

**PERFORMA KUAT LENTUR (IN-PLANE)
PANEL BETON LIMBAH ONYX
SEBAGAI BETON EKSPOSE**

TESIS

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
MINAT REKAYASA STRUKTUR**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Magister Teknik



SETIYO FERDI YANUAR
NIM. 186060 100 111 021

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2019**

TESIS

PERFORMA KUAT LENTUR (IN-PLANE) PANEL BETON LIMBAH ONYX SEBAGAI BETON EKSPOSE

SETIYO FERDI YANUAR
NIM. 186060 100 111 021

telah dipertahankan di depan penguji
pada tanggal 16 Desember 2019
dinyatakan telah memenuhi syarat
untuk memperoleh gelar Magister Teknik

Komisi Pembimbing,

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

Dr. Ir. Wisnumurti, MT.
NIP. 19641207 199002 1 001

Dr. Ir. Edhi Wahyuni S, MT.
NIP. 19570616 198601 2 001

Malang, 30 Desember 2019

Universitas Brawijaya
Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil
Ketua Program Magister Teknik Sipil

Ari Wibowo, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19740619 200012 1 002

JUDUL TESIS:

**PERFORMA KUAT LENTUR (IN-PLANE) PANEL BETON LIMBAH ONYX
SEBAGAI BETON EKSPOSE**

Nama Mahasiswa : SETIYO FERDI YANUAR

NIM : 186060 100 111 021

Program Studi : Magister Teknik Sipil

Minat : Rekayasa Struktur

KOMISI PEMBIMBING:

Ketua : Dr. Ir. WISNUMURTI, MT.

Anggota : Dr. Ir. EDHI WAHYUNI S, MT.

TIM DOSEN PENGUJI:

Dosen Penguji 1 : ARI WIBOWO, ST., MT., Ph.D

Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. MING NARTO W., ST, MT, M.Sc

Tanggal Ujian : 16 Desember 2019

SK Penguji : NOMOR TAHUN



*Karya ilmiah ini kutujukan kepada:
Ayahanda dan Ibunda tercinta*

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Bondowoso, pada tanggal 13 Januari 1992 dari pasangan ayah Supono dan Ibu Elly Dewy Ariyani. Sejak kecil sampai sampai remaja tinggal di Bondowoso Jawa Timur. Pendidikan sekolah dasar di SD Negeri Dabasah 7 lulus tahun 2004, sekolah menengah pertama di SMP Negeri 1 Bondowoso lulus tahun 2007 serta sekolah menengah atas di SMA Negeri 1 Tenggarang Bondowoso dan lulus tahun 2010.

Tahun 2010 melanjutkan pendidikan pada Jurusan D3-Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang. Tahun 2016 melanjutkan pendidikan pada Jurusan D4-Manajemen Rekayasa Konstruksi Politeknik Negeri Malang.

Sejak pertengahan tahun 2018 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi Magister Teknik Sipil, Pascasarjana Universitas Brawijaya. Pada tanggal 16 Desember 2019 penulis mempertahankan Tesis dengan judul “Performa Kuat Lentur (In-Plane) Panel Beton Limbah Onyx Sebagai Beton Ekspose”.

Malang, 21 Desember 2019

Penulis

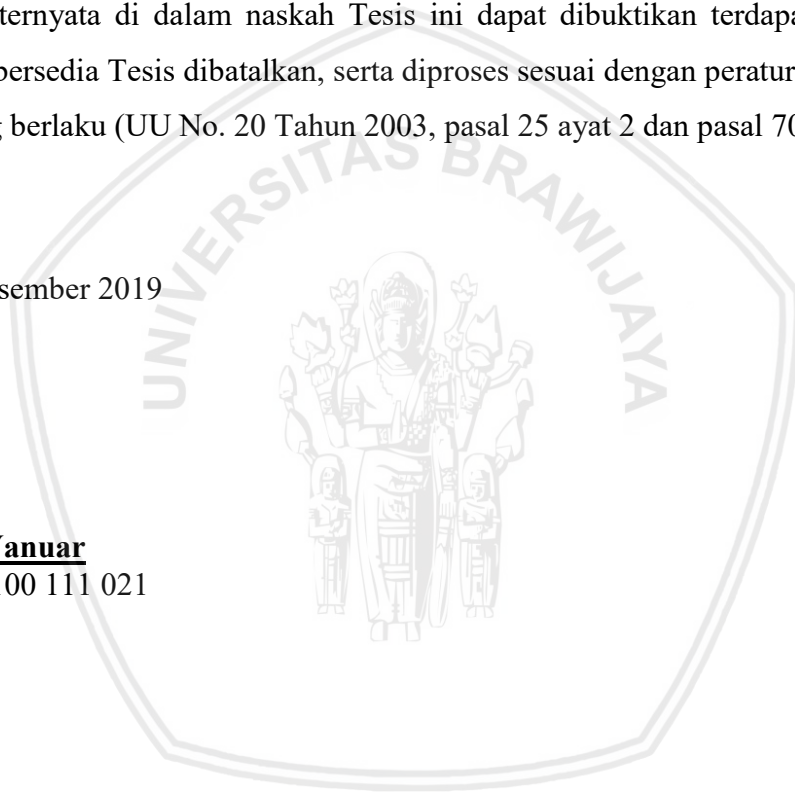
PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah Tesis ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik disuatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Tesis dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 21 Desember 2019
Mahasiswa,

Setiyo Ferdi Yanuar
NIM. 186060 100 111 021



RINGKASAN

Setiyo Ferdi Yanuar, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, 16 Desember 2019, *Performa Kuat Lentur (In-Plane) Panel Beton Limbah Onyx Sebagai Beton Ekspose*, Dosen Pembimbing: Wisnumurti dan Edhi Wahyuni Setyowati.

Panel beton pracetak adalah salah satu dari sekian banyak bentuk yang dapat diproduksi oleh pabrik beton. Pada umumnya, kegunaan panel adalah sebagai penyekat antar ruangan atau sebagai pelindung bagian dalam bangunan dari alam luar. Salah satu kunci untuk membuat produk beton yang murah adalah dengan cara meminimalisir variasi bentuk. Panel ini sangat cocok menjadi sasaran pembuatan beton precast karena pada umumnya partisi dinding tidak membutuhkan banyak variasi bentuk lain halnya pada balok dan kolom. Penggunaan material limbah batu onyx sebagai agregat kasar ditujukan untuk menjadikan panel memiliki nilai artistik ketika permukaan panel diproses dengan cara digrinding.

Pada penelitian ini ditujukan untuk memberikan informasi ketika panel beton dengan agregat kasar limbah batu onyx yang diproses dengan cara digrinding mengalami perlemahan ketika dilakukan variasi ketebalan grinding. Variasi grinding yang dilakukan dalam penelitian ini yakni setebal 2 mm dan 4 mm. Proses grinding dilakukan untuk mengekspose agregat kasar limbah batu onyx yang ada di dalam panel sehingga menjadikan panel memiliki nilai artistik.

Hasil dari penelitian ini, Terjadi perubahan kapasitas retak yang diakibatkan beban lentur (in-plane) dari panel beton yang difinishing dengan metode grinding. Untuk panel yang digrinding 2 mm mengalami penurunan sebesar 6,0% sedangkan yang digrinding 4 mm mengalami penurunan 9,6 %. Dari pengamatan panel beton onyx yang tidak di grinding, M_{cr} yang terjadi mencapai $6,15 \times 10^4$ kg.cm, sedangkan panel dengan grinding 2 mm sebesar $5,99 \times 10^4$ kg.cm, dan pada panel dengan grinding 4 mm M_{cr} terjadi sebesar $5,86 \times 10^4$ kg.cm dengan demikian, proses grinding mengurangi kapasitas M_{cr} . Nilai kurvatur ϕ_u panel non-grinding, panel grinding 2 mm, panel grinding 4 mm bernilai $6,8 \times 10^{-3}$, $14,21 \times 10^{-3}$, dan $20,10 \times 10^{-3}$ berturut-turut. Panel beton memiliki daktilitas yang lebih baik setelah digrinding

Kata kunci: Precast Panel Beton, Limbah Onyx, Kapasitas Lentur, Grinding

SUMMARY

Setiyo Ferdi Yanuar, *Departement of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, Desember 2019, Flexural Strength Performance (In-Plane) Onyx Waste Concrete Panels As Exposed Concrete: Wisnumurti dan Edhi Wahyuni Setyowati.*

Prefabricated concrete panels are one of the many forms that can be produced by concrete plants. In general, the use of panels is as a barrier between rooms or as a protective part of the building from the outside. To make low-cost concrete products is to minimize the variation in shape. This panel is very suitable to be the target of making precast concrete because in general the partition wall does not require many variations of other shapes as well as on beams and columns. The use of onyx stone waste material as a coarse aggregate is intended to make the panels have artistic value when the panel surface is processed by grinding.

In this study, it is intended to provide information when concrete panels with coarse aggregate of onyx stone waste processed by grinding experience weakening when variations in grinding thickness are carried out. Grinding variations carried out in this study are 2 mm and 4 mm thick. The grinding process is carried out to expose the coarse aggregate of onyx stone waste in the panel so that the panel has artistic value.

The results of this study, there was a change in crack capacity due to in-plane flexing of the finished concrete panel by grinding method. For panels which are grinding with 2 mm, it decreases by 6.0% while those which are grinding with 4 mm have decreased by 9.6%. From the observation of the onyx concrete panel that is not grinding, the M_{cr} that occurs reaches 6.15×10^4 kg.cm, while the panel with 2 mm grinding is 5.99×10^4 kg.cm, and on the panel with 4 mm M_{cr} grinding occurs at $5,86 \times 10^4$ kg.cm thus, the grinding process reduces the capacity of M_{cr} . The curvature value of nonu non-grinding panel, 2 mm grinding panel, 4 mm grinding panel is 6.8×10^{-3} , 14.21×10^{-3} , and 20.10×10^{-3} respectively. Concrete panels have better ductility after grinding

Keywords: Precast Concrete Panels, Onyx Waste, Bending Capacity, Grinding

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Performa Kuat Lentur (In-Plane) Panel Beton Limbah Onyx Sebagai Beton Ekspose”. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Magister (S2) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Penyusunan Tesis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Wisnumurti, MT., selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Dr. Ir. Edhi Wahyuni S, MT., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan Tesis ini;
2. Ari Wibowo, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Penguji Utama, dan Dr. Eng. Ming Narto Wijaya, S.T., M.T. M.Sc, selaku Dosen Penguji Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan Tesis ini;
3. Seluruh Dosen dan Staf Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah memberikan ilmu, sarana dan prasarana selama pengerjaan Tesis ini;
4. Ibunda Elly Dewy Ariyani dan Ayahanda Supono tercinta yang telah membantu baik moril dan materi serta mendoakan hingga terselesaikannya Tesis ini;
5. Rekan seangkatan Program Magister Teknik Sipil Minat Rekayasa Struktur Fakultas Teknik Universitas Brawijaya angkatan Tahun 2018 yang telah bersatu dan berjuang bersama serta memberi dorongan/semangat selama proses pembimbingan Tesis;
6. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan Tesis ini. Akhirnya penulis berharap, semoga Tesis ini dapat bermanfaat.

Malang, 21 Desember 2019

Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	3
1.3. Rumusan Masalah.....	3
1.4. Pembatasan Masalah / Lingkup Pembahasan	4
1.5. Tujuan	4
1.6. Manfaat / Kegunaan.....	4
1.6.1. Manfaat Penelitian Secara Umum	4
1.6.2. Manfaat Penelitian Secara Khusus	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Dinding	7
2.1.1. Fungsi Pemikul Beban Bangunan.....	7
2.1.2. Fungsi Penutup atau Pembatas Ruangan	8
2.1.3. Menghadapi alam luar dan ruangan dalam	8
2.2. Beton Bertulang	8
2.2.1. Beton.....	9
2.2.1.1. Kuat Tekan Beton	10
2.2.1.2. Kuat Lentur Beton	11
2.2.1.3. Agregat Penyusun Beton	11
2.2.2. Baja Tulangan.....	12
2.2.2.1. Kuat Tarik Baja.....	12
2.3. Beton Precast	13
2.4. Balok Beton Bertulang	15
2.4.1. Balok Lentur	16
2.4.2. Balok Tinggi	17
2.4.2.1. Pengertian Balok Tinggi	18



2.4.3.	Metode Desain Balok Tinggi.....	19
2.4.4.	Strut and Tie Method.....	20
2.4.4.1.	Distribusi Tegangan Elastis.....	21
2.4.4.2.	Daerah B dan D.....	21
2.4.4.3.	Batang Tekan – Strut.....	23
2.4.4.4.	Batang Tarik – Tie.....	24
2.4.4.5.	Node (Titik simpul).....	24
2.5.	Hubungan Momen dan Kurvature.....	25
2.5.1.	Momen – Kurvatur Teoritis.....	28
2.5.2.	Momen – Kurvatur saat Ultimate dan Leleh pada Balok Beton Bertulang tanpa Pengekang.....	32
2.6.	Hasil Penelitian Terdahulu.....	34
BAB III	KERANGKA KONSEP PENELITIAN.....	37
3.1.	Kerangka Konseptual Penelitian.....	37
3.2.	Hipotesis Penelitian.....	38
BAB IV	METODE PENELITIAN.....	41
4.1.	Studi Literatur.....	41
4.2.	Analisis Preliminary Penelitian.....	41
4.3.	Tempat Penelitian.....	43
4.4.	Parameter Penelitian.....	43
4.5.	Alat dan Bahan Penelitian.....	44
4.5.1.	Alat.....	44
4.5.2.	Bahan.....	45
4.5.3.	Metode Grinding.....	45
4.6.	Rancangan Penelitian.....	48
4.6.1.	Setting Alat.....	48
4.6.2.	Parameter yang diamati.....	49
4.7.	Prosedur Penelitian.....	50
4.7.1.	Analisa Teori Awal.....	50
4.7.2.	Tahap Persiapan.....	50
4.7.3.	Tahap Perencanaan Variabel Benda Uji.....	51
4.7.4.	Tahap Pengujian.....	52
4.8.	Diagram Alir Penelitian.....	55
BAB V	PEMBAHASAN.....	57

5.1.	Material Properties.....	57
5.1.1.	Hammer test.....	57
5.1.2.	Panel properties	59
5.2.	Grinding Panel Onyx	59
5.2.1.	Hasil grinding	60
5.2.2.	Waktu pelaksanaan dan koefisien pekerjaan	61
5.3.	Kapasitas Lentur	62
5.3.1.	Spesimen Panel Onyx Tanpa Grinding	62
5.3.2.	Spesimen Panel Onyx dengan grinding 2 mm.....	62
5.3.3.	Spesimen Panel Onyx dengan grinding 4 mm.....	63
5.3.4.	Analisa Panel	64
5.3.4.1.	Balok Normal.....	65
5.3.4.2.	Balok tinggi	66
5.3.4.3.	Analisa Hasil Eksperimental Dan Analitis	67
5.3.5.	Pengaruh grinding terhadap kapasitas lentur	68
5.4.	Momen dan kurvatur.....	68
BAB VI	PENUTUP	73
6.1.	Kesimpulan.....	73
6.2.	Saran	73
DAFTAR PUSTAKA		75

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Rasio Kuat Tekan Beton Terhadap Umur Beton.....	9
Tabel 2. 2 Unsur yang terkandung pada batu onyx	10
Tabel 2. 3 Data pengujian limbah batu onyx dan agregat kasar.....	10
Tabel 2. 4. Definisi Balok Tinggi diberbagai Peraturan.....	18
Tabel 2. 5. Metode Desain untuk Balok Tinggi	19
Tabel 2. 5. Campuran Beton Onyx	34
Tabel 2. 5. Mutu Baja Ø6 mm	35
Tabel 2. 5. Uji Tekan Silinder Beton Dengan Agregat Batu Split	35
Tabel 2. 5. Uji Tekan Silinder Beton Dengan Agregat Batu Onyx	35
Tabel 4. 1 Form properti panel beton Onyx	47
Tabel 4. 2 Form pengamatan pengujian	48
Tabel 5. 1 Konfersi Kuat Tekan Beton Berdasarkan Benda Uji	55
Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Hammer Test.....	55
Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Panel Properties	56
Tabel 5. 4 Prosentase Agregat Terlihat Akibat Proses Grinding.....	58
Tabel 5. 5 Perbandingan waktu grinding.....	58
Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Lentur	63
Tabel 5. 7 Analisa Menggunakan Balok Normal	64
Tabel 5. 8 Analisa Menggunakan Balok Tinggi.....	65
Tabel 5. 9 Perubahan Akibat Grinding.....	66

DAFTAR GAMBAR

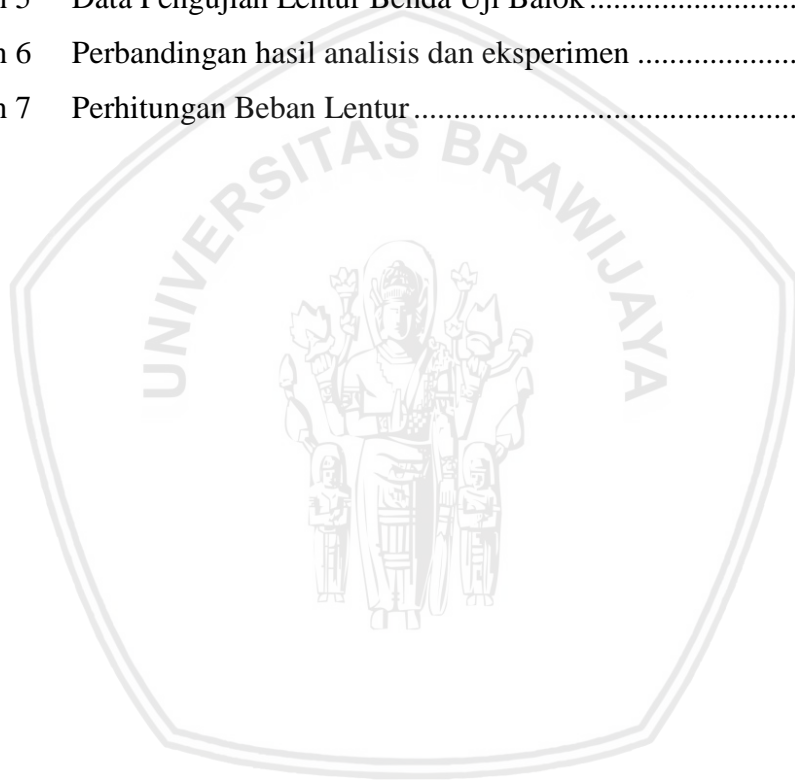
	Halaman
Gambar 2. 1 Diagram Tegangan-Regangan Beton Yang Berbentuk Silinder Dengan Beban Uniaksial	8
Gambar 2. 2 Kurva Tegangan-Regangan Silinder Beton Dengan Beban Siklik Tekan Aksial Dengan Intensitas Tinggi Yang Berulang	9
Gambar 2. 3 Diagram Tegangan-Regangan Tipikal Untuk Berbagai Mutu Baja	11
Gambar 2. 4 Balok Beton Bertulang Tipikal	15
Gambar 2. 5 Distribusi Tegangan dan Regangan pada Penampang Balok: (a) Penampang Melintang; (b) Regangan; (c) Blok Regangan Ekuivalen yang di-Asumsikan.....	15
Gambar 2. 6 Distribusi Tegangan Lentur dalam Balok Tumpuan Sederhana	17
Gambar 2. 7 Ilustrasi Bidang D dan Bidang B pada Balok Tinggi Error! Bookmark not defined. <u>1</u>	
Gambar 2. 8 Deskripsi dari Strut and Tie Models	21
Gambar 2. 9 Bidang Tekan yang Berupa Kipas, Botol, dan Perismatik Berturut-turut ...	22
Gambar 2. 10 Ilustrasi node pada Strut and Tie Model.... Error! Bookmark not defined. <u>4</u>	
Gambar 2. 11 Deformasi elemen struktur akibat pembebanan lentur	25
Gambar 2. 12 Hubungan Moment dan Curvature untuk Balok dengan Tulangan Tunggal. (a) Runtuh dibagian Tarik, $\rho < \rho_b$ (b) Runtuh dibagian Tekan $\rho > \rho_b$	26
Gambar 2. 13 Penggambaran Kurva Moment-Curvature Untuk Balok Tulangan Tunggal Yang Mengalami Runtuh Tarik	27
Gambar 2. 14 Penetapan Teori Moment-Curvature. (a) Tarik dan Tekan Baja. (b) Tekan Beton. (c) Potongan Dengan Regangan, Tegangan, dan Distribusi Gaya ...	28
Gambar 2. 15 Teori Hubungan momen-kurvatur	31
Gambar 2. 16 Tampang balok bertulangan ganda saat lentur. (a) saat leleh, (b) saat retak	32
Gambar 3. 1 Kerangka Konseptual Berpikir	36
Gambar 4. 1 Alur Pikir Pemodelan Struktur.....	41
Gambar 4. 2 Electric Hand Angle Grinder 4 Inch, Mata Grinding Yang Dipakai Dry Diamond Wheel, Dan Concrete Turbo Diamond Grinding Cup Wheel.....	44
Gambar 4. 3 Metode Grinding Langsung	45
Gambar 4. 4 Metode Cacah Terlebih Dahulu Kemudian Grinding.....	46
Gambar 4. 2 Rencana Setting Alat dan Benda Uji	47
Gambar 4. 3 Proses pemolesan	49
Gambar 4. 4 Diagram Alir Penelitian	53
Gambar 5. 1 Hammer Test Yang Digunakan Dan Diagram Konversi Bacaan Pada Alat Terhadap Kuat Tekan Beton	55
Gambar 5. 2 Panel Beton Onyx Dengan Ketebalan Grinding 2mm.....	57

Gambar 5. 3 Panel Beton Onyx Dengan Ketebalan Grinding 4mm.....	57
Gambar 5. 4 Panel Beton Normal Dengan Ketebalan Grinding 4mm	57
Gambar 5. 5 Hasil Pengujian Spesimen Panel Normal tanpa grinding	59
Gambar 5. 6 Hasil Pengujian Spesimen Panel Normal dengan grinding 4 mm.....	60
Gambar 5. 7 Hasil Pengujian Spesimen Panel Onyx Tanpa Grinding	61
Gambar 5. 8 Hasil Pengujian Spesimen Panel Onyx Dengan Grinding 2 Mm.....	62
Gambar 5. 9 Hasil Pengujian Spesimen Panel Onyx Dengan Grinding 4 mm	63
Gambar 5. 10 Kondisi Retak Pertama	65
Gambar 5. 11 Distribusi Tegangan Lentur Pada Balok Tinggi	66
Gambar 5. 12 Rekapitulasi hasil pengujian dan hasil perhitungan Pcrack.....	66
Gambar 5. 13 Analisa Momen dan Kurvatur pada Panel Onyx	68
Gambar 5. 14 Momen dan Kurvatur Pada Panel Onyx Tanpa Grinding.....	69
Gambar 5. 15 Momen dan Kurvatur Pada Panel Onyx dengan Ketebalan Grinding 2 mm	69
Gambar 5. 16 Momen dan Kurvatur Pada Panel Onyx dengan Ketebalan Grinding 4 mm	70



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Tabel Hasil Pengujian Silinder	
Lampiran 2 Perhitungan Rasio Tulangan.....	
Lampiran 3 Perhitungan P_{geser}	
Lampiran 4 Perhitungan Lendutan	
Lampiran 5 Data Pengujian Lentur Benda Uji Balok	
Lampiran 6 Perbandingan hasil analisis dan eksperimen	
Lampiran 7 Perhitungan Beban Lentur.....	



