm} \\ D &= 6 \text{ mm} \\ p &= 51.6 \text{ mm} \\ K_d &= 3 \\ F_{em} &= 2.43 \text{ MPa} \\ F_{es} &= 20 \text{ MPa} \\ F_{yb} &= 10.05 \text{ Mpa} \\ R_e &= 0.1215 \\ F_e &= 2.43 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_1 &= \begin{array}{ccc|ccc} -1 & + & 2 & 1 & 0.1215 & \frac{2 \cdot 10.05 \cdot 44.748}{18225} \\ -1 & + & 2 & 1 & 0.1215 & + 0.05 \\ -1 & + & & & 1.73 & \\ = & & & & & \end{array} \\ &= 0.73 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K2 &= -1 + \frac{2.243}{2.43} + \frac{899.4348}{18225} \\
&= -1.00 \quad + \quad 0.92 \quad + \quad 0.08 \\
&= -1 + 1.002 \\
&= \mathbf{0.002}
\end{aligned}$$

$$I_s = \mathbf{6600} \quad 8800 \text{ N} \quad 8.8 \text{ kN}$$

$$III_m = \frac{3.777342}{3.729} = \mathbf{1.01} \text{ kN}$$

$$III_s = \frac{30.12523}{3.729} = \mathbf{8.08} \text{ kN}$$

$$IV_s = \frac{48.843}{3.3645} = 14.51716 = \mathbf{3.81} \text{ kN}$$

Lampiran C.1.4 Persamaan EYM pada Diameter 6 mm Panjang Sekrup 127

mm

$$\begin{aligned}
T_m &= 50 \text{ mm} \\
T_s &= 50 \text{ mm} \\
D &= 6 \text{ mm} \\
p &= 69.3 \text{ mm} \\
K_d &= 3 \\
F_{em} &= 2.43 \text{ MPa} \\
F_{es} &= 20 \text{ MPa} \\
F_{yb} &= 10.05 \text{ Mpa} \\
R_e &= 0.1215 \\
F_e &= 2.43 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{K1} &= \begin{array}{ccc|ccc} -1 & + & 2 & 1 & 0.1215 & \frac{2 \quad 10.05 \quad 44.748}{18225} \\ & & & 1 & 0.1215 & + \quad 0.05 \\ & & & & 1.73 & \\ & & & & & \end{array} \\
 &= \begin{array}{ccc|ccc} -1 & + & 2 & 1 & 0.1215 & \frac{2 \quad 10.05 \quad 44.748}{18225} \\ & & & 1 & 0.1215 & + \quad 0.05 \\ & & & & 1.73 & \\ & & & & & \end{array} \\
 &= -1 + \frac{2 \cdot 1.73}{18225} \\
 &= \mathbf{0.73}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{K2} &= -1 + \frac{2.243}{2.43} + \frac{899.4348}{18225} \\
 &= -1.00 + 0.9230453 + 0.08 \\
 &= -1 + 1.002 \\
 &= \mathbf{0.0015}
 \end{aligned}$$

$$\mathbf{Is} = \mathbf{6600} \quad 8800 \text{ N} \quad 8.8 \text{ kN}$$

$$\mathbf{III_m} = \frac{5.073059}{3.729} = \mathbf{1.36} \text{ kN}$$

$$\mathbf{III_s} = \frac{30.12523}{3.729} = \mathbf{8.08}$$

$$\mathbf{IV_s} = \frac{48.843}{3.3645} = 14.51716 = \mathbf{3.81} \text{ kN}$$

Kode	D	θ	P	p	n
B8-1x	8	90	101.6	51.6	3
B6-1x	6	90	101.6	51.6	3
B6-2y	6	60	127	69.3	3
B8-2y	8	60	127	69.3	3

Kode	Is	III _m	III _s	I _{vs}
B8-1x	8.8	4.77	38.06	3.81
B6-1x	8.8	1.01	8.08	3.81
B6-2y	8.8	1.36	8.08	3.81
B8-2y	8.8	6.41	38.06	3.81