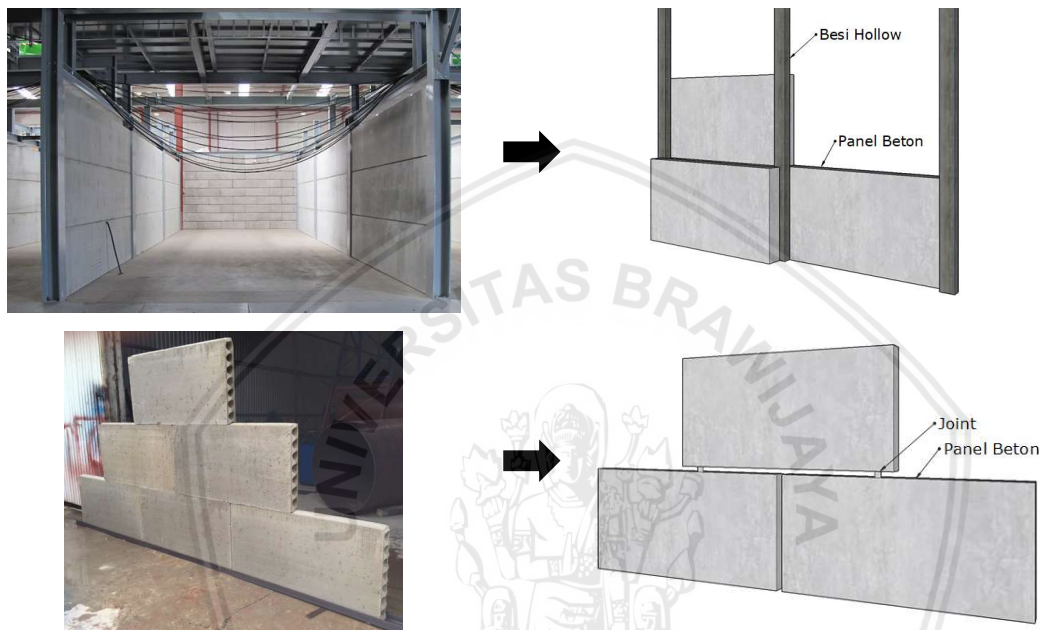
BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Beton merupakan bahan bangunan yang banyak dipilih oleh para ahli struktur. Banyaknya pemakaian beton disebabkan beton terbuat dari bahan-bahan yang mudah diperoleh, diolah, dikerjakan, dibentuk, harganya relatif murah dan memiliki kekuatan tekan tinggi. Bahan susun beton yang sering digunakan sampai saat ini adalah semen, pasir, kerikil atau batu pecah dan air. Beton yang bermutu baik mempunyai beberapa kelebihan diantaranya mempunyai kuat tekan tinggi, tahan terhadap pengkaratan atau pembusukan oleh kondisi lingkungan, tahan aus, dan tahan terhadap cuaca (panas, dingin, sinar matahari, hujan). Beton juga mempunyai beberapa kelemahan, yaitu lemah terhadap kuat tarik, mengembang dan menyusut bila terjadi perubahan suhu, sulit kedap air secara sempurna, dan bersifat getas. Saat ini beton juga sudah banyak diperbaharui baik itu mengganti bahan penyusunnya, menambahkan material lain dan melakukan perlakuan khusus untuk menambah kuat tekan beton, merubah fungsi beton, merubah sifat fisika beton, dan memperindah hasil dari beton.

Panel beton merupakan produk dari beton pracetak non-struktural yang pembuatannya secara masal, sifatnya homogen, bentuk dan kekuatan yang tipikal. Material pada pembuatan panel beton pra-cetak antara lain: air, semen, agregat halus (*finer aggregate*), agregat kasar (*coarse aggregate*), bahan tambahan lainnya (*admixture*), dan tulangan praktis sebagai pengikat beton agar tidak mudah retak atau pecah saat pengangkutan. Panel beton dapat digunakan sebagai partisi dinding rumah, gedung bertingkat, bangunan komersial, penutup dinding basement, penutup penahan tanah pada bangunan *underpass & flyover*, pagar pembatas pada jalan tol, dan lain-lain. Sifat panel beton yang non-struktural menjadikannya tidak perlu desain tulangan untuk memikul momen tarik pada panel mengingat sifatnya yang tidak diperuntukkan menahan beban luar yang besar. Hal ini dapat menjadikan panel beton dapat dimodifikasi campurannya sehingga menjadikannya sebuah beton yang indah dan dapat dijadikan sebagai beton ekspose yang memiliki nilai arsitektural tanpa melakukan pengecatan.

Pada penggunaannya saat ini, panel beton diaplikasikan dengan cara menempelkan panel ke sebuah rangka yang terbuat dari besi hollow dengan cara di skrup. Dengan begitu dibutuhkan 2 bagian panel beton untuk menutup sisi luar dan sisi dalam rangka besi. Hal ini dapat menjadikan berat sendiri bangunan bertambah. Dalam penelitian ini, peneliti mencoba menyusun panel beton onyx, berdiri sendiri tanpa rangka sehingga cukup menggunakan 1 bagian yang disusun seperti pasangan $\frac{1}{2}$ bata dengan joint titik yang kuat sebagai pengikat antara masing-masing panel.



Gambar 1.1 Aplikasi Panel Beton Sebagai Partisi

sumber: google.com & analisa sendiri

Beton yang sudah mengeras akan membentuk permukaan yang halus dan berwarna abu – abu pada sisi luarnya, hal ini dikarenakan pasta semen dan agregat halus pada campuran beton akan menutupi sisi terluar saat mengeras. Pada penelitian ini, peneliti ingin membuat beton ekspose yang menampilkan agregat kasar dari beton di permukaan beton agar panel tidak terlihat monoton berwarna abu-abu rata. Maka dipilihlah proses *grinding* pada permukaan panel beton supaya menghasilkan beton dengan bercorak agregat kasar yang tampak di permukaannya.

Agregat disebut agregat kasar apabila ukurannya sudah melebihi $\frac{1}{4}$ in (6 mm) (Nawy, 2010). Sifat agregat kasar mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya disintegrasi beton, cuaca, dan efek-efek merusak beton lainnya. Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan-bahan organik, dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan gel semen. Jenis agregat kasar pada umumnya adalah, batu pecah alami, kerikil alami, agregat kasar buatan, dan agregat khusus seperti untuk pelindung nuklir yang berbobot berat. Kerikil

merupakan agregat kasar mempunyai ukuran diameter 5 mm ~ 40 mm (Nasroni, 2010). Sebagai pengganti kerikil dapat pula dipakai batu pecah (*split*). Kerikil atau batu pecah yang mempunyai ukuran diameter lebih dari 40 mm tidak baik untuk pembuatan beton. Kerikil atau batu pecah yang digunakan sebagai bahan beton, harus memenuhi syarat bersifat padat dan keras, tidak berpori, harus bersih, tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, dan pada keadaan terpaksa dapat dipakai kerikil bulat. Sedangkan pada penelitian ini dipilih agregat kasar berupa limbah onyx.

Batu onyx marmer adalah batuan kristalin kasar yang berasal dari Batu kapur atau dolomit. Marmer yang murni berwarna putih dan terutama disusun oleh mineral kalsit. Batu onyx dipilih oleh peneliti dikarenakan mempunyai bentuk fisik yang indah dan memiliki nilai estetika. Batu onyx yang dipakai adalah batu sisa atau limbah dari proses pembuatan kerajinan batu onyx yang dibuat di desa Gamping, kecamatan Campur Darat, kabupaten Tulungagung, Jawa Timur, Indonesia. Limbah yang menumpuk begitu banyak, menjadikan ide untuk memanfaatkan limbah sebagai agregat kasar dari beton yang akan diproses menjadi beton expose yang memiliki nilai estetika. Karena beton onyx memiliki warna putih yang indah, diharapkan setelah beton mengeras dan mengalami proses *grinding* dan poles menjadikan hasil panel beton yang bagus tanpa dilakukan pengecatan.

1.2. Identifikasi Masalah

Sesuai dari latar belakang permasalahan diatas, peneliti mengidentifikasi akan timbul masalah yang diakibatkan dari proses *finishing*. Menurut hipotesa peneliti, permasalahan yang timbul adalah berkurangnya kapasitas lentur panel beton onyx yang menerima beban *in-plane*. Maka dalam penelitian ini akan membahas cara *finishing* dengan metode *grinding* panel beton, pengaruh proses *finishing* terhadap kapasitas lentur panel (*in-plane*), dan perubahan bentuk momen kurvatur panel beton onyx dari sebelum hingga sesudah proses *finishing*. Hal ini berguna untuk menunjang studi kelayakan dari panel dinding beton onyx ini sebelum diproduksi masal.

1.3. Rumusan Masalah

Adapun perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara memproses panel beton onyx menjadi panel beton onyx expose?
2. Bagaimana perubahan kapasitas lentur panel beton onyx dengan beban *in-plane* dari sebelum hingga sesudah proses *finishing*?

3. Bagaimana perubahan bentuk momen kurvatur dari panel beton onyx dari sebelum hingga sesudah proses *finishing*?

1.4. Pembatasan Masalah / Lingkup Pembahasan

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dalam penelitian ini material dan model yang digunakan sebagai panel beton onyx diterangkan di bab selanjutnya. Proses *finishing* untuk mengekspose agregat kasar dalam beton onyx adalah dengan cara *grinding* permukaan permukaan beton panel menggunakan gerinda tangan karena dimensi benda uji dan skala produksi yang kecil.
2. Dalam penelitian ini panel beton onyx hanya menggunakan tulangan praktis sebagai pengikat beton. Maka momen lentur hanya di tahan oleh kuat tarik dari beton. Analisa panel beton menggunakan balok lentur dan balok tinggi pada saat mengalami retak pertama kali.
3. Pada balok atau pelat beton bertulang normal, momen kurvatur dapat dilihat ketika pada keadaan beton mengalami retak pertama, tulangan mengalami leleh pertama, dan pada saat beton bertulang mencapai nilai ultimate. Dalam penelitian ini, benda uji yang berbentuk panel didesain hanya menggunakan tulangan praktis oleh karena itu peneliti hanya meninjau perilaku panel sampai tulangan baja mengalami leleh.

1.5. Tujuan

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan cara memproses panel beton onyx menjadi panel beton onyx ekspose yang nantinya akan menjadikan SOP untuk proses *finishing*.
2. Menganalisa perubahan kapasitas lentur panel (*in-plane*) beton onyx antara sebelum dan sesudah proses *finishing*.
3. Menganalisa perubahan bentuk momen kurvatur dari panel beton onyx dari sebelum proses *finishing* hingga selesai proses *finishing*.

1.6. Manfaat / Kegunaan

Adapun manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1.6.1. Manfaat Penelitian Secara Umum

1. Laporan hasil penelitian yang telah dilaksanakan ini diharapkan dapat digunakan sebagai kepastakaan, khususnya pada proses *grinding* dan *polishing* pada panel beton onyx.

2. Menambahkan dan memperluas informasi kepada masyarakat baik secara teoritis maupun praktik terkait penggunaan limbah batu onyx yang digunakan sebagai panel beton ekspose yang memiliki nilai estetika.

1.6.2. Manfaat Penelitian Secara Khusus

1. Memberikan informasi terkait perubahan sifat fisik dari beton yang mengalami proses *finishing* berupa *grinding* dan *polishing* untuk mendapatkan beton bernilai estetika.
2. Memberikan informasi terkait perubahan kuat lentur dari beton yang mengalami proses *finishing* berupa *grinding* dan *polishing*.





Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Dinding

Pada penelitian ini, peneliti ingin meneliti perubahan kapasitas lentur yang diberi beban *in-plane*. Hal ini dikarenakan dinding bangunan dari segi fisika bangunan mengemban beberapa fungsi atau kombinasi dari sekian fungsi berikut (Mangunwijaya, 1981):

1. Fungsi pemikul beban di atasnya
2. Fungsi penutup atau pembatas ruangan, baik visual maupun akustis
3. Menghadapi alam luar dan ruangan dalam

2.1.1. Fungsi Pemikul Beban Bangunan

Sebagai pemikul, dinding harus kuat bertahan terhadap tiga kekuatan pokok, yakni:

- a. Tekanan vertikal dari beban, baik beban diri sendiri maupun beban yang dipundakkan dari atas (beban dinding di atasnya, berat sendiri, atap, lantai loteng, balok lain, dan sebagainya)
- b. Tekanan horisontal yang datang dari berbagai hal, seperti misalnya komponen tekanan atap emperan yang menekan dari samping, dari sekur-sekur, bagian-bagian tanah pada tebing, tekanan – tekanan mekanis dari barang gedung dan lain sebagainya. Biasanya tekanan horisontal tidak besar, tetapi dapat menimbulkan daya momen yang dapat menjebolkan dinding. Sebaiknya dinding jangan sampai di beri beban horisontal, sebaiknya disalurkan ke kerangka. Atau pun dinetralisir dengan penyanggah khusus sehingga dinding bebas dari tekanan horisontal maupun momen yang mengganggu. Hal ini harus sangat diperhatikan, terutama pada dinding-dinding yang memikul beban penting dari atas.
- c. Beban vertikal sering jauh melampaui ukuran tebal atau tipis dinding, sehingga menimbulkan daya tekuk. Oleh karena itu, dinding harus dibuat cukup tebal, walaupun dari segi kemampuan pemikul beban bisa dibuat tipis. Baik dari pembebanan ke arah vertikal maupun pertimbangan bahaya tekuk, dinding dibuat tebal bagian bawah dan semakin tipis pada lantai atasnya.

- d. Bahaya tekuk biasanya diatasi dengan pemasangan pilar diantara segmen dan segmen lainnya. Susunan denah dinding juga menentukan kemampuan dinding memikul beban. Semakin banyak dinding-dinding melintang, semakin kuat susunan dinding bangunan.

Hal ini yang mendasari peneliti ingin meneliti perilaku lentur dari panel akibat beban *in-plane*. Karena panel beton onyx memiliki beban sendiri yang berat, dan panel dinding ini hanya menggunakan tulangan praktis sebagai pengikat, peneliti ingin mengetahui kapasitas lentur yang mampu ditahan ketika panel sudah mengalami proses *finishing*.

2.1.2. Fungsi Penutup atau Pembatas Ruangan

Fungsi penutup atau pembatas ruangan dapat kita lihat sehari-hari pada dinding. Pertama penutupan/pembatasan itu menyangkut penglihatan (visuil) sehingga berkat dinding manusia dapat terlindung dari pandangan orang lain yang tidak sepatutnya. Pada era modern ini, dinding tidak hanya sebagai elemen struktural yang terkesan kaku. Banyak arsitektur menjadikan dinding juga sebagai elemen hias. Elemen dinding ini bisa dibuat dari bata yang dilapisi batu alam, *conwood*, dinding panel beton, dan lain-lain. Oleh karena itu, peneliti ingin menjadikan panel beton onyx sebagai dinding dengan nilai arsitektur yang memiliki kekuatan lentur dan mampu menyokong kinerja struktur gedung.

2.1.3. Menghadapi alam luar dan ruangan dalam

Selain berfungsi sebagai pemikul beban bangunan dan penutup atau pembatas ruangan, fungsi dinding luar juga berperan sebagai berikut:

- Radiasi sinar cahaya dan sinar kalor matahari
- Radiasi sumber – sumber kalor dari dalam
- Isolasi atau penghalang kalor yang datangnya dari luar
- Pemeliharaan suhu yang diminta dalam ruangan
- Pelindung terhadap hempasan hujan dan kelembaban dari luar
- Pengatur derajat kelembaban di dalam ruangan
- Pelindung terhadap arus angin luar
- Pengaturan ventilasi di dalam ruangan

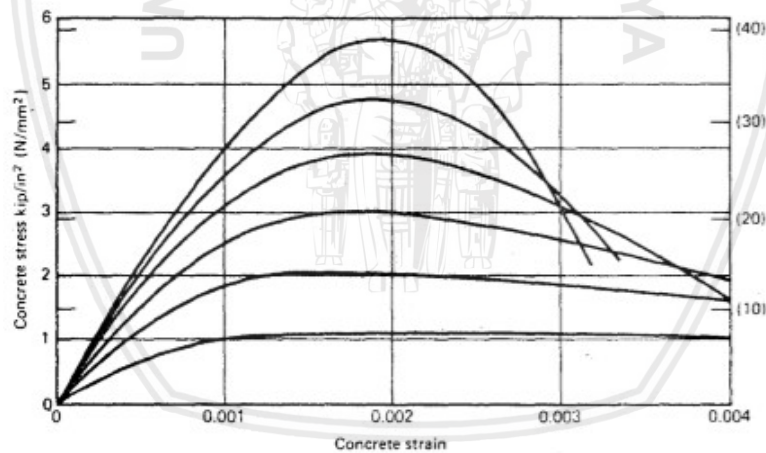
2.2. Beton Bertulang

Beton bertulang (*Reinforced Concrete* atau disingkat RC), juga disebut beton semen bertulang atau (*Reinforced cement concrete* atau disingkat RCC) adalah material komposit di mana kekuatan dan daktilitas beton yang relatif rendah diimbangi dengan dimasukkannya

tulangan yang memiliki kekuatan atau daktilitas yang lebih tinggi. Tulangan biasanya, meskipun tidak harus, berupa tulangan baja (tulangan) dan biasanya tertanam secara pasif di beton sebelum beton dipasang. Skema perkuatan umumnya dirancang untuk menahan tegangan tarik pada daerah tertentu pada beton bertulang yang dapat menyebabkan keretakan atau kegagalan struktur. Beton bertulang modern dapat mengandung beragam bahan penguat yang terbuat dari baja, polimer, atau material komposit alternatif, baik disertai tulangan maupun tidak. Beton bertulang juga dapat mengalami tekanan permanen (beton dalam kompresi, tulangan dalam tegangan), sehingga dapat meningkatkan sifat-sifat struktur bangunan ketika dikenai beban. (wikipedia, 2019)

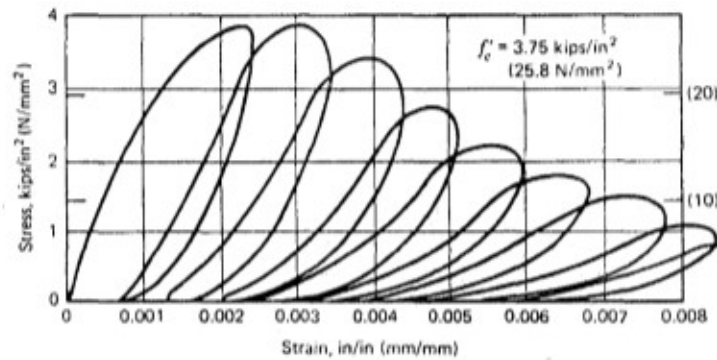
2.2.1. Beton

Campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (admixture) (SNI, 2013). Penyusun material beton itu sendiri terdiri dari semen, agregat (halus dan kasar), air, dan zat tambahan. Masing- masing dari material penyusun beton tersebut, memiliki syarat atau ketentuan-ketentuan untuk dijadikan material penyusun.



Gambar 2.1 Diagram Tegangan-Regangan Beton Yang Berbentuk Silinder Dengan Beban Uniaksial

sumber: (Park & Paulay, 1975)



Gambar 2.2 Kurva Tegangan-Regangan Silinder Beton Dengan Beban Siklik Tekan Aksial Dengan Intensitas Tinggi Yang Berulang

Sumber : (Park & Paulay, 1975)

2.2.1.1. Kuat Tekan Beton

Menghitung kuat tekan benda uji dengan membagi beban maksimum yang diterima oleh benda uji selama pengujian dengan luas penampang melintang rata yang ditentukan sebagai mana yang di uraikan pada (SNI, SNI 1974, 2011) di Pasal 7 dan menyatakan hasilnya dengan dibulatkan ke 1 (satu) desimal dengan satuan 0,1 MPa.

$$\text{Kuat Tekan Beton} = \frac{P}{A} \qquad \text{Pers. 2.1}$$

Dimana:

- Kuat Tekan Beton* = kuat tekan beton (Mpa atau N/ mm²)
- P* = besarnya beban maksimum yang ditahan silinder, (N)
- A* = Luas penampang permukaan silinder, (mm²)

Pengujian kuat tekan silinder beton dilakukan sekitar 5 minggu setelah pembuatan benda uji atau sudah melebihi 28 hari. Menurut PBI – 1971 rasio kuat tekan beton terhadap umur beton adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Rasio Kuat Tekan Beton Terhadap Umur Beton

Umur (hari)	Rasio Kuat Tekan
3	0,40
7	0,65
14	0,88
21	0,85
28	1,00
90	1,20
365	1,35

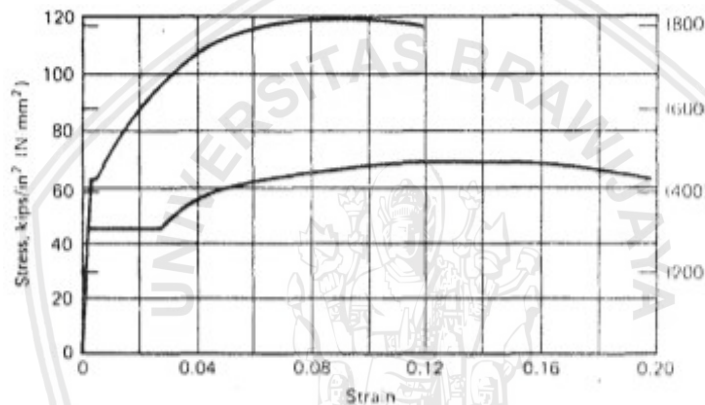
Sumber PBI – 1971

2.2.2. Baja Tulangan

Baja tulangan untuk beton yang terdiri dari batang, kawat, dan jaring kawat baja las yang seluruhnya dirakt dengan standart ASTM (Nawy, 2010). Sifat – sifat penting yang perlu diketahui dari material baja tulangan adalah :

1. Modulus elastisitas (E_s)
2. Tegangan luluh (f_y)
3. Tegangan ultimate (f_u)
4. Ukuran atau diameter baja tulangan

Secara umum hampir di semua material baja, memiliki perilaku *elastoplastic* dan memiliki modulus elastisitas rata-rata 200.000 MPa. Untuk sifat mekanik dari material baja memiliki karakteristik yang berbeda-beda sesuai dengan standart mutu pabrik. Berikut ini adalah kurva hubungan tegangan-regangan dari material baja, jika ditinjau dari perbedaan mutu menurut (Park & Paulay, 1975).



Gambar 2.3 Diagram Tegangan-Regangan Tipikal Untuk Berbagai Mutu Baja
 Sumber : (Park & Paulay, 1975)

2.2.2.1. Kuat Tarik Baja

Sifat dari baja yang penting untuk diketahui adalah tegangan leleh, tegangan maksimum dan modulus elastisitas baja. Tegangan leleh (f_y) dan modulus elastisitas baja (E_s) akan digunakan untuk perhitungan perencanaan beton bertulang. Nilai modulus elastisitas baja tulangan ditetapkan berdasarkan ketentuan SNI-2847-2013 sebesar 200.000 Mpa. Perhitungan tegangan leleh dari baja adalah sebagai berikut :

$$f_y = \frac{P_y}{A_s}$$

Pers 2.3

Keterangan:

- f_y = tegangan leleh tulangan baja (MPa)
- P_y = beban pada saat baja meleleh (N)
- A_s = luas penampang dari tulangan (mm^2)

2.3. Beton Precast

Konstruksi beton pracetak telah mengalami perkembangan yang sangat pesat di dunia, termasuk di Indonesia dalam dekade terakhir ini, karena sistem ini mempunyai banyak keunggulan dibanding sistem konvensional. Sistem Pracetak telah terbukti dapat mendukung pembangunan yang berkualitas, cepat dan ekonomis. Sistem beton pracetak adalah metode konstruksi yang mampu menjawab kebutuhan di era millennium baru ini. Pada dasarnya sistem ini melakukan pengecoran komponen di tempat khusus di permukaan tanah (fabrikasi), lalu dibawa ke lokasi (transportasi) untuk disusun menjadi suatu struktur utuh (ereksi). Keunggulan sistem ini, antara lain mutu yang terjamin, produksi cepat dan massal, pembangunan yang cepat, ramah lingkungan dan rapi dengan kualitas produk yang baik. Perbandingan kualitatif antara struktur kayu, baja serta beton konvensional dan pracetak dapat dilihat pada tabel :

Aspek	Kayu	Baja	Beton Konvensional	Beton Pracetak
Pengadaan	Semakin terbatas	Utamanya impor	Mudah	Mudah
Permintaan	Banyak	Banyak	Paling banyak	Cukup
Pelaksanaan	Sukar, kotor	Cepat, bersih	Lama, kotor	Cepat, bersih
Pemeliharaan	Biaya Tinggi	Biaya tinggi	Biaya sedang	Biaya sedang
Kualitas	Tergantung spesies	Tinggi	Sedang-tinggi	Tinggi
Harga	Semakin mahal	Mahal	Lebih murah	Lebih murah
Tenaga kerja	Banyak	Banyak	Banyak	Banyak
Lingkungan	Tidak ramah	Ramah	Kurang ramah	Ramah
Standar	Ada	Ada	Ada	Ada

Sistem pracetak telah banyak diaplikasikan di Indonesia, baik yang sistem dikembangkan di dalam negeri maupun yang didatangkan dari luar negeri. Biasanya sistem pracetak yang berbentuk komponen, seperti tiang pancang, balok jembatan, kolom plat lantai.

Struktur elemen pracetak memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan struktur konvensional, antara lain :

1. Penyederhanaan pelaksanaan konstruksi.
2. Waktu pelaksanaan yang cepat.
3. Waktu pelaksanaan struktur merupakan pertimbangan utama dalam pembangunan suatu proyek karena sangat erat kaitannya dengan biaya proyek. Struktur elemen pracetak dapat dilaksanakan di pabrik bersamaan dengan pelaksanaan pondasi di lapangan.
4. Penggunaan material yang optimum serta mutu bahan yang baik.

5. Salah satu alasan mengapa struktur elemen pracetak sangat ekonomis dibandingkan dengan struktur yang dilaksanakan di tempat (cast in-situ) adalah penggunaan cetakan beton yang tidak banyak variasi dan biasa digunakan berulang-ulang, mutu material yang dihasilkan pada umumnya sangat baik karena dilaksanakan dengan standar-standar yang baku, pengawasan dengan sistem komputer yang teliti dan ketat.
6. Penyelesaian finishing mudah.
7. Variasi untuk permukaan finishing pada struktur elemen pracetak dapat dengan mudah dilaksanakan bersamaan dengan pembuatan elemen tersebut di pabrik, seperti: warna dan model permukaan yang dapat dibentuk sesuai dengan rancangan.
8. Tidak dibutuhkan lahan proyek yang luas, mengurangi kebisingan, lebih bersih dan ramah lingkungan.
9. Dengan sistem elemen pracetak, selain cepat dalam segi pelaksanaan, juga tidak membutuhkan lahan proyek yang terlalu luas serta lahan proyek lebih bersih karena pelaksanaan elemen pracetaknya dapat dilakukan dipabrik.
10. Perencanaan berikut pengujian di pabrik.
11. Elemen pracetak yang dihasilkan selalu melalui pengujian laboratorium di pabrik untuk mendapatkan struktur yang memenuhi persyaratan, baik dari segi kekuatan maupun dari segi efisiensi.
12. Sertifikasi untuk mendapatkan pengakuan Internasional. Apabila hasil produksi dari elemen pracetak memenuhi standarisasi yang telah ditetapkan, maka dapat diajukan untuk mendapatkan sertifikasi ISO 9002 yang diakui secara internasional.
13. Secara garis besar mengurangi biaya karena pengurangan pemakaian alat-alat penunjang, seperti : scaffolding dan lain-lain.
14. Kebutuhan jumlah tenaga kerja dapat disesuaikan dengan kebutuhan produksi.

Namun demikian, selain memiliki keuntungan, struktur elemen pracetak juga memiliki beberapa keterbatasan, antara lain :

1. Tidak ekonomis bagi produksi tipe elemen yang jumlahnya sedikit.
2. Perlu ketelitian yang tinggi agar tidak terjadi deviasi yang besar antara elemen yang satu dengan elemen yang lain, sehingga tidak menyulitkan dalam pemasangan di lapangan.
3. Panjang dan bentuk elemen pracetak yang terbatas, sesuai dengan kapasitas alat angkat dan alat angkut.

4. Jarak maksimum transportasi yang ekonomis dengan menggunakan truk adalah antara 150 sampai 350 km, tetapi ini juga tergantung dari tipe produknya. Sedangkan untuk angkutan laut, jarak maksimum transportasi dapat sampai di atas 1000 km.
5. Hanya dapat dilaksanakan didaerah yang sudah tersedia peralatan untuk handling dan erection.
6. Di Indonesia yang kondisi alamnya sering timbul gempa dengan kekuatan besar, konstruksi beton pracetak cukup berbahaya terutama pada daerah sambungannya, sehingga masalah sambungan merupakan persoalan yang utama yang dihadapi pada perencanaan beton pracetak.
7. Diperlukan ruang yang cukup untuk pekerja dalam mengerjakan sambungan pada beton pracetak.
8. Memerlukan lahan yang besar untuk pabrikasi dan penimbunan (stock yard)

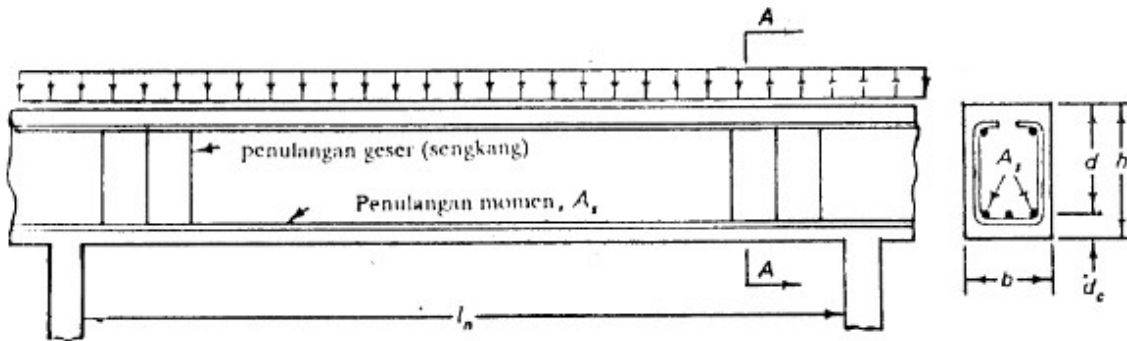
2.4. Balok Beton Bertulang

Beban yang bekerja pada struktur, baik berupa beban gravitasi (berarah vertikal) maupun beban lain seperti beban angin (dapat berarah horizontal) atau juga beban karena susut dan beban karena temperatur menyebabkan adanya lentur dan perubahan deformasi pada elemen struktur. Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena adanya beban luar (Nawy, 2010).

Apabila beban bertambah, maka akan terjadi deformasi dan regangan yang mengakibatkan timbulnya (atau bertambahnya) retak lentur disepanjang balok. Bila beban semakin bertambah, maka akan mengalami keruntuhan struktur, yaitu pada saat beban luar mencapai kapasitas ultimate atau yang disebut keadaan limit dari keruntuhan pada lentur. Karena itulah perencana harus mendesain penampang balok sedemikian rupa, supaya memiliki keamanan dan memiliki kekuatan cadangan untuk menahan beban ketika retak terjadi tanpa mengalami keruntuhan guna menyelamatkan nyawa yang ada didalamnya.

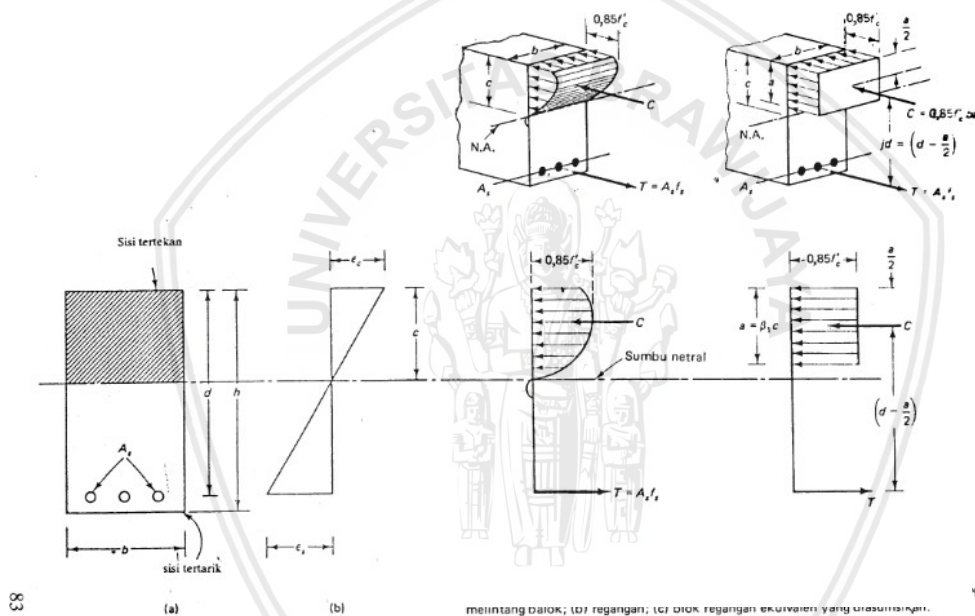
Jika suatu balok terbuat dari suatu bahan yang elastis linier, isotropis dan homogen, maka tegangan lentur maksimum dapat diperoleh dari rumus lentur balok yang terkenal, yaitu $f = Mc/I$. Pada keadaan batas, balok beton bertulang bukanlah material yang seperti disebutkan, sehingga rumus tersebut tidak bisa digunakan sepenuhnya. Akan tetapi, prinsip dasar dari teori lentur masih dapat digunakan pada analisis penampang melintang balok beton bertulang. Gambar 2.4 menunjukkan balok beton bertulang yang ditumpu dengan 2 tumpuan sederhana. Sedangkan gambar menggambarkan ketika beton dan baja yang ada di

balok beton bertulang bekerja simultan sampai kapasitas runtuhnya yang digambarkan bersama dengan diagram tegangan dan regangan.



Gambar 2.4 Balok Beton Bertulang Tipikal

Sumber : (Nawy, 2010)



Gambar 2.5 Distribusi Tegangan dan Regangan pada Penampang Balok: (a) Penampang Melintang; (b) Regangan; (c) Blok Regangan Ekuivalen yang diasumsikan

Sumber : (Nawy, 2010)

2.4.1. Balok Lentur

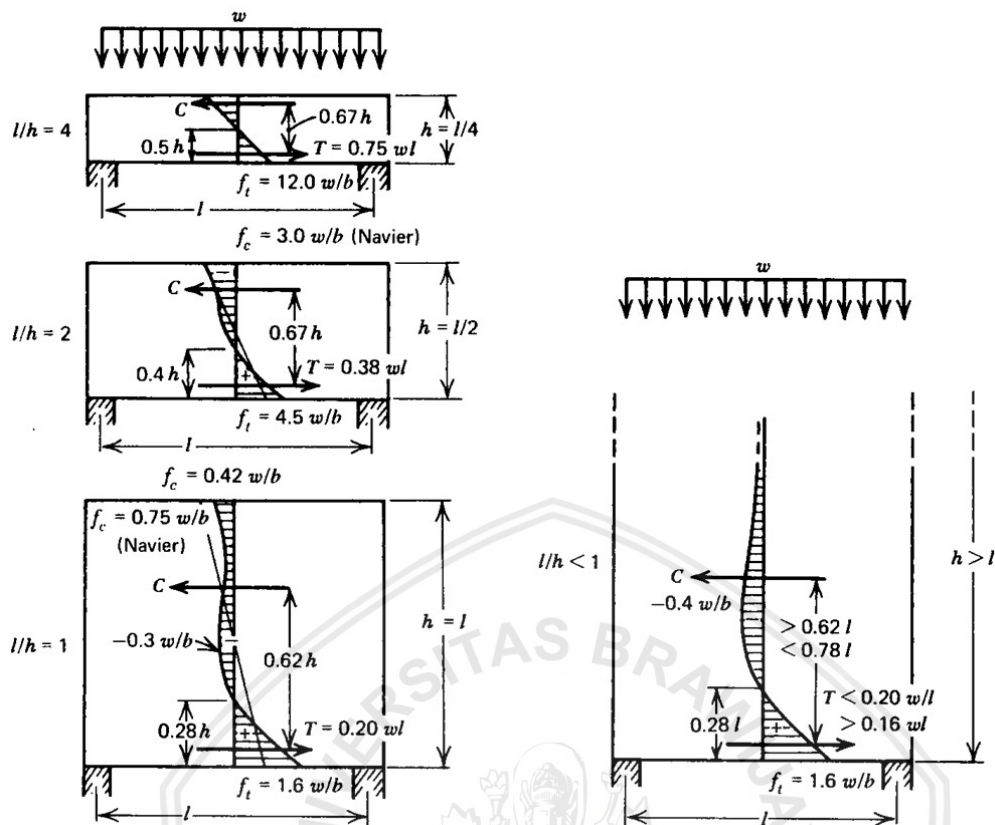
Indonesia memiliki peraturan yang menjadi dasar ketentuan dalam merencanakan balok bertulang akibat beban lentur dan aksial maupun kombinasi dari keduanya. Untuk memenuhi ketentuan perencanaan beton bertulang beban lentur dan aksial maupun kombinasi harus sesuai dengan pasal berikut ini (SNI, SNI 2847, 2013):

1. Regangan pada tulangan dan beton harus diasumsikan berbanding lurus dengan jarak dari sumbu netral.

2. Regangan maksimum yang dapat dimanfaatkan pada serat tekan beton terluar harus diasumsikan sama dengan 0,003.
3. Tegangan pada tulangan yang nilainya lebih kecil daripada kekuatan leleh f_y harus diambil sebesar E_s dikalikan regangan baja ($f_y = E_s \cdot \epsilon_s$). Untuk regangan yang nilainya lebih besar dari regangan leleh yang berhubungan dengan f_y , tegangan pada tulangan harus diambil sama dengan f_y .
4. Dalam perhitungan aksial dan lentur beton bertulang, kekuatan tarik beton harus diabaikan.
5. Hubungan antara distribusi tegangan tekan beton dan regangan beton boleh diasumsikan berbentuk persegi, trapesium, parabola, atau bentuk lainnya yang menghasilkan perkiraan kekuatan yang cukup baik bila dibandingkan dengan hasil pengujian tekan.
6. Diagram distribusi tegangan tekan beton yang berbentuk parabola dapat diasumsikan menjadi persegi panjang dimana tegangan beton $0,85 \cdot f_c'$ terdistribusi merata setinggi $a = \beta_1 \cdot c$ dimana c adalah jarak serat tekan terluar terhadap garis netral. Untuk f_c' antara 17 dan 28 MPa, β_1 harus diambil sebesar 0,85. Untuk f_c' diatas 28 MPa, β_1 harus direduksi sebesar 0,05 untuk setiap kelebihan kekuatan sebesar 7 MPa di atas 28 MPa, tetapi β_1 tidak boleh diambil kurang dari 0,65.

2.4.2. Balok Tinggi

Distribusi tegangan lentur horizontal pada bagian tengah dari balok yang ditumpu secara homogen dengan rasio bentang dan tinggi yang berbeda dan menjadi beban yang terdistribusi secara merata. Teori lentur memprediksi, untuk balok dengan rasio bentang dan tinggi = satu, tegangan tarik pada serat dasar sama dengan $0,75 w / b$, di mana w adalah besarnya beban yang didistribusikan dan b adalah lebar balok. Seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 2. 6**, intensitas tegangan tarik aktual pada serat dasar untuk balok rasio bentang dan tinggi yang kecil adalah $1,6 w / b$, dimana lebih dari dua kali intensitas yang diprediksi oleh teori lentur.



Gambar 2.6 Distribusi Tegangan Lentur dalam Balok Tumpuan Sederhana
 Sumber : Leonhardt and Walther (1966) dan Park and Paulay (1975)

2.4.2.1. Pengertian Balok Tinggi

Balok tinggi adalah komponen struktur yang dibebani pada salah satu mukanya dan ditumpu pada muka yang berlawanan sehingga strat tekan dapat membentuk di antara beban dan tumpuan, dan mempunyai salah satu antara (SNI 2847, 2013):

1. bentang bersih, l_n , sama dengan atau kurang dari empat kali tinggi komponen struktur keseluruhan h ; atau
2. daerah dengan beban terpusat dalam jarak $2h$ dari muka tumpuan.

Balok tinggi harus didesain dengan memperhitungkan salah satu antara distribusi regangan nonlinier. Ringkasan yang ditemukan dalam literatur lain disajikan dalam Tabel 2.4. Dalam sebaian besar literatur, balok tinggi di definisikan dengan cara membandingkan rasio antara bentang dan tinggi dari balok. Beberapa peraturan memberikan definisi rasio bentang bebas dan tinggi keseluruhan sementara yang lain menggunakan bentang efektif dan tinggi efektif.

Tabel 2. 4. Definisi Balok Tinggi diberbagai Peraturan

ACI 318	Rasio bentang bersih dan tinggi total $< 2,5$ (bentang menerus) atau $< 1,25$ (bentang sederhana) untuk bentang yang tak didefinisikan; diasumsikan jarak antara tumpuan, ℓ_n tinggi total tak didefinisikan; diasumsikan tinggi total, h
BS 8110	Rasio bentang dan tinggi $< 1,5$ bentang tak didefinisikan; asumsikan sebagai bentang efektif, dimana jarak terkecil antara as tumpuan, ℓ_c , atau jarak bebas, ℓ_n , tambah dengan tinggi efektif, d
CEB-FIP Model Code (1993)	Rasio bentang dan tinggi < 2.5 untuk bentang menerus atau < 2 untuk bentang sederhana. Bentang lebih kecil antara garis as dari tumpuan, ℓ_c , atau 1.15 kali jarak bersih antara tumpuan ℓ_n Tinggi tak terdefinisi; diasumsikan tinggi total sebagai h
CSA-A23.3-2004	Rasio bentang dan tinggi < 2.5 untuk bentang menerus atau < 2 untuk bentang sederhana Bentang tak terdefinisi; diasumsikan sebagai jarak antara as dari tumpuan, ℓ_c Tinggi tak terdefinisi; diasumsikan tinggi total sebagai h
NZS-3101-2006	Rasio bentang bersih dan tinggi total < 2.5 (untuk bentang menerus) atau < 1.25 (bentang sederhana) bentang bersih adalah jarak horizontal bersih antara 2 tumpuan efektif; Diasumsikan rata-rata jarak antara permukaan tumpuan, ℓ_n Tinggi total tak terdefinisi; diasumsikan tinggi total sebagai h

sumber: berbagai peraturan

2.4.3. Metode Desain Balok Tinggi

Pengakuan atas sebuah balok tinggi berperilaku berbeda dari balok ramping telah menyebabkan banyak negara memasukkan ketentuan desain untuk elemen ini ke dalam standart desain mereka. Ketentuan ini biasanya didasarkan pada mode sederhana dari perilaku aktual. Ringkasan metode dari berbagai peraturan atau standar disajikan pada **Tabel**

2. 5. Metode Desain untuk Balok Tinggi.

Sedangkan pada (SNI, 2013) Balok tinggi harus didesain dengan salah satu antara memperhitungkan distribusi regangan nonlinier atau *strut and tie model*. Dalam semua kasus, Tulangan terdistribusi total sepanjang dua muka sisi balok tinggi tidak boleh kurang dari Luas tulangan geser yang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal balok, A_v , tidak boleh kurang dari $0,0025b_ws$, dan s tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari $d/5$ dan 300 mm dan luas tulangan geser yang paralel terhadap sumbu longitudinal balok, A_{vh} , tidak boleh kurang dari $0,0025b_ws_2$, dan s_2 tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari $d/5$ dan 300 mm.

Tabel 2. 5. Metode Desain untuk Balok Tinggi

ACI 318	Tidak ada ketentuan
BS 8110	Ketentuan didasarkan pada rekomendasi CEB kecuali bahwa lengan tuas sama dengan 2/3 dari tinggi dengan nilai maksimum 0,7 kali rentang.
CEB-FIP Model Code (1993)	Balok dengan tumpuan sederhana $z = 0.2(L + 2h) \text{ when } 1 \leq \frac{L}{h} \leq 2$ $z = 0.6L \text{ when } \frac{L}{h} < 1$
	Balok Tinggi Menerus $z = 0.2(L + 1.5h) \text{ when } 1 \leq \frac{L}{h} \leq 2.5$ $z = 0.5L \text{ when } \frac{L}{h} < 1$
Di mana z adalah lengan tuas; L adalah jarak pusat-ke-pusat antara tumpuan atau 1,15 kali bentang bebas, mana yang lebih kecil; dan h adalah tinggi total.	
CSA-A23.3-2004	Desain harus mempertimbangkan distribusi regangan nonlinier, tekuk lateral, dan peningkatan persyaratan penjangkaran untuk tulangan. Sebagai alternatif, tinggi efektif dapat diambil sebagai 0,67 dari tinggi, tetapi tidak lebih besar dari 0,35 kali bentang atau 0,7 kali panjang kantilever.
NZS-3101-2006	Desain harus memperhitungkan distribusi regangan dan tekuk lateral yang non-linier.

sumber: berbagai peraturan

2.4.4. Strut and Tie Method

Balok tinggi merupakan balok dengan rasio bentang terhadap tingginya < 2.5 untuk balok yang dibebani. Seluruh penampang pada balok masuk dalam kategori segmen Diskontinu. Perencanaan menggunakan metode konvensional umumnya menganggap keseluruhan balok masuk dalam kategori segmen Bernoulli. Ini berarti balok tinggi kurang tepat bila direncanakan dengan metode konvensional yang mengasumsikan penampang balok sebagai segmen Bernoulli. Dalam dunia konstruksi, komponen seperti transfer girder dan dinding geser pada gedung bertingkat, serta topi pancang (*pile cap*) pada pondasi, adalah beberapa contoh dari komponen struktur yang didesain sebagai balok tinggi. Permodelan *Strut and Tie* diterapkan pada pendesainan beton dengan kategori daerah D, yaitu daerah dimana distribusi tegangannya tidak linear. Karena balok tinggi diklasifikasikan sebagai elemen struktur yang mengalami diskontinu tegangan (tegangan non linear) yang menyebabkan elemen ini masuk dalam kategori segmen diskontinu, maka perencanaan dengan Metode *Strut and Tie* sangat efektif untuk diterapkan. Sehingga dalam dunia konstruksi, komponen seperti transfer girder, dinding geser dan topi pancang (*pile cap*) metode *Strut and Tie* sangat cocok dipakai dalam pendesainan.

2.4.4.1. Distribusi Tegangan Elastis

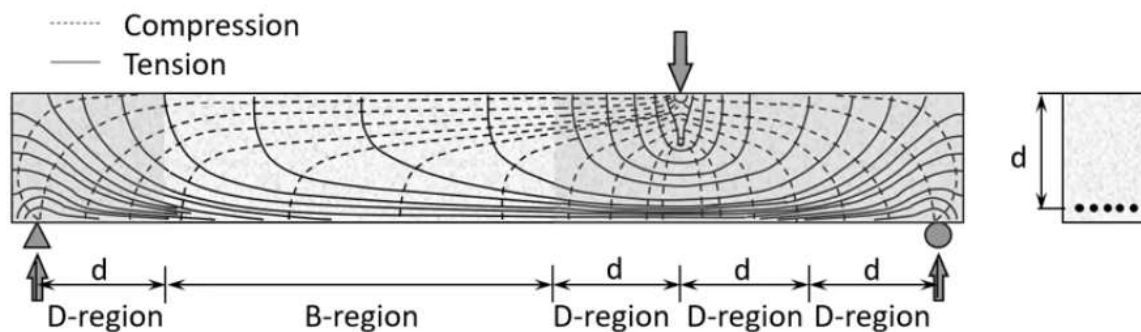
Pada perancangan penampang balok pada umumnya didasarkan pada distribusi tegangan linear menurut hipotesa Bernoulli, yaitu dimana penampang dianggap rata dan tegak lurus garis netral sebelum dan sesudah lentur. Dari uraian tersebut maka Schlaich et al menyimpulkan bahwa struktur dapat dibagi dalam dua daerah yaitu daerah dimana hipotesa Bernoulli berlaku yang dinamakan daerah B (Beam atau Bernoulli) dan daerah dimana terjadi distribusi regangan non linear yang diakibatkan oleh diskontinuitas geometri, statika atau oleh keduanya, dan daerah ini dinamakan daerah D (Discontinuity atau Disturbance) dimana hipotesa Bernoulli tidak berlaku. (Schlaich, Schafer, & Jennewein, 1987)

Suatu benda elastis yang dibebani sebelum retak akan menghasilkan medan tekan (compression field) dan medan tarik (tension field) (Hardjasaputra & Tumilar, 2002) dalam (Partogi, 2017). Garis trajektori utama adalah garis tempat kedudukan titik-titik dari suatu tegangan utama (principal stress) yang memiliki nilai yang sama yang terdiri dari garis trajektori tekan dan trajektori tarik. Garis-garis trajektori menunjukkan arah dari tegangan utama pada setiap titik yang ditinjau. Jadi trajektori tegangan merupakan suatu kumpulan garis-garis kedudukan dari titik-titik yang mempunyai tegangan utama dengan nilai tertentu.

Perancangan model struktur berdasarkan medan tegangan utama didasarkan pada teori plastisitas. Namun beton bukan merupakan bahan yang elastis linear sempurna dan homogeni karena struktur beton terdiri dari beton dan baja tulangan. Pada keadaan retak terjadi redistribusi tegangan dimana tegangan induk tarik pada beton bervariasi dari nol pada lokasi retak dan mencapai nilai maksimum pada lokasi antar retakan setinggi pada struktur beton akan mengalami perubahan kekakuan struktur. Namun dalam penggunaannya, masih banyak berorientasi pada distribusi dan trajektori tegangan utama karena dianggap lebih praktis dan cukup konservatif disamping perangkat lunak komputer untuk struktur beton yang nonlinear masih sangat terbatas untuk penggunaan praktis.

2.4.4.2. Daerah B dan D

Daerah B adalah bagian komponen struktur dimana asumsi penampang bidang dari teori lentur (regangan pada tulangan dan beton harus diasumsikan berbanding lurus dengan jarak dari sumbu netral) dapat diterapkan. Daerah D adalah bagian komponen struktur dalam jarak, h , dari diskontinuitas gaya atau diskontinuitas geometri (SNI 2847,2013)

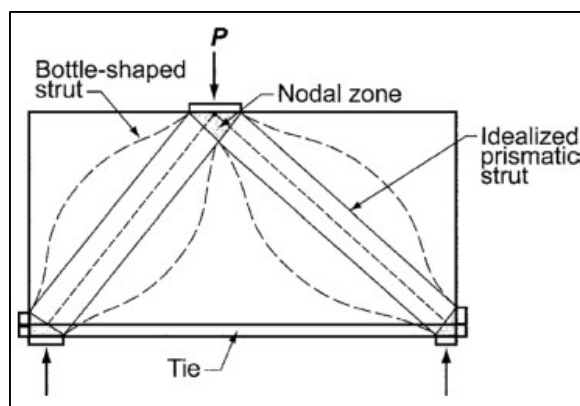


Gambar 2. 7 Ilustrasi Bidang D dan Bidang B pada Balok Tinggi

Sumber : (Schlaich, Schafer, & Jennewein, 1987)

(Schlaich, Schafer, & Jennewein, 1987) telah membangun suatu dasar filosofi perancangan yang konsisten pada struktur yang terdiri dari daerah D dan daerah B, yaitu perancangan dengan *Strut* dan *Tie* Model. Dengan demikian keseluruhan struktur dapat dirancang dengan *Strut* and *Tie* Model. Tetapi dalam praktek, *Strut* and *Tie* Model lebih banyak dipakai pada daerah D, sedangkan pada daerah B lebih dikhususkan pada perancangan terhadap pengaruh geser dan torsi. Penerapan *Strut* dan *Tie* dalam perancangan struktur diawali dengan penentuan daerah D dan B.

Pemodelan *Strut* and *Tie* adalah suatu engineering model yang mendasarkan pada asumsi bahwa aliran gaya-gaya dalam struktur beton dan terutama pada daerah yang mengalami distorsi dapat didekati sebagai suatu rangka batang yang terdiri dari *Strut* (batang tekan atau penunjang) dan *Tie* (batang tarik atau pengikat). Dapat disimpulkan bahwa *Strut* and *Tie* merupakan resultan dari medan tegangan (stress field), dimana pada *Strut* yang bekerja adalah betonnya, sedangkan *Tie* yang bekerja adalah tulangan baja terpasang. Dengan demikian suatu sistem struktur beton dapat dinyatakan sebagai suatu sistem rangka batang yang terdiri dari batang-batang tekan dan batang-batang tarik, yang dikenal dengan *Strut* and *Tie* Model

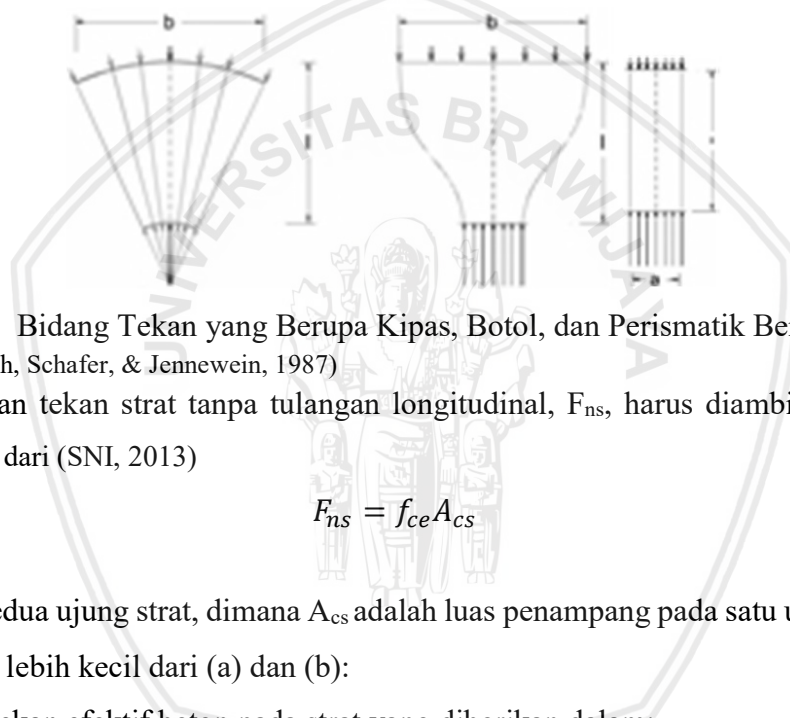


Gambar 2. 8 Deskripsi dari *Strut* and *Tie* Models

Sumber : (ACI, 2011)

2.4.4.3. Batang Tekan – *Strut*

Penyaluran gaya tekan dipengaruhi oleh beton yang dibebani, oleh karena itu dimensi Strut dan kuat tekan beton merupakan unsur yang sangat penting dalam menganalisa Strut yang bersangkutan. Kolom yang dibebani beban normal adalah sebagai suatu contoh batang tekan yang sederhana dimana tegangan tekan dapat terdistribusi merata hampir ke seluruh penampang kolom (Hadjasaputra dan Tumilar, 2002) dalam (Partogi, 2017). Elemen Strut dalam Strut and Tie Model merupakan idealisasi dari medan tegangan tekan beton dimana arah dari Strut searah dengan tegangan tekan beton. Strut dapat dimodelkan dalam bentuk prisma, botol, dan kipas (Schlaich, Schafer, & Jennewein, 1987) (ACI, 2011) dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.9 Bidang Tekan yang Berupa Kipas, Botol, dan Perismatik Berturut-turut
 Sumber : (Schlaich, Schafer, & Jennewein, 1987)

Kekuatan tekan strut tanpa tulangan longitudinal, F_{ns} , harus diambil sebagai nilai yang lebih kecil dari (SNI, 2013)

$$F_{ns} = f_{ce} A_{cs} \tag{Pers. 2.4}$$

pada kedua ujung strut, dimana A_{cs} adalah luas penampang pada satu ujung strut, dan f_{ce} adalah yang lebih kecil dari (a) dan (b):

a) kekuatan tekan efektif beton pada strut yang diberikan dalam:

$$F_{ce} = 0.85 \beta_s f'_c \tag{Pers. 2.5}$$

Dimana:

- untuk strut dengan luas penampang seragam pada seluruh panjangnya... $\beta_s = 1,0$
 - untuk strut yang terletak sedemikian hingga lebar tengah penampang strut lebih besar dari lebarnya di titik hubung (nodes) (strut berbentuk botol)
 - Dengan tulangan..... $\beta_s = 0,75$
 - Tanpa tulangan..... $\beta_s = 0,60$
 - untuk strut pada komponen struktur tarik, atau sayap (flanges) tarik komponen struktur..... $\beta_s = 0,40$
 - untuk semua kasus lainnya..... $\beta_s = 0,60$
- b) kekuatan tekan efektif beton pada daerah titik hubung (nodal) yang diberikan dalam

$$F_{ce} = 0.85 \beta_n f'_c$$

Pers. 2. 6

Dimana:

- Pada daerah titik hubung (*nodal*) yang dibatasi oleh strat atau luas tumpuan, atau keduanya..... $\beta_s = 1,0$
- Pada daerah titik hubung (*nodal*) yang mengangkur satu pengikat..... $\beta_s = 0,80$
- Pada daerah titik hubung (*nodal*) yang mengangkur dua atau lebih pengikat..... $\beta_s = 0,60$

2.4.4.4. Batang Tarik – Tie

Pada beton struktur batang Tarik dapat berupa satu atau kumpulan baja tulangan biasa atau dapat juga berupa satu atau kumpulan tendon prategang yang dijangkar dengan baik. Selanjutnya bila diasumsikan tulangan akan mengalami pelelehan pada keadaan batas (*ultimate limit state*), maka gaya tarik maksimum pada batang tarik tersebut dinyatakan sebagai berikut (SNI, 2013):

$$F_{nt} = A_{ts}f_y + A_{tp}(f_{se} + \Delta f_p)$$

Pers. 2. 7

dimana $(f_{se} + \Delta f_p)$ tidak boleh melebihi f_{py} dan A_{tp} adalah nol untuk komponen struktur bukan prategang. diizinkan untuk mengambil Δf_p sama dengan 420 MPa untuk tulangan prategang dengan lekatan, atau 70 MPa untuk tulangan prategang tanpa lekatan. Nilai Δf_p lainnya diizinkan bilamana dibenarkan oleh analisis

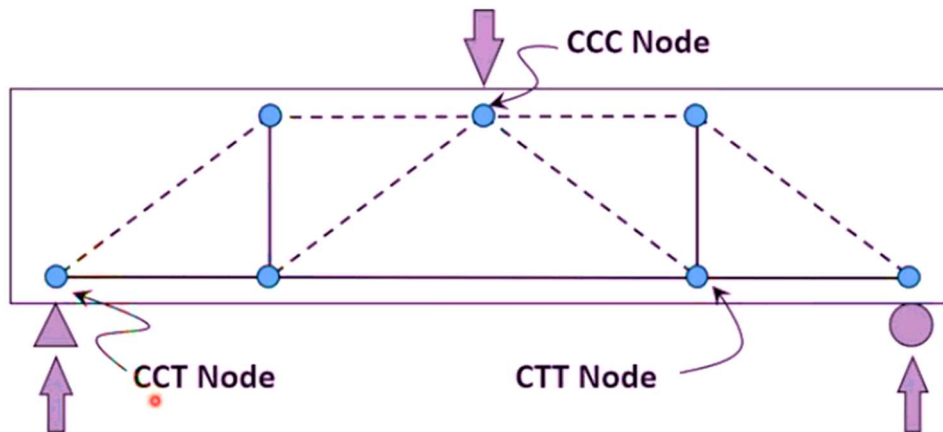
2.4.4.5. Node (Titik simpul)

Titik simpul/*node* merupakan titik tangkap dari Strut and Tie dengan berbagai kombinasi. Titik-titik ini diidealisasikan sebagai sendi. Beton yang berada pada titik pertemuan dan sekelilingnya disebut *nodal zone*. Titik simpul/*node* secara umum dapat dibagi dalam empat jenis sambungan pertemuan, yaitu CCC-node, CCT-node, CTT- node dan TTT-node.

1. CCC-node "hydrostatic element" dimana node element menyalurkan gaya C1 dari pelat jangkar dan gaya C2 dari pelat landasan (bearing plate) ke medan tekan C3 yang berbentuk botol.
2. CCT-node, dimana Strut diagonal dan reaksi vertikal perletakan diimbangi oleh batang tarik berupa tulangan yang dijangkarkan ke tepi luar melalui pelat jangkar.
3. CTT-node dimana Strut ditumpu oleh lekatan kedua tulangan dan oleh tegangan radial dari tulangan yang dibengkokkan.



4. TTT-node, dimana gaya yang terjadi pada nodal adalah gaya tarik.



Gambar 2.10 Ilustrasi node pada Strut and Tie Model

Sumber : <https://www.youtube.com/watch?v=69uzSWatNek>

2.5. Hubungan Momen dan Kurvatur

Hubungan antara momen dan kurvatur untuk penampang beton bertulang dengan beban lentur dan beban aksial dapat diturunkan berdasarkan asumsi yang sama dengan yang digunakan untuk penentuan kekuatan lentur. Diasumsikan bahwa potongan bidang sebelum tekuk tetap dan bidang mengalami lengkungan setelah tekuk.

Adapun jari-jari kurvatur R , tinggi sumbu netral kd , regangan beton pada serat tekan terluar (paling besar) ε_c dan tegangan-regangan baja ε_s akan berubah-ubah sepanjang bentang karena adanya retak beton yang juga memberikan tegangan. Dengan pertimbangan hanya satu elemen panjang dx dan penggunaan notasi pada gambar diatas maka rotasi antara ujung-ujung elemen diberikan oleh (Park & Paulay, 1975):

$$\frac{dx}{R} = \frac{\varepsilon_c dx}{kd} = \frac{\varepsilon_s dx}{d(1-k)}$$

Pers. 2. 8

$$\therefore \frac{1}{R} = \frac{\varepsilon_c}{kd} = \frac{\varepsilon_s}{d(1-k)}$$

Pers. 2. 9

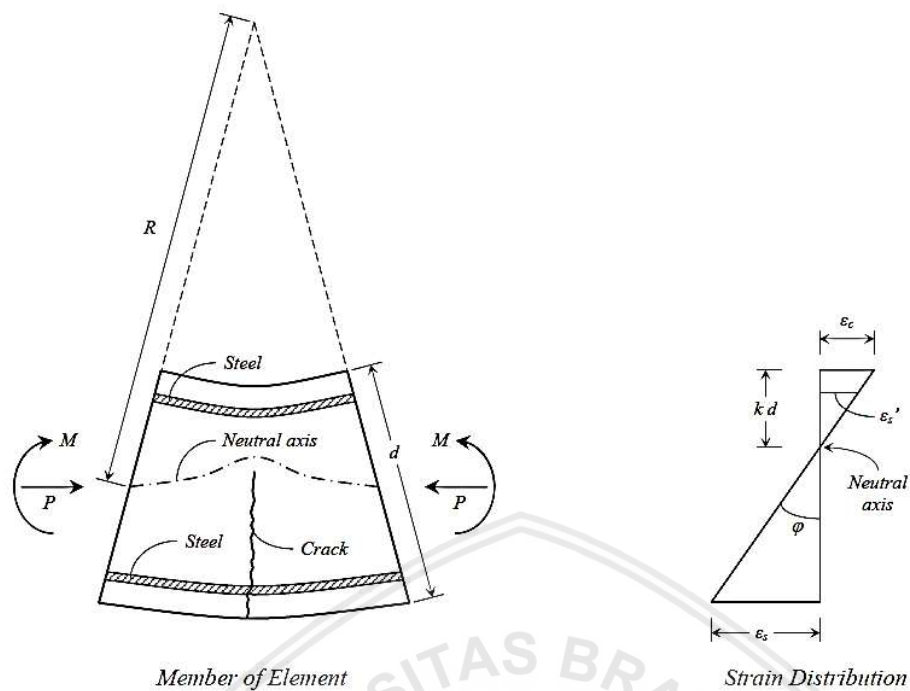
$1/R$ adalah kelengkungan pada elemen (rotasi perpanjang satuan) dan diberi simbol φ . Dengan begitu kita mendapatkan

$$\varphi = \frac{\varepsilon_c}{kd} = \frac{\varepsilon_s}{d(1-k)} = \frac{\varepsilon_c + \varepsilon_s}{d}$$

Pers. 2. 10

jelas bahwa kurvatur φ adalah gradien regangan profil pada elemen, seperti dalam **Gambar**

2.11 Deformasi elemen struktur akibat pembebanan lentur



Gambar 2. 11 Deformasi elemen struktur akibat pembebanan lentur

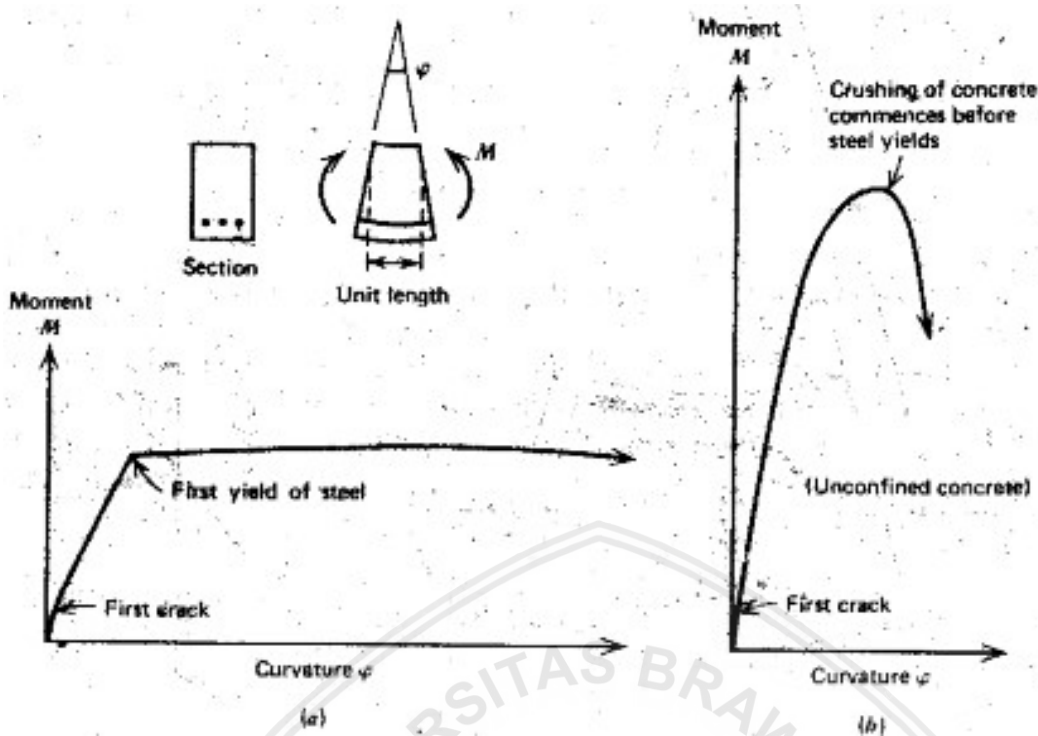
Sumber : (Park & Paulay, 1975)

Kurvatur selalu berubah-ubah sepanjang bentang karena adanya fluktuasi ketinggian sumbu netral dan regangan antara setiap retak. Jika panjang elemen memiliki retak, kurvatur didapat dari Pers 2.1, dengan ϵ_c dan ϵ_s sebagai regangan pada bagian retak.

Jika regangan pada bagian kritis balok beton bertulang yang diukur atas jarak ukur pendek sebagai momen lentur ditingkatkan untuk mencapai keruntuhan, kurvatur dihitung dari Pers 2.1 maka hubungan momen-kurvatur untuk bagian tersebut dapat diperoleh. Kedua kurva diperoleh pada perhitungan balok bertulangan tunggal saat gagal tarik dan tekan seperti tampak dalam **Gambar 2. 12** dan kedua kurva pada mulanya linear. Hubungan antara momen M dan kurvatur φ diberi oleh persamaan elastis sebagai berikut :

$$EI = MR = \frac{M}{\varphi}$$

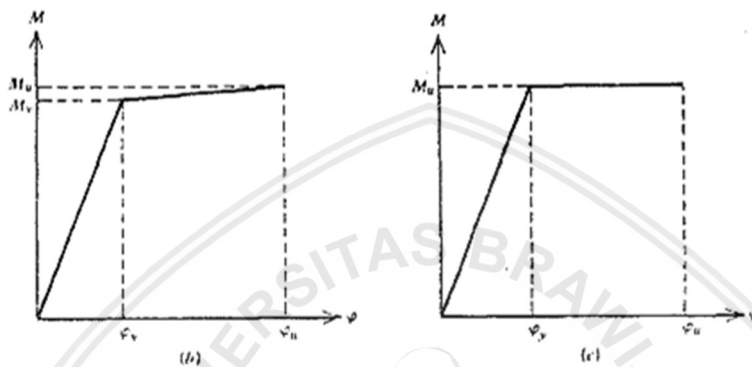
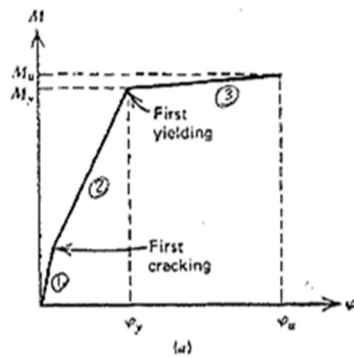
Pers. 2. 11



Gambar 2. 12 Hubungan Moment dan Curvature untuk Balok dengan Tulangan Tunggal.
 (a) Runtuh dibagian Tarik, $\rho < \rho_b$ (b) Runtuh dibagian Tekan $\rho > \rho_b$

Sumber: (Park & Paulay, 1975)

Dengan meningkatnya momen maka retak yang timbul pada beton mengurangi kekakuan lentur. Pengurangan kekakuan untuk potongan beton dengan tulangan kecil lebih besar dibanding beton dengan tulangan besar. Perilaku potongan setelah retak sangat bergantung pada mutu baja. Potongan beton dengan tulangan kecil **Gambar 2. 12(a)** menghasilkan kurva linear $M-\phi$ membengkok sampai ke titik leleh baja. Saat baja leleh, kurvatur meningkat dengan pesat sedangkan momen lentur hampir konstan, momen meningkat secara perlahan-lahan menuju maksimum dan kemudian menurun. Pada potongan beton dengan tulangan besar **Gambar 2. 12(b)**, kurva $M-\phi$ menjadi tidak linear ketika beton memasuki bagian inelastik hubungan tegangan-regangan, dan keruntuhan dapat menjadi getas (*brittle*) kecuali jika beton dikekang oleh sengkang tertutup. Jika beton tidak dikekang, maka beton akan hancur pada kurvatur yang relatif kecil walaupun baja saat itu belum meleleh, dan ini menyebabkan kapasitas daya dukung-momen turun dengan cepat.



Gambar 2. 13 Penggambaran Kurva *Moment-Curvature* Untuk Balok Tulangan Tunggal Yang Mengalami Runtuh Tarik

Sumber : (Park & Paulay, 1975)

Hubungan momen-kurvatur untuk balok praktis yang mana tegangan baja leleh dapat diidealkan dengan hubungan trilinear yang diperlihatkan dalam gambar **Gambar 2. 13(a)** . Pertama munculnya retakan, kedua tegangan baja meleleh dan ketiga batas kemampuan regangan beton tercapai. Dalam banyak kasus kurva tersebut cukup teliti untuk diidealkan sebagai kelanjutan hubungan dua bilinear seperti diperlihatkan dalam **Gambar 2. 13(b)** dan **Gambar 2. 13(c)** yang memberikan kebenaran asumsi. **Gambar 2. 13(a)** adalah kurva mumi ideal untuk menampilkan perilaku pada pembebanan pertama. Ketika retak berkembang, seperti kebanyakan kasus balok yang mengalami pembebanan, hubungan $M-\phi$ tanpa beban hampir linear untuk leleh awal. Oleh karena itu, kurva bilinear dari **Gambar 2. 13(b)** dan **Gambar 2. 13(c)** adalah perkiraan-perkiraan akurat untuk balok retak.

2.5.1. Momen – Kurvatur Teoritis

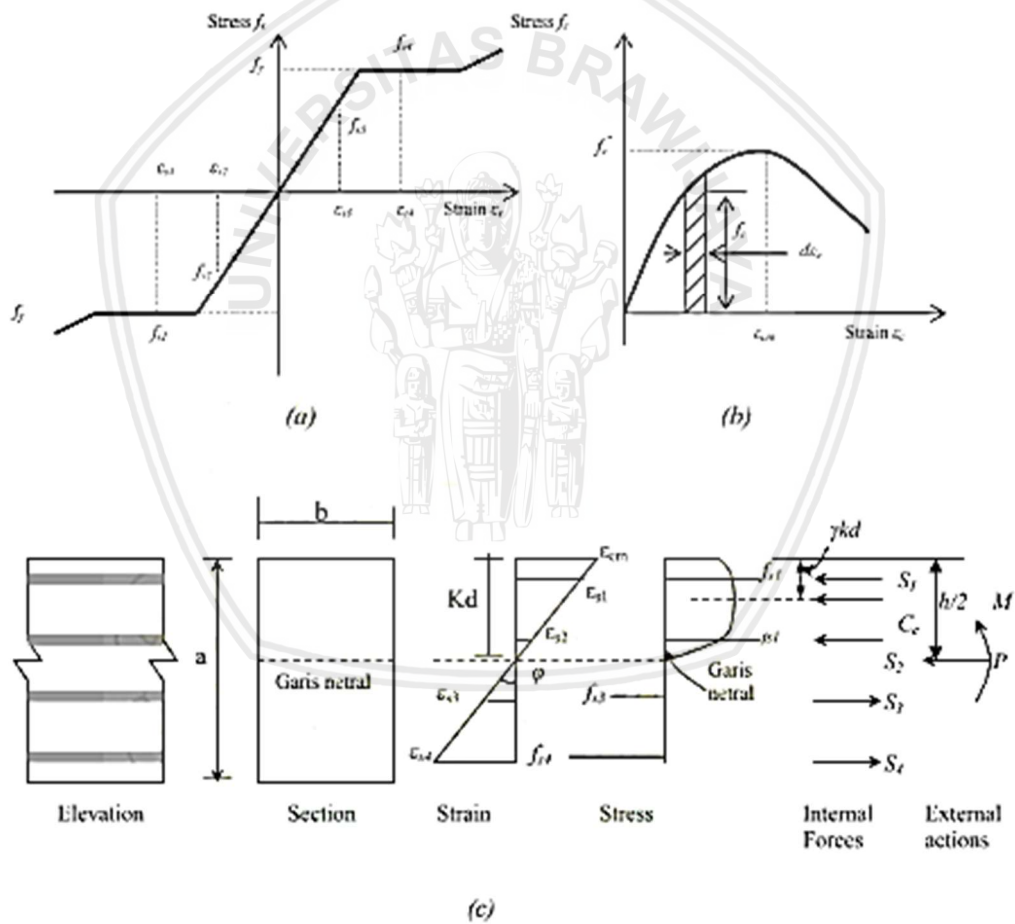
Kurva momen-kurvatur teoritis untuk potongan beton bertulang dengan lendutan dan beban aksial dapat diperoleh atas dasar anggapan serupa dengan yang digunakan dalam penentuan kuat lendut. Diasumsikan bahwa irisan bidang sebelum bidang sisa lenturan setelah lenturan dan kurva tegangan-regangan untuk beton dan baja diketahui. Kurvatur yang dihubungkan dengan bidang momen lentur dan beban aksial bisa ditentukan dengan

menggunakan anggapan ini dan dari persyaratan keseimbangan gaya dan kecocokan regangan.

Gambar 2. 14 (a&b) menunjukkan tipikal kurva tegangan-regangan untuk beton dan baja, di mana f_y = kuat leleh baja dan f'_c = kuat beton. **Gambar 2. 14 (c)** memperlihatkan satu potongan beton bertulang dengan beban aksial dan lendut. Untuk regangan beton dengan beban tekan ekstrim ϵ_{cm} tinggi sumbu netral kd , regangan baja ϵ_{s1} , ϵ_{s2} , ϵ_{s3} dapat ditentukan dari segi tiga yang serupa dengan diagram regangan. Sebagai contoh, untuk batang 1 dengan tinggi d_i

$$\epsilon_{s1} = \epsilon_{cm} \frac{kd - d_i}{kd}$$

Pers. 2. 12



Gambar 2. 14 Penetapan Teori Moment-Curvature. (a) Tarik dan Tekan Baja. (b) Tekan Beton. (c) Potongan Dengan Regangan, Tegangan, dan Distribusi Gaya

Sumber : (Park & Paulay, 1975)

Tegangan f_{s1} , f_{s2} , f_{s3} , ..., dihubungkan dengan regangan ϵ_{s1} , ϵ_{s2} , ϵ_{s3} , ..., kemudian dapat diperoleh dari kurva tegangan-regangan untuk baja. Kemudian kuat baja S_1, S_2, S_3 , ...,

bisa diperoleh dari kuat tekan baja dan luas baja. Sebagai contoh, untuk batang 1, persamaan gaya adalah

$$S_i = f_{si}A_{si} \quad \text{Pers. 2. 13}$$

Distribusi kuat tekan beton pada bagian yang tertekan dari potongan pada **Gambar 2. 14(c)** dapat dilihat dari diagram regangan dan kurva tegangan-regangan untuk beton. Untuk setiap regangan beton ϵ_{cm} pada tekanan ekstrim, kuat tekan beton C_c dan letaknya bisa digambarkan dari parameter α dan β di mana

$$C_c = \alpha f'_c bkd \quad \text{Pers. 2. 14}$$

Faktor tekan utama dan faktor titik berat untuk setiap regangan ϵ_{cm} pada serat tekan ekstrim dapat ditentukan untuk tampang segi empat dari hubungan regangan- tegangan sebagai berikut:

Daerah dibawah kurva tegangan-regangan (**Gambar 2. 14(b)**)

$$\therefore \alpha = \frac{\int_0^{\epsilon_{cm}} f_c d\epsilon_c}{f'_c \epsilon_{cm}} \quad \text{Pers. 2. 15}$$

Luas momen pertama dari luas asal di bawah kurva tegangan-regangan

$$\int_0^{\epsilon_{cm}} f_c \epsilon_c d\epsilon_c = (1 - \gamma) \epsilon_{cm} \int_0^{\epsilon_{cm}} f_c d\epsilon_c \quad \text{Pers. 2. 16}$$

$$\therefore \gamma = 1 - \frac{\int_0^{\epsilon_{cm}} f_c \epsilon_c d\epsilon_c}{\epsilon_{cm} \int_0^{\epsilon_{cm}} f_c d\epsilon_c} \quad \text{Pers. 2. 17}$$

Karenanya, jika tegangan di dalam beton f_c dapat ditulis dalam terminologi regangan ϵ_c (jika kurva tegangan-regangan diketahui), kuat tekan beton dan garis aksinya bisa ditentukan dari Pers 2.14 hingga Pers 2.17

$$P = \alpha f'_c bkd + \sum_{i=1}^n f_{si} + A_{si} \quad \text{Pers. 2. 18}$$

$$M = \alpha f'_c bkd \left(\frac{h}{2} - \gamma kd \right) + \sum_{i=1}^n f_{si} + A_{si} \left(\frac{h}{2} - d_i \right) \quad \text{Pers. 2. 19}$$

Kurvatur diperlihatkan oleh persamaan yang sama sebagai :

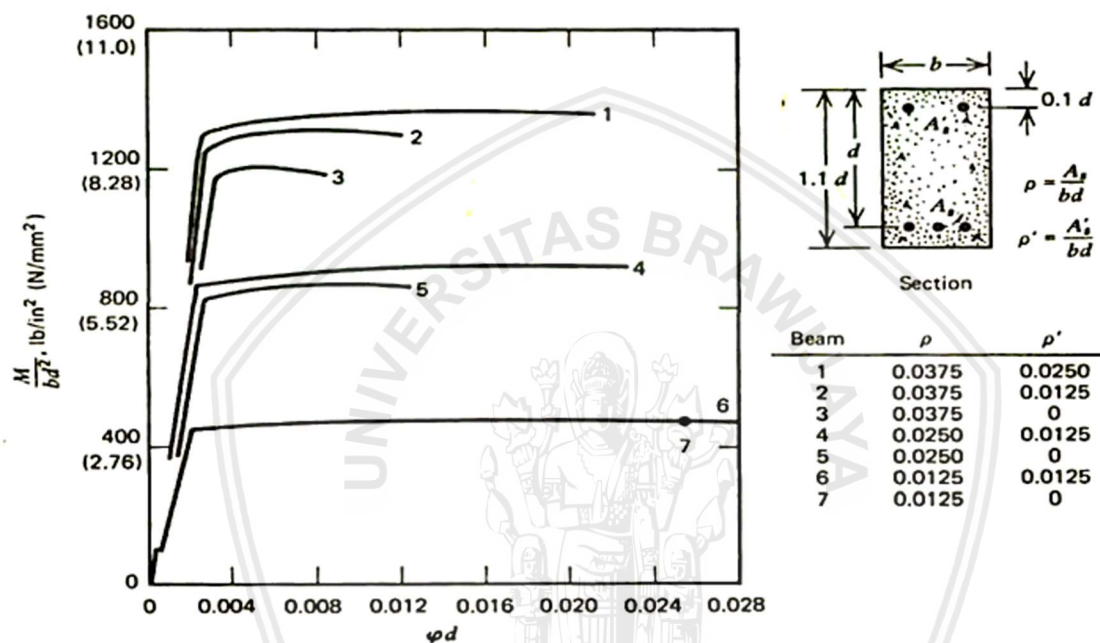
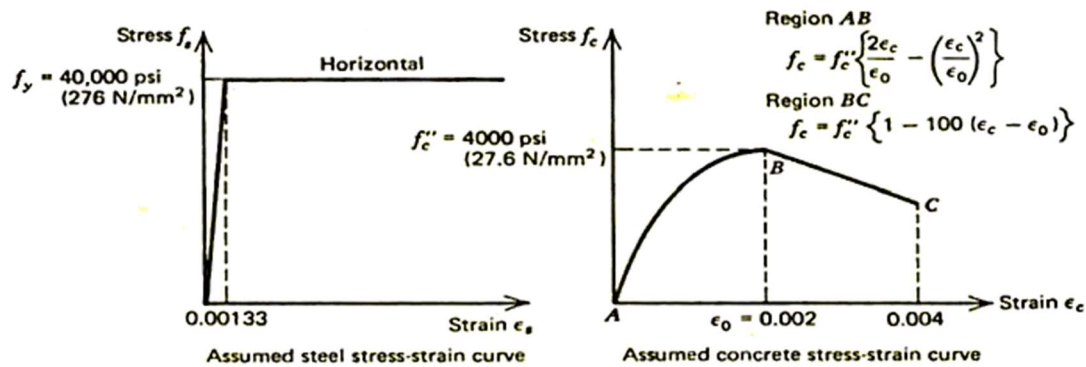
$$\varphi = \frac{\varepsilon_{cm}}{kd}$$

Pers. 2.20

Hubungan momen-kurvatur teoritis untuk satu beban aksial bisa ditentukan oleh kenaikan regangan beton pada serat tekan ekstrim, ε_{cm} . Untuk tiap nilai E_{cm} tinggi sumbu netral kd memberikan keseimbangan gaya yang ditemukan dengan penyesuaian kd sampai gaya dalam dapat dihitung menggunakan Pers 2.12 hingga Pers 2.15 dan memenuhi Pers 2.18. Untuk kasus lentur saja, $P = 0$. Gaya dalam dan tinggi sumbu netral dihitung kemudian nilainya digunakan untuk menentukan momen M dan kurvatur φ menggunakan Pers 2.16, $\therefore \gamma = 1 -$

$$\frac{\int_0^{\varepsilon_{cm}} f_c \varepsilon_c d\varepsilon_c}{\varepsilon_{cm} \int_0^{\varepsilon_{cm}} f_c d\varepsilon_c}$$

Pers. 2.7 dan Pers 2.20 yang dihubungkan dengan nilai dari ε_{cm} . Dengan selesainya perhitungan untuk bidang nilai ε_{cm} , kurva momen-kurvatur dapat ditentukan. **Gambar 2.16** memberi beberapa teori hubungan momen-kurvatur yang didapat untuk tampang balok beton segiempat dengan menggunakan metode yang baru dijelaskan. Asumsi kurva tegangan-regangan untuk baja dan beton dan tampang propertis terlihat dalam gambar. Sebagian besar kurva momen-kurvatur telah dihitung hanya untuk daerah saat tepat sebelum tegangan baja leleh. Kurva momen-kurvatur menunjukkan diskontinuitas pada awal leleh dari tegangan baja dan diakhiri bila serat tekan terluar dari regangan beton ε_{cm} mencapai 0,004. Kurva tersebut juga memperlihatkan bahwa untuk satu regangan beton maksimum, daktilitas tampang beton bertulangan tunggal berkurang saat tegangan baja meningkat dan dengan adanya tekanan baja daktilitas meningkat secara drastis

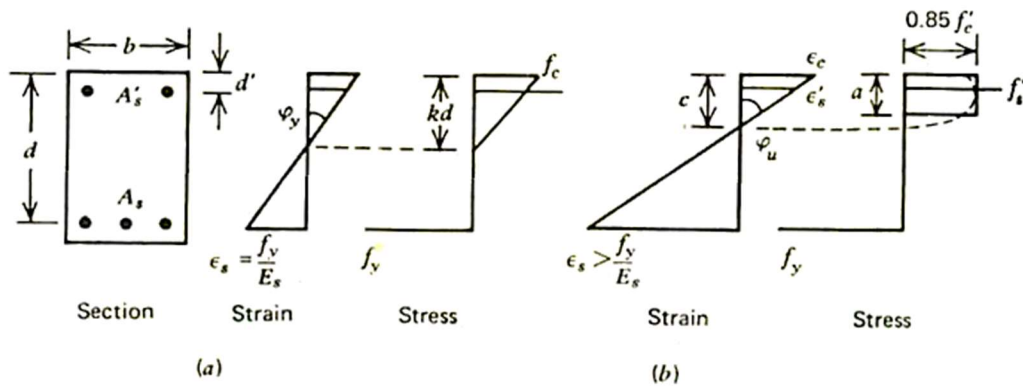


Gambar 2. 15 Teori Hubungan momen-kurvatur

Sumber : (Park & Paulay, 1975)

2.5.2. Momen – Kurvatur saat Ultimate dan Leleh pada Balok Beton Bertulang tanpa Pengekang

Dalam disain ultimate dan gaya gempa. Daktilitas pada umumnya dinyatakan sebagai rasio deformasi ultimate dengan deformasi saat awal leleh. Nilai relatif momen dan kurvatur ketika awal leleh tegangan baja dan beton mencapai regangan ultimate. Beton yang tertekan dipertimbangkan untuk tidak dikekang walaupun beton tanpa kekangan jarang ada dibawah kondisi praktis, beton secara umum dipandang tanpa kekangan kecuali jika dianggap menguntungkan untuk diberi kekangan.



Gambar 2. 16 Tampang balok bertulangan ganda saat lentur. (a) saat leleh, (b) saat retak
 Sumber: (Park & Paulay, 1975)

Gambar 2. 16 memperlihatkan kasus umumampang segiempat bertulangan ganda saat awal leleh tegangan baja dan saat regangan beton ultimate. Kurvatur saat awal leleh tegangan baja didapat dari persamaan 2.3 pada waktu regangan dalam baja saat awal leleh. Untuk beberapa mutu baja, ketika baja tarik pertama kali mencapai kuat leleh, tegangan pada serat ekstrim beton bisa jauh lebih rendah daripada kuat tekan silinder f_c .

Kurva tegangan-regangan untuk beton linear kira-kira hingga $0,7f_c$; karenanya jika baja mencapai kuat leleh sedang tegangan beton tidak melebihi nilai ini, tinggi sumbu netral dapat dihitung menggunakan rumus teori elastis (garis lurus). Ketika faktor tinggi sumbu netral ditentukan, magnitudo gaya dan titik berat gaya tekan dalam baja dan beton dapat dicari. Penjelasan persamaan momen dan kurvatur saat leleh awal adalah:

$$k = \left[(\rho + \rho')^2 n^2 + 2 \left(\rho + \frac{\rho' d'}{d} \right) n \right]^{1/2} - (\rho + \rho') n \tag{Pers. 2. 21}$$

$$M_y = A_s f_y j d \tag{Pers. 2. 22}$$

$$\phi_y = \frac{f_y / E_s}{d(1 - k)} \tag{Pers. 2. 23}$$

Jika tekanan pada serat tekan ekstrim beton lebih besar dari $\pm 0,7 f_c'$, tinggi sumbu netral saat awal leleh tegangan baja dapat dihitung menggunakan kurva tegangan-regangan beton aktual (kurva parabola lebih akurat). Bagaimanapun, sebuah perkiraan bisa didapat dari rumus garis lurus walau tekanan yang dihitung setinggi f_c' . Nilai k yang dihitung dari rumus garis lurus akan lebih kecil daripada nilai aktual untuk k jika distribusi tekan beton tidak lurus, dimana ϕ akan underestimate dan M overestimate.

Kurvatur dan momen ultimate potongan beton bertulangan ganda (lihat **Gambar 2.**

16) untuk kasus dimana baja tekan meleleh bisa diperoleh menggunakan persamaan:

$$a = \frac{A_s f_y + A'_s f_y}{0,85 f'_c b} \quad \text{Pers. 2. 24}$$

$$M_u = 0,85 f'_c a b \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f_y (d - d') \quad \text{Pers. 2. 25}$$

$$\varphi_u = \frac{\varepsilon_c}{c} = \frac{\varepsilon_c \beta_1}{a} \quad \text{Pers. 2. 26}$$

Regangan baja tekan diindikasikan oleh diagram regangan **Gambar 2. 16**, yang diberikan oleh persamaan:

$$\varepsilon'_s = \varepsilon_c \left(\frac{c - d'}{c} \right) = \varepsilon_c \left(1 - \frac{\beta_1 d'}{a} \right) \quad \text{Pers. 2. 27}$$

Substitusi Pers 2.24 ke Pers 2.27, memperlihatkan bahwa baja tekan meleleh saat:

$$\varepsilon_c \left[1 - \beta_1 d' \left(\frac{0,85 f'_c b}{A_s f_y - A'_s f_y} \right) \right] \geq \frac{f_y}{E_s} \quad \text{Pers. 2. 28}$$

Pers 2.28 harus memenuhi Pers 2.24 hingga Pers 2.26 dapat dipakai.

2.6. Hasil Penelitian Terdahulu

Sebelum melakukan penelitian ini, penulis menemukan beberapa karya ilmiah yang berkaitan dengan penelitian ini. Berikut hasil penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya:

1. E. W., Setyowati & Soehardjono, Agoes & , Wisnumurti. (2017). *Concrete With Onyx Waste Aggregate As Aesthetically Valued Structural Concrete*. Menyimpulkan Pemanfaatan limbah batu onyx Tulungagung sebagai agregat campuran beton akan meningkatkan nilai ekonomis beton karena warna yang lebih cerah dan tingkat estetika yang tinggi dari produk. Benda uji dibuat dari beton yang dirancang campuran, memiliki rasio semen: agregat halus: rasio agregat kasar = 1: 1,5: 2,1, dan rasio W / C = 0,4. Hasil pemeriksaan 28 hari menunjukkan bahwa struktur mikro beton onyx limbah Tulungagung sama dengan beton normal. Selain itu, hasil uji mekanis membuktikan bahwa limbah beton onyx Tulungagung juga memiliki tingkat kekuatan yang memenuhi

syarat untuk digunakan sebagai beton struktural dengan tingkat estetika yang lebih tinggi.

2. Beta Taufiq Raya, Edhy Wahyuni Setyowati, Retno Anggraini. (2016). Pengaruh Penggunaan Limbah Batu Onyx Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Lentur Beton. Menyimpulkan balok uji yang dipakai yaitu berukuran 60 cm x 15 cm x 15 cm dengan mutu K 200 dan menggunakan macam variasi faktor air semen 0,4, 0,5, dan 0,6. Hasil Penelitian menunjukkan beton dengan menggunakan agregat kasar batu *onyx* FAS 0,4 memiliki kuat lentur rata-rata 5,351 Mpa dan 5,092 untuk agregat kerikil dengan selisih 4,840%. FAS 0,5 agregat kasar batu *onyx* memiliki kuat lentur rata-rata 4,157 Mpa dan 4,551 untuk agregat kerikil dan 4,551 Mpa dengan selisih 8,657%. FAS 0,6 agregat kasar batu *onyx* memiliki kuat lentur rata-rata 3,128 Mpa dan 3,278 Mpa untuk agregat kerikil dengan selisih 4,795%. Dan FAS yang paling optimum pada penelitian ini adalah FAS 0,4 dan penggunaan limbah batu onyx dapat digunakan sebagai alternatif bahan pengganti agregat batu kerikil untuk beton struktural.
3. Mahmud & E. W., Setyowati & Soehardjono, Agoes. (2018). Pengaruh Proses *Finishing* Terhadap Kuat Lentur Dinding Panel Beton Onyx. Hasil pengujian kuat tekan rata – rata beton normal lebih besar dari kuat tekan rata-rata beton limbah onyx yaitu sebesar 17,75%. Kuat lentur (momen lentur) rata-rata dinding panel beton onyx sebelum dipoles yaitu sebesar 665 kgm dan kuat lentur (momen lentur) rata-rata dinding panel beton onyx sesudah dipoles yaitu sebesar 638,75 kgm. Dari hasil analisis statistik dengan signifikansi 5% menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan antara kuat lentur (momen lentur) panel beton onyx sebelum dipoles dan sesudah dipoles. Dapat disimpulkan dengan pemolesan setebal 2-3 mm dapat dilakukan untuk menghasilkan beton yang kuat dan memiliki estetika yang tinggi. Data dari penelitian tersebut sangat berhubungan dengan penelitian ini, dikarenakan dalam satu lingkup research grant. Data-data yang dipakai adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 6. Campuran Beton Onyx

Banyaknya Bahan	Semen (kg)	Air (kg/l)	Pasir (kg)	Onyx (kg)
Tiap m ³ (Teoritis)	512,5	205	700,7	891,8
Tiap campuran uji 0,1 m ³	51,25	20,5	70,07	89,18
Tiap m ³ (Aktual)	512,5	212,2	696,1	889,1
Tiap campuran uji 0,1 m ³	51,25	21,22	69,61	88,91

Mahmud & E. W., Setyowati & Soehardjono, Agoes.

Tabel 2. 7. Mutu Baja Ø6 mm

Nama Pengukuran	Satuan	ø 6-1	ø 6-2	ø 6-3	Rata-rata
Diameter	mm	6	5.99	5.95	5.98
Panjang Awal	mm	200	200	200	200
Berat	gr/mm	221.5	221	218	220.17
Luas Awal	mm ²	28.25	28.18	27.80	28.08
Beban Leleh	kN	6	6	6	6
Pertambahan Panjang Leleh	mm	5	5	5	5
Beban Putus	kN	8	8	8	8
Pertambahan Panjang Putus	mm	50.00	47.50	55.00	50.83
Py	N	6000	6000	6000	6000
Ey	%	2.5	2.5	2.5	2.5
fy	Mpa	212.41	212.89	215.82	213.71
Pu	N	8000	8000	8000	8000
Eu	%	25.00	23.75	27.50	25.42
fu	MPa	283.21	283.85	287.76	284.94

Mahmud & E. W., Setyowati & Soehardjono, Agoes.

Tabel 2. 8. Uji Tekan Silinder Beton Dengan Agregat Batu Split

No	Kode Beton	Tanggal Pengecoran	Tanggal Pengujian	Beban			Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata Total (Mpa)	Berat Isi Benda Uji (kg/m ³)	Berat Isi Benda Rata-rata (kg/m ³)
				(kN)	Berat (kg)	Luas (cm ²)				
1	SN-1	8/2/2018	9/12/2018	537	12.56		30.38		2368	
2	SN-2	8/2/2018	9/12/2018	548	12.43		31.00		2344	
3	SN-3	8/2/2018	9/12/2018	694	12.9		39.26		2432	
4	SN-4	8/2/2018	9/12/2018	467	12.94		26.42		2440	
5	SN-5	8/3/2018	9/12/2018	534	12.65		30.21		2385	
6	SN-6	8/3/2018	9/12/2018	577	12.8		32.64		2413	
7	SN-7	8/3/2018	9/12/2018	637	12.69		36.03		2393	
8	SN-8	8/4/2018	9/12/2018	528	12.78	176.79	29.87	31.75	2410	2402
9	SN-9	8/4/2018	9/12/2018	550	12.94		31.11		2440	
10	SN-10	8/4/2018	9/12/2018	601	12.84		34.00		2421	
11	SN-11	8/6/2018	9/12/2018	518	12.56		29.30		2368	
12	SN-12	8/6/2018	9/12/2018	544	12.75		30.77		2404	
13	SN-13	8/6/2018	9/12/2018	613	12.7		34.67		2395	
14	SN-14	8/6/2018	9/12/2018	550	12.62		31.11		2380	
15	SN-15	8/6/2018	9/12/2018	522	12.92		29.53		2436	

Mahmud & E. W., Setyowati & Soehardjono, Agoes. Hasil perhitungan sendiri

Tabel 2. 9. Uji Tekan Silinder Beton Dengan Agregat Batu Onyx

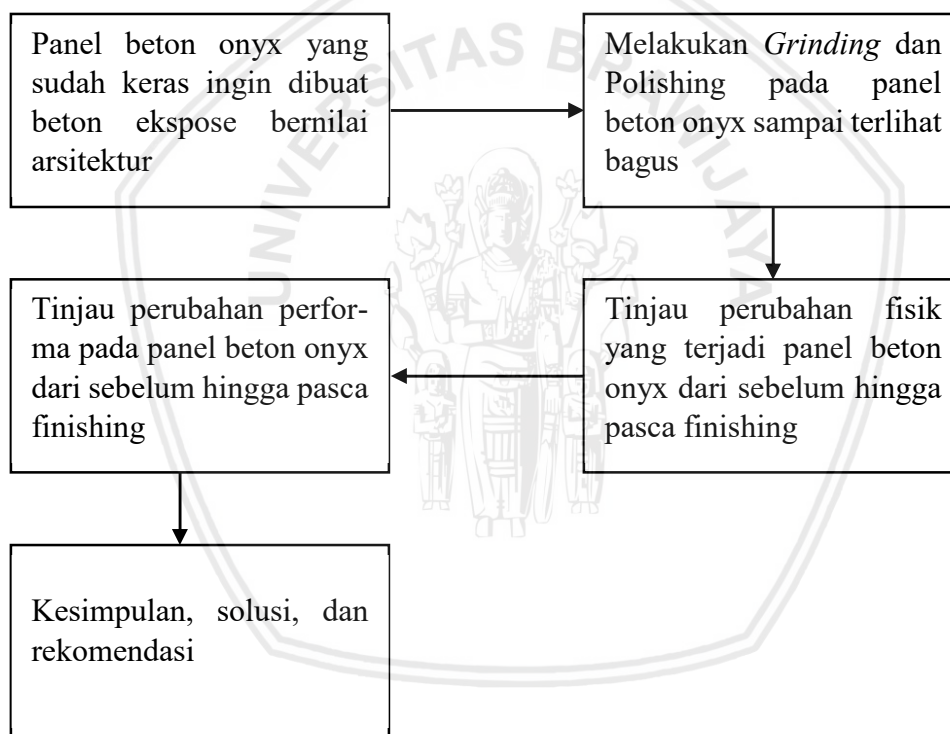
No	Kode Beton	Tanggal Pengecoran	Tanggal Pengujian	Beban (kN)	Berat (kg)	Luas (cm ²)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata Total (Mpa)	Berat Isi Benda Uji (kg/m ³)	Berat Isi Benda Rata-rata (kg/m ³)
2	SO-2	8/7/2018	9/13/2018	408	12.61		23.08		2378	
3	SO-3	8/8/2018	9/13/2018	503	12.83		28.45		2419	
4	SO-4	8/8/2018	9/13/2018	423	12.7		23.93		2395	
5	SO-5	8/9/2018	9/13/2018	496	12.75		28.06		2404	
6	SO-6	8/9/2018	9/13/2018	449	12.81		25.40		2415	
7	SO-7	8/9/2018	9/13/2018	484	12.85		27.38		2423	
8	SO-8	8/10/2018	9/13/2018	413	12.92	176.79	23.36	26.11	2436	2406
9	SO-9	8/10/2018	9/13/2018	461	12.78		26.08		2410	
10	SO-10	8/10/2018	9/13/2018	486	12.61		27.49		2378	
11	SO-11	8/10/2018	9/13/2018	435	12.82		24.61		2417	
12	SO-12	8/10/2018	9/13/2018	466	12.63		26.36		2381	
13	SO-13	8/11/2018	9/13/2018	539	12.79		30.49		2412	
14	SO-14	8/11/2018	9/13/2018	424	12.78		23.98		2410	
15	SO-15	8/11/2018	9/13/2018	471	12.81		26.64		2415	

Mahmud & E. W., Setyowati & Soehardjono, Agoes.

BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN

3.1. Kerangka Konseptual Penelitian

Berdasarkan pada latar belakang masalah yang telah diuraikan sebelumnya serta rumusan masalah yang merumuskan batasan masalah dari penelitian ini, maka digambarkan suatu konsep kerangka berpikir. Tujuannya adalah agar penelitian ini lebih dapat dipahami. Berikut gambaran kerangka konsep yang ada dalam penelitian ini:



Gambar 3.1 Kerangka Konseptual Berpikir

Sumber : Analisa sendiri

Adapun penjelasan dari gambar Algoritma diatas adalah sebagai berikut :

1. Panel beton onyx pracetak yang sudah mengeras, belum bisa menampilkan hasil permukaan yang menampilkan gregat kasar dari material onyx itu sendiri. Maka perlu dilakukan proses finihing terhadap panel supaya bisa menampilkan agregat kasar batu onyx dengan cara menggrinding untuk mengurangi partikel bahan dari permukaan yang kasar menjadi ukuran yang lebih halus, dan polishing untuk proses detailing setelah grinding untuk memberikan tampak yang berkesan mengkilat.

2. Dasar dari pemilihan metode beton ekspose ini adalah untuk memberikan kesan artistik abstrak yang dihasilkan oleh corak alami dari batu onyx sebagai penyusun beton. Selain mengubah pandangan orang bahwa beton hanyalah bahan struktur yang dengan tampak monoton yang jauh dari kesan estetik, juga dapat memanfaatkan bahan limbah yang sudah tidak memiliki harga jual menjadi barang yang lebih bernilai setelah diproses menjadi beton ekspose.
3. Efek yang ditimbulkan dari metode *grinding* dan *polishing* pada panel beton perlu diteliti untuk menjamin seberapa besar pengaruh yang dari metode yang dipilih terhadap sifat fisik dan mekanik dari panel tersebut untuk menunjang kelayakan dari proses finising tersebut.
4. Dalam penelitian ini akan dilakukan penelitian experimental yang sebelumnya didukung dengan studi kepustakaan dan juga kajian penelitian sebelumnya.
5. Sehingga hasil dari penelitian ini adalah solusi dan rekomendasi untuk para praktisi dan pelaku konstruksi sebagai cara mengelolah limbah batu onyx menjadi panel beton yang memiliki nilai estetika dan memiliki nilai jual.

3.2. Hipotesis Penelitian

Perlakuan *finishing* pada panel beton onyx akan berpengaruh terhadap sifat fisik dan mekanik panel itu sendiri. Hal ini dikarenakan pemilihan metode *grinding* pada proses *finishing* yang notabene dengan cara mengabrasi atau mengkikis permukaan akan mempengaruhi struktur dari susunan beton.

Penyusunan hipotesis didasarkan atas hasil simpulan dari tinjauan pustaka yang ada. Adapun hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perlakuan *finishing* dengan cara *grinding* akan membuat batu onyx sebagai agregat kasar nampak di permukaan. Agar perlakuan yang diberikan pada benda uji sama, maka sebuah standart perlakuan *grinding* harus ditetapkan untuk mendapatkan hasil yang mendekati sama antara 1 benda uji dan benda uji lainnya.
2. Perlakuan *finishing* akan berpengaruh terhadap kapasitas lentur (in-plane) pada panel beton onyx. Hal ini dikarenakan berkurangnya tebal dari panel beton, mengingat rumus compression concrete ($C_c = 0.85 \times f_c' \times a \times b$) yang mengandung unsur tebal (b). Pada penelitian ini panel dianalisa menggunakan balok lentur konvensional dan balok tinggi (metode *strut and tie model*) mengingat rasio tinggi dan bentang sudah melampaui balok lentur pada umumnya. Hasil analisa ini akan membantu fenomena yang terjadi pada saat penelitian.

3. Perubahan tebal akan berpengaruh terhadap kapasitas lentur pada panel beton onyx walaupun tidak signifikan. Hal ini mengakibatkan hubungan momen dan kurvatur dari panel juga mengalami perubahan. Dalam analisa hubungan momen dan kurvatur diharapkan membantu menjelaskan kejadian yang terjadi setelah panel mengalami retak pertama hingga mencapai kapasitas *ultimate*. Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dikaji, panel akan mengalami peristiwa *strength hardening* sesaat setelah mengalami *crack* pertama dimana peranan dari tulangan horizontal yang terpasang bekerja walaupun jumlah tulangan yang dipasang hanyalah mampu memenuhi kriteria tulangan praktis dari beton polos.





Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1. Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mempelajari teori dan kajian yang relevan dengan penelitian ini. Studi literatur diperoleh dari berbagai buku teks, jurnal ilmiah terpublikasi, karya ilmiah tidak terpublikasi (skripsi dan tesis) dan peraturan Standar Nasional Indonesia maupun internasional.

Studi literatur dilakukan dari awal perencanaan penelitian hingga berakhirnya keseluruhan penelitian. Hal ini diharapkan akan adanya pembaruan informasi dari perkembangan model – model penelitian lain yang relevan dalam hal peninjauan metode *finishing*. Sehingga peneliti mengharapkan penelitian ini lebih efektif dan efisien dengan dasar teori yang cukup mendukung

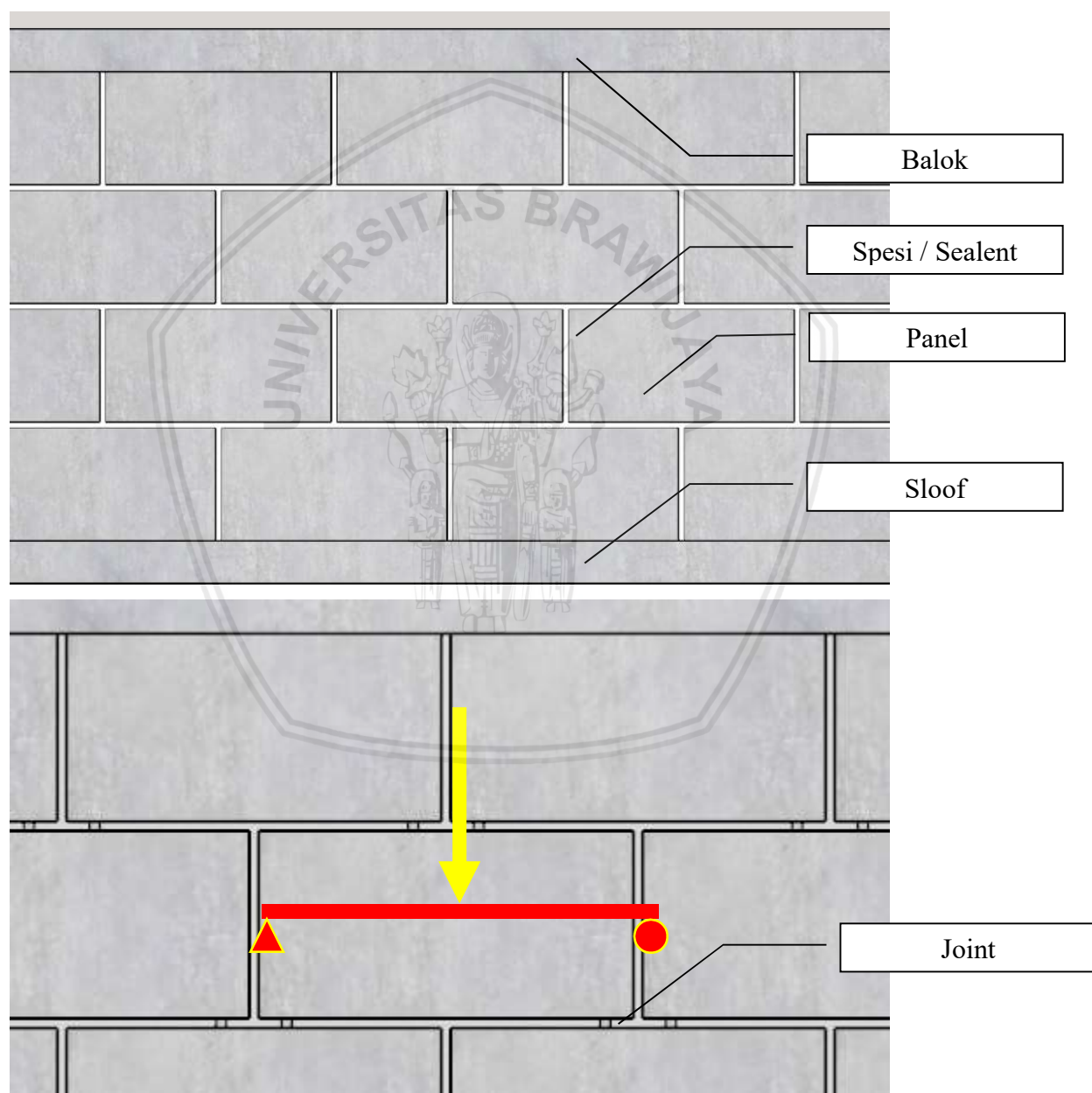
4.2. Analisis Preliminary Penelitian

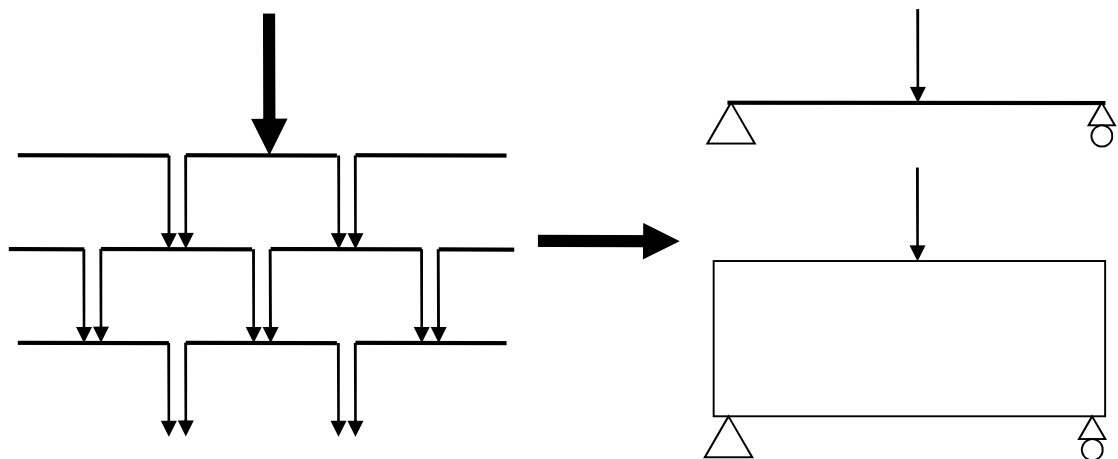
Penentuan benda uji disesuaikan dengan kondisi dan kapasitas pada alat pengujian panel yang tersedia di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Universitas Brawijaya Malang. Benda uji utama dalam penelitian ini adalah panel yang akan diuji beban lentur pada alat *Loading frame*. Sesuai dengan kondisi yang ada pada alat tersebut, direncanakan panjang panel 800 mm dan lebar panel 400 mm. Kemudian untuk ketebalan panel dipakai tebal rencana 60 mm sesuai dengan rencana pelaksanaan dilapangan.

Peneliti ingin mengetahui perubahan kapasitas lentur dari panel yang diberi beban secara in-plane pada tengah bentang akibat proses finishing. Proses *finishing* yang dilakukan terhadap panel beton ini mengakibatkan berkurangnya tebal dari panel beton ini. Peneliti berhipotesa bahwa proses *finishing* yang dilakukan hingga membuat agregat kasar terlihat mengakibatkan perlemahan lain selain dari mengurangi tebal dari panel itu sendiri.

Panel beton ini di fungsikan sebagai partisi / non-struktural yang penyusunannya dibentuk seperti pasangan setengah bata. Tebal dari panel ini hanya 60 mm dan berat rata – rata panel sekitar 40 kg sehingga tidak mungkin jika panel ini direkatkan menggunakan spesi antara panel yang satu dan lainnya. Untuk alasan keamanan panel ini dihubungkan menggunakan joint antara 1 panel dan panel lainnya kedepannya. Antara 1 panel dan panel

lainnya juga harus diberi dilatasi yang ditujukan sebagai *space* pemuaian agar tidak menyebabkan retak di panel beton itu sendiri. Space antara panel bisa terbuat dari sealent karet atau mortar yang kekuatannya jauh di bawah dari panel itu sendiri lihat **Gambar 4. 1**. Pengujian ini perlu dilakukan karena semakin tinggi panel yang disusun, maka semakin berat beban yang dipikul oleh panel di bagian paling bawah mengingat beban yang disalurkan adalah beban kumulatif dari panel di atasnya. Oleh karena itu, peneliti memodelkan pengujian ini sebagai panel yang mendapat gaya luar in-plane di tengah bentang yang diibaratkan penyaluran beban grafitasi dari panel di atasnya.





Gambar 4.1 Alur Pikir Pemodelan Struktur

Sumber : Analisa sendiri

Dengan analisa pemikiran diatas, penguji melakukan uji pada panel secara in-plane, dengan pemberian gaya ditengah bentang, tumpuan sendi rol atau yang biasa disebut dengan *three point flexural test*. Diharapkan mendapat perubahan kapasitas lentur maksimum dari panel beton onyx yang nantinya akan dijadikan referensi seberapa tinggi panel ini mampu disusun.

4.3. Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan secara eksperimental yang akan dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Universitas Brawijaya Malang.

4.4. Parameter Penelitian

Parameter – parameter perancangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Semen yang digunakan adalah semen dagang dengan merk Semen Gresik Portland Pozzoland Cement, Agregat kasar yang digunakan adalah limbah batu onyx yang lolos saringan no 50 dan tertahan di no 200 didapatkan dari desa Gamping, Kecamatan Campur Darat Kabupaten Tulung Agung, Jawa Timur, Agregat halus yang digunakan adalah pasir untuk beton pada umumnya didapat dari kabupaten Lumajang, Jawa Timur, Air yang digunakan adalah air bersih PDAM yang tersedia di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya,
2. Perencanaan campuran beton (*mix design*) mengacu pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan dengan kuat tekan rencana 30 Mpa (Setyowati, 2016),

- repository.ub.ac.id
3. Tulangan yang digunakan besi polos $\varnothing 6 - 100$, sebagai tulangan praktis yang sifatnya sebagai pengikat beton dan dianggap tidak menahan momen lentur pada beton.
 4. Pengujian dilakukan setelah umur beton mencapai 28 hari.
 5. Benda uji berupa panel dengan dimensi $80 \times 40 \times 6$ dalam satuan cm.
 6. Pengujian akan dilakukan dengan tumpuan sendi rol dan pembebanan pada 1 titik di tengah bentang secara *in-plane* untuk memudahkan analisa perhitungan mendapatkan beban ultimate yang mampu di tahan oleh panel beton onyx.

4.5. Alat dan Bahan Penelitian

Alat adalah segala sesuatu yang tidak habis pakai dalam penggunaannya, sedangkan bahan adalah segala sesuatu yang akan habis ketika dipakai saat pengujian. Adapun alat dan bahan yang dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

4.5.1. Alat

Adapun alat yang digunakan untuk mendukung dalam proses penelitian adalah :

- a. Pembuatan Benda Uji
 1. Mesin gerinda untuk menggrinding dan mempolish salah 1 permukaan panel.
 2. Selang air untuk membasahi permukaan panel beton selama proses grinding supaya debu tidak menyebar kemana-mana dan juga untuk menghemat mata gerinda.
- b. Alat Pengujian Benda Uji
 1. Portal pengujian (*Loading Frame*), untuk menempatkan benda uji pada saat pembebanan
 2. *Hydraulic jack* (dongkrak hidrolik), Alat ini digunakan untuk memberi beban pada benda uji. Pada penelitian ini *hydraulic jack* yang digunakan mempunyai merk Enerpac P-84, mempunyai dial pembacaan maksimum 8,0 tonf dengan ketelitian 0,05 tonf.
 3. *Load Cell*, sebagai alat dari pembacaan beban yang diberikan oleh alat *hydraulic jack* yang menekan pada benda uji.
 4. *Electrical Strain Gauge*, Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya regangan yang terjadi pada tulangan maupun pada beton pada benda uji untuk pembacaan pada setiap tahapan pembebanan. *Electrical Strain Gauge* yang digunakan pada penelitian ini adalah Tipe FLA – 6 – 11 dengan merk dagang Tokyo Sokki Kenkjuyo Co., Ltd.
 5. *Data Logger*, Alat ini digunakan untuk membaca regangan yang terjadi pada electrical strain gauge. Pada penelitian ini digunakan strain indicator P-3500

produksi Vishay Group, selain itu alat ini juga dilengkapi dengan alat tambahan yaitu Switch and Balance Unit SB-10 yang mampu membaca regangan hingga 10 buah titik pemasangan electrical strain gauge.

6. LVDT (*Linear Variabel Deference Transformer*) adalah salah satu transducer yang dapat digunakan untuk pengukuran deformasi pada benda uji dengan pembacaan secara digital

4.5.2. Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam membuat benda uji dalam proses penelitian adalah :

1. Mata grinda kasar untuk proses awal mengkilis permukaan beton
2. Mata grinda halus untuk proses polish supaya permukaan lebih halus dan mengkilap.
3. Cat putih untuk mewarna permukaan beton agar retakan yang terjadi tampak jelas.
4. Benda uji yang sudah di buat oleh peneliti sebelumnya.
5. *Strain Gauge* beton untuk melihat regangan yang terjadi.

4.5.3. Metode Grinding

Proses grinding adalah salah satu proses finishing dengan cara mengupas lapisan tipis dari mortar hingga memotong bagian dari agregat kasar. Proses grinding beton pada dalam dunia konstruksi juga dikenal dengan honing or polishing tergantung tingkat kehalusan akhir paska finishing. Hasil akhir bisa saja terlihat kusam (honing) atau sangat halus dan mengkilap (polishing) hal ini tergantung dari mata gerinda yang dipakai dan jenis agregat kasar yang dipakai. Proses finishing dengan cara grinding adalah cara yang paling mahal namun memberikan hasil yang unik, indah dan memuaskan.

Campuran mortar yang disarankan untuk beton yang akan digrinding adalah campuran mortar yang kuat tekannya mendekati dari kuat tekan agregat kasarnya. Supaya ketika proses grinding akan mengalami tingkat abrasi yang bersamaan antara agregat dan mortar. Hal ini akan membuat hasil grinding rata dan halus tanpa meninggalkan lubang akibat pelepasan partikel agregat. Proses grinding dapat dilakukan dalam kondisi basah ataupun kondisi kering. Grinding basah akan menyisakan material seperti pasta, keuntungannya debu tidak beterbangan namun membuat kinerja mesin menjadi berat. Grinding kering akan membuat partikel debu beterbangan namun kinerja alat tidak seberat grinding basah.

Pada penelitian ini dilakukan 2 metode grinding. Hal ini ditujukan untuk memberikan opsi perbandingan terhadap waktu, biaya, dan efektifitas dari tiap-tiap proses. Peneliti menggunakan alat grinding *electric hand angle grinder 4 inch* (merek MAKITA), dengan mata grinding yang dipakai *dry diamond wheel* dan *concrete turbo diamond grinding cup wheel* (produk KRISBOW). Dalam proses grinding model benda uji ini menggunakan alat grinding kecil karena keterbatasan alat grinding yang dimiliki dan nantinya koefisien pekerjaan yang didapat dapat langsung dijadikan acuan usaha bagi industri kecil. Jika produk sudah dapat diterima di masyarakat luas, produsen dapat menggunakan alat grinding yang lebih besar lagi kapasitasnya. Berikut adalah proses grinding yang diterapkan dalam pengujian ini.



Gambar 4. 2 *Electric Hand Angle Grinder 4 Inch, Mata Grinding Yang Dipakai Dry Diamond Wheel, Dan Concrete Turbo Diamond Grinding Cup Wheel*

Sumber : <https://www.google.com/>

Metode grinding pertama yang diterapkan yakni teknik menggrinding langsung. Pada teknik ini, peneliti menggrinding panel beton dari kondisi awal beton yang sudah mengeras hingga permukaan panel terkikis setebal yang diharapkan. Proses pelaksanaan dari metode ini yakni:

1. Pilih bagian permukaan yang akan kita finishing, disarankan dipilih permukaan yang menghadap atas, atau tidak bersentuhan dengan bekesting pada saat pengecoran karena biasanya permukaan ini bertekstur kasar yang terbentuk dari lapisan *laitance* beton.

2. Tentukan ketebalan grinding yang akan dilakukan
3. Tandai menggunakan spidol batas kedalaman grinding yang akan dilakukan
4. Mulailah grinding panel beton dengan cara mengikis perlahan-lahan panel.
5. Gerakan menggerinding dilakukan dengan mengulang-ulang lintasan grinding hingga mencapai ketebalan yang diharapkan. Disarankan tidak menekan alat grinding dengan kekuatan penuh dalam proses mengikis supaya kinerja alat tidak terlalu berat karena akan mempengaruhi *life time* dari mesin.
6. Ketika bagian tepian panel sudah mencapai garis batas ketebalan yang sudah dibuat, untuk memastikan kedataran dari hasil grinding panel gunakan besi hollow ukuran 2x4 cm sebagai alat jidar.
7. Tandai bagian yang dirasa masih terlalu tebal.
8. Gerinding lagi bagian-bagian yang kurang rata tersebut hingga panel dirasa sudah datar pada semua sisi.
9. Lakukan berulang pada semua benda uji.



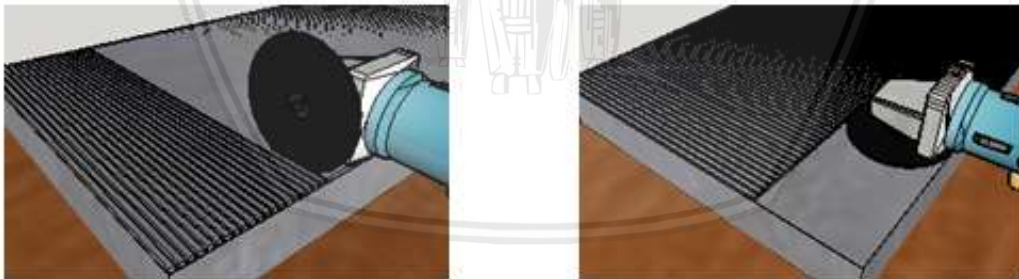
Gambar 4.3 Metode Grinding Langsung

Sumber : Analisa sendiri

Metode grinding yang kedua diterapkan yakni teknik mencacah bagian yang akan difinishing kemudian menggrinding untuk proses akhirnya. Pada teknik ini, peneliti mencacah menggunakan mata potong keramik terlebih dahulu. Tujuan pencacahan ini diharapkan membantu mengurangi beban mesin gerinda pada saat menggerinding panel beton dari kondisi awal beton yang sudah mengeras hingga permukaan panel terkikis setebal yang diharapkan. Proses pelaksanaan dari metode ini yakni:

1. Pilih bagian permukaan yang akan kita finishing, disarankan dipilih permukaan yang menghadap atas, atau tidak bersentuhan dengan bekesting pada saat pengecoran karena biasanya permukaan ini bertekstur kasar yang terbentuk dari lapisan *laitance* beton.
2. Tentukan ketebalan grinding yang akan dilakukan
3. Tandai menggunakan spidol batas kedalaman grinding yang akan dilakukan

4. Cacah panel beton menggunakan alat gerinda tangan yang dipasang *dry diamond wheel*.
5. Perkirakan kedalaman mata potong yang masuk kedalam panel agar proses pencacahan tidak terlalu dalam. Pada penelitian ini, pada proses pencacahan di bantu menggunakan besi untuk mengganjal gerinda supaya mata potong tidak masuk terlalu dalam.
6. Pencacahan dilakukan secara vertikal dari arah panel dengan jarak 2 sampai 3 mm antar tiap cacahan.
7. Mulailah grinding panel beton dengan cara mengikis perlahan-lahan panel dengan berpedoman pada garis tepi yang sudah dibuat sesuai rencana.
8. Gerakan menggerinding dilakukan dengan mengulang-ulang lintasan grinding hingga mencapai ketebalan yang diharapkan. Disarankan tidak menekan alat grinding dengan kekuatan penuh dalam proses mengikis supaya kinerja alat tidak terlalu berat karena akan mempengaruhi *life time* dari mesin.
9. Ketika bagian tepian panel sudah mencapai garis batas ketebalan yang sudah dibuat, untuk memastikan kedataran dari hasil grinding panel gunakan besi hollow ukuran 2x4 cm sebagai alat jidar.
10. Tandai bagian yang dirasa masih terlalu tebal.
11. Gerinding lagi bagian-bagian yang kurang rata tersebut hingga panel dirasa sudah datar pada semua sisi.
12. Lakukan berulang pada semua benda uji.



Gambar 4. 4 Metode Cacah Terlebih Dahulu Kemudian Grinding

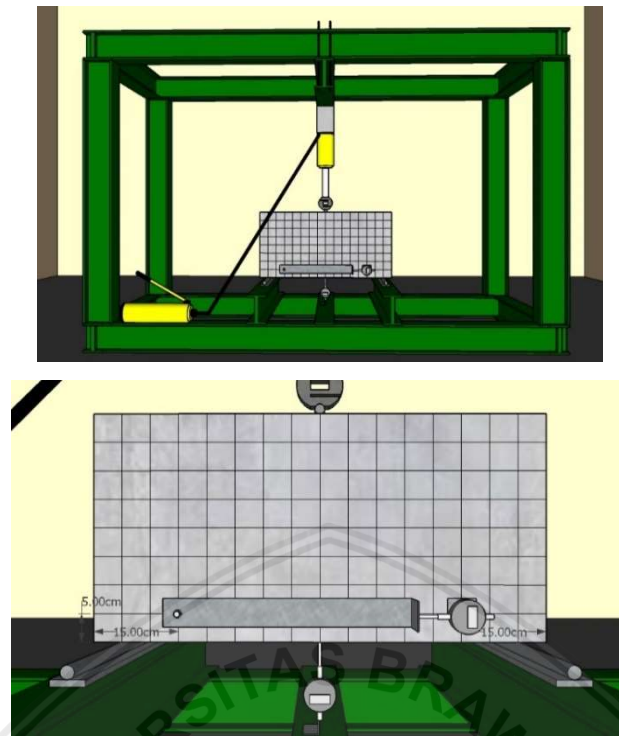
Sumber : Analisa sendiri

4.6. Rancangan Penelitian

Bab ini menjelaskan lebih jauh dari Analisis Preliminary Penelitian tentang setting alat dan parameter yang bisa diamati selama pengujian

4.6.1. Setting Alat

Berdasarkan pemikiran yang sudah tertuang pada pembahasan sebelumnya, berikut peneliti coba visualisasikan rencana setting alat pengujian terhadap benda uji yang akan dilaksanakan.



Gambar 4.5 Rencana Setting Alat dan Benda Uji

Sumber : Analisa sendiri

Dari **Gambar 4.1** dapat kita lihat pengujian menggunakan model *three point flexural test*. Tumpuan yang dipakai berupa sendi roll yang dipasang dengan jarak antar tumpuan sebesar 70 cm menyisakan 5 cm ke tepi panel dengan alasan runtuh yang diharapkan berupa runtuh lentur di tengah bentang. LVDT vertikal dipasang dibawah pada tengah bentang digunakan untuk pembaca lendutan ketika beban diberikan. Sedangkan LVDT horizontal dipasang 5 cm dari tepi terbawah panel digunakan sebagai pembaca regangan ketika beban diberikan. Diantara *hydraulic jack* dan penyalur beban, dipasang *load cell* sebagai pembaca beban yang akan diberikan pada panel. Pada setiap variabel benda uji, dipasang 1 strain gauge beton yang diletakkan 2 cm dari tepi atas panel di bagian tengah bentang yang digunakan sebagai pembaca regangan tekan dari panel beton.

4.6.2. Parameter yang diamati

Dari seting alat dan variabel benda uji yang telah disiapkan maka parameter – parameter yang akan dibaca untuk dikaji lebih lanjut disiapkan form pengujian seperti pada tabel berikut ini.

Tabel 4. 1 Form properti panel beton Onyx

No	Panel	Material	Perlakuan	Dimensi	Berat
1	O-0-I	Beton Onyx	Tanpa <i>grinding</i>	800 x 400 x 60	
2	O-2-I	Beton Onyx	<i>Grinding 2 mm</i>	800 x 400 x 58	
3	O-4-I	Beton Onyx	<i>Grinding 4 mm</i>	800 x 400 x 56	

Sumber : Analisa sendiri

Tabel 4. 2 Form pengamatan pengujian

N o	Bacaan Dial gauge (kg)	Bacaan LVDT Horizontal	Bacaan LVDT Vertikal	Bacaan <i>Strain</i> <i>Gauge</i> (μm)	Keterangan Kejadian
1	100				
2	200				
3	300				
4	400				
5	500				
dst					

Sumber : Analisa sendiri

4.7. Prosedur Penelitian

Adapun langkah – langkah pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

4.7.1. Analisa Teori Awal

Parameter – parameter penelitian yang telah ditetapkan dalam penelitian ini kemudian dapat digunakan untuk prediksi awal secara analitis. Data parameter penelitian bisa saja terjadi perubahan karena menyesuaikan dengan pelaksanaan pengujian. Sehingga data hasil analisis bersifat sementara yang digunakan untuk asumsi dan prediksi awal dari sifat mekanis benda uji.

4.7.2. Tahap Persiapan

Setelah dilakukan tahap analisa teori awal, maka tahapan selanjutnya adalah tahapan persiapan. Dalam tahap ini yang dilakukan adalah persiapan bahan dan perlengkapan dengan tujuan agar selama penelitian, semua kebutuhan bahan dan perlengkapan yang digunakan adalah bahan yang sudah siap pakai dan sesuai dengan persyaratan yang telah diatur. sehingga nantinya didapatkan hasil yang baik, terukur dan sesuai dengan standar peraturan. Adapun langkah – langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Persiapan alat dan bahan pengujian yang sudah di rencanakan.
2. Pastikan semua alat tersedia dan dapat bekerja sebagaimana fungsinya, jika terdapat error dalam pembacaan lebih baik dikalibrasi ulang.
3. Pastikan benda uji masih dalam kondisi baik secara pandangan visual. Tidak terdapat retak, pecah, dan cacat produk saat pembuatannya. Hal ini ditujukan untuk menghindari kesalahan data yang akan diperoleh dalam pengujian.

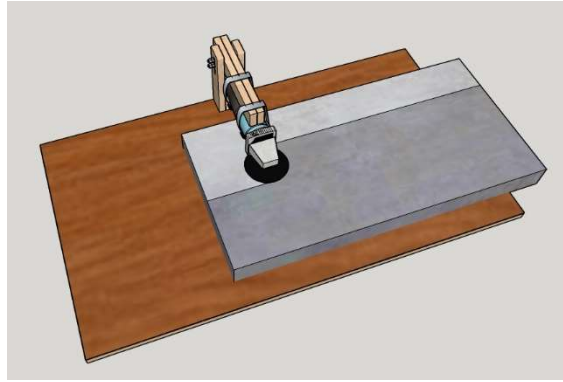
4.7.3. Tahap Perencanaan Variabel Benda Uji

Dalam setiap pengujian selalu didapat 2 jenis variabel, yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Berikut adalah penjelasan variabel bebas dan terikat dalam pengujian ini.

- a. Variabel bebas (*Independent variabel*) merupakan variabel yang mempengaruhi atau menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel terikat (*Dependent variabel*). Variabel bebas juga merupakan variabel yang menyebabkan atau memengaruhi, yaitu faktor-faktor yang diukur, dimanipulasi atau dipilih oleh peneliti untuk menentukan hubungan antara fenomena yang diobservasi atau diamati. Sehingga, variabel bebas benda uji yang dilakukan adalah dengan cara menggrinding salah satu permukaan dari panel beton. Dalam penelitian ini, digunakan 6 variabel bebas dalam pengujian kuat lentur panel beton, yakni:

1. Panel beton onyx tanpa *grinding* dengan kode panel O-0-I, O-0-II, dan O-0-III
2. Panel beton onyx *grinding* 2 dengan kode panel O-2-I, O-2-II, dan O-2-III
3. Panel beton onyx *grinding* 3 dengan kode panel O-3-I, O-3-II, dan O-3-III
4. Panel beton onyx *grinding* 4 dengan kode panel O-4-I, O-4-II, dan O-4-III

Grinding panel beton menggunakan gerinda tangan dengan mata *grinding* khusus untuk beton yang dilakukan secara manual tanpa alat bantu dudukan. Agar hasil dari *grinding* yang dilakukan rata, dilakukan pemberian tanda keliling di panel beton yang akan di *grinding*. Untuk mengecek kerataan bagian tengah dari panel, digunakan bantuan jidar dari besi. Mata gerinda yang digunakan terdiri dari 2 yakni mata gerinda kasar yang digunakan mengurangi ketebalan dan mata gerinda halus sebagai *finishing* menghaluskan permukaan.



Gambar 4.6 Proses pemolesan

Sumber : Analisa sendiri

- b. Variabel terikat (Dependent variabel) merupakan variabel yang dipengaruhi atau menjadi akibat, karena adanya variabel bebas. Faktor – faktor yang ada pada variabel terikat adalah yang menjadi bahan observasi dan akan terlihat pengaruh dari variabel bebas. Sehingga, yang merupakan variabel terikat dalam penelitian ini adalah Kapasitas beban ultimate, deformasi, regangan beton pada daerah tarik dan tekan dan juga pola retak dari benda uji panel.

4.7.4. Tahap Pengujian

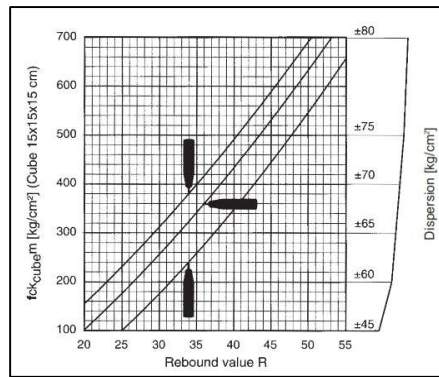
Beberapa kegiatan penelitian yang dilakukan dalam uji laboratorium adalah sebagai berikut :

a. Uji Hammer Test

Pengujian panel dilakukan untuk mendapatkan kuat tekan beton secara non-destruktif.

Berikut tahapan pengujian hammer test pada panel beton:

1. Panel beton di tumpuk sebanyak 10 buah
2. Uji hammer test pada panel beton dilakukan mulai panel terbawah hingga panel urutan ke-5, sedangkan panel urutan no 6-10 difungsikan sebagai pemberat 5 panel terbawah.
3. Lakukan pembacaan pada 1 titik yang sama sebanyak minimal 10 kali, catat setiap pembacaan
4. Lakukan pada 2 titik pembacaan pada setiap panel beton
5. Rata-rata hasil bacaan pada setiap panel beton, hasil rataaan di konversi ke kuat tekan menggunakan grafik berikut ini



Gambar 4.7 Grafik konversi bacaan pada hammer test terhadap kuat tekan beton

Sumber : Tertera pada alat yang dipakai

b. Uji *Panel Properties*

Berikut adalah tahapan dalam pengujian lentur dari panel beton:

1. Mengambil benda uji dari tempat perawatan
2. Mengukur dimensi
3. Menimbang berat
4. Lakukan pada semua benda uji satu per satu.

c. Uji Lentur Panel Beton

Berikut adalah tahapan dalam pengujian lentur dari panel beton:

1. Mempersiapkan *loading frame* dengan cara mengatur ketinggian *hydraulic piston* yang sudah terhubung dengan *load cell* sesuai dengan ketinggian dari panel dan *space* untuk mempermudah pemasangan panel (40 cm + 3 cm) dari permukaan tumpuan.
2. Mengatur lebar jarak antara 2 tumpuan sendi roll sejauh 70 cm.
3. Mengambil benda uji dari tempat penyimpanan.
4. Meletakkan benda uji pada *Loading Frame* secara sentris.
5. Memasang LVDT pada lokasi yang ditentukan (lihat **Gambar 4.5**) kemudian di set dan catat pembacaannya.
6. Pengujian dimulai dengan pemberian beban axial vertikal dengan cara memompa *hydraulic jack* dengan pertambahan beban sebesar 100 kg tiap pemompaan.
7. Mencatat deformasi tiap pembebanan serta regangan yang terjadi pada di pembacaan alat data logger.
8. Melakukan langkah-langkah di atas sesuai dengan jumlah benda uji yang akan diperiksa.
9. Tahap Analisa

Dengan menggunakan turunan rumus kuat lentur beton,

$$f_r = \frac{3 \cdot P \cdot I}{2 \cdot b \cdot d^2}$$

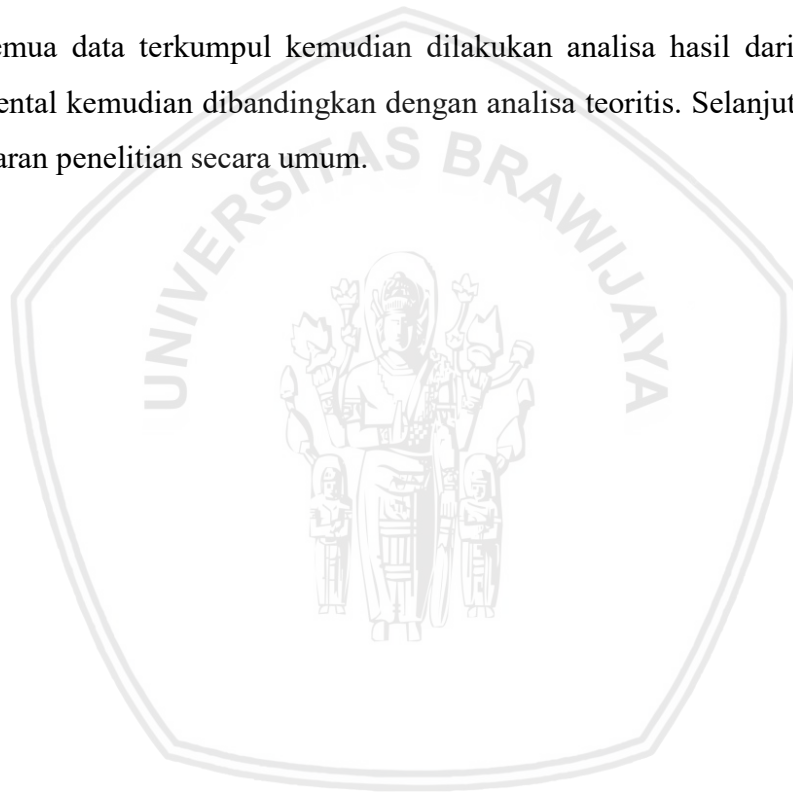
Menjadi

$$P = \frac{2 \cdot b \cdot d^2}{3 \cdot I}$$

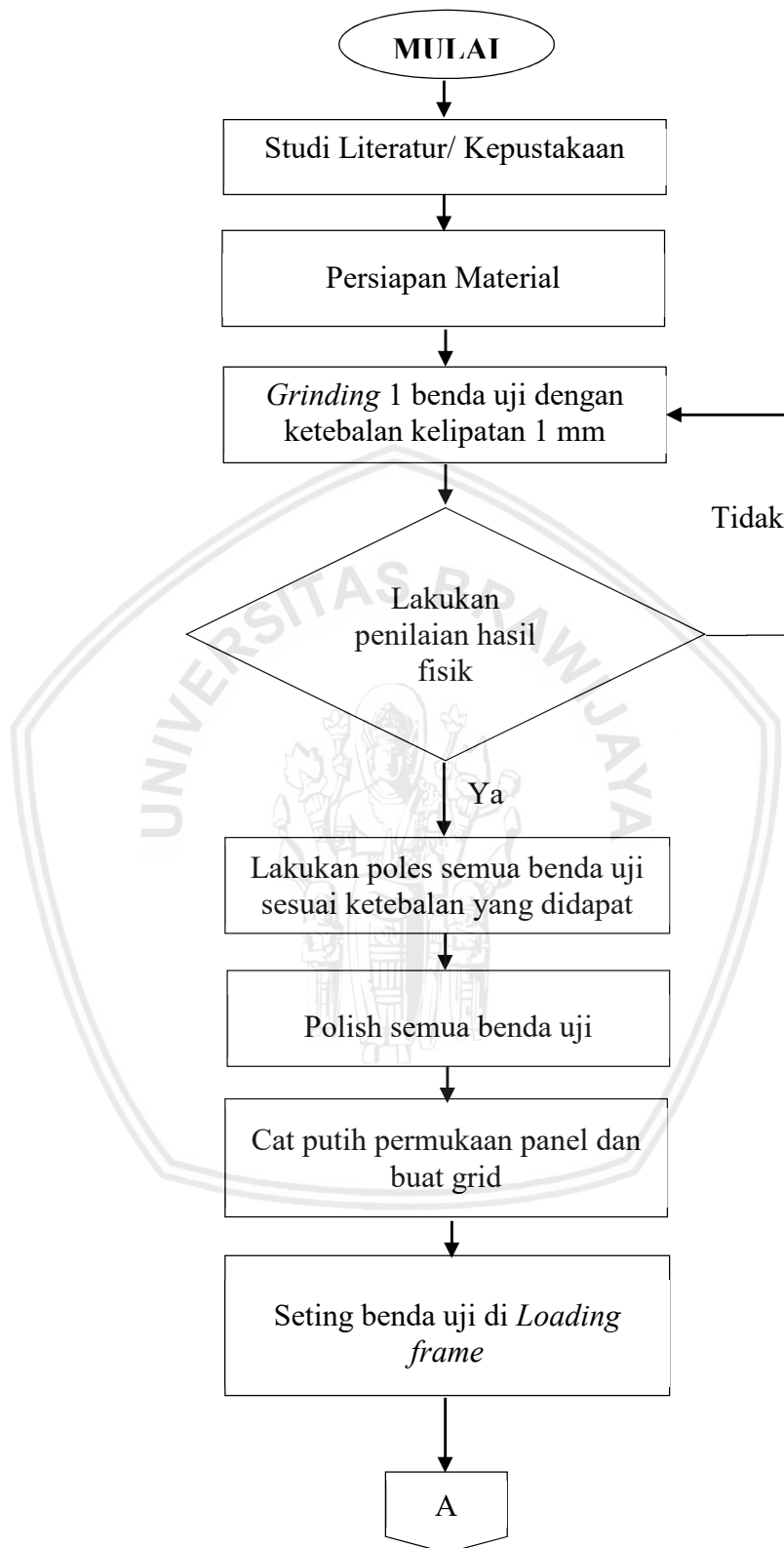
kita dapat memperkirakan beban yang akan mengakibatkan panel beton mengalami retak. Berdasarkan hasil analisa perhitungan, beban yang mampu di tahan oleh panel saat mengalami retak sebesar 3593 kg, 3353 kg, 3615 kg, 3495 kg, 3374 kg untuk panel beton normal non-grinding, panel beton normal grinding 4 mm, panel beton onyx non-grinding, panel beton onyx grinding 2 mm, dan panel beton onyx grinding 4 mm berturut-turut.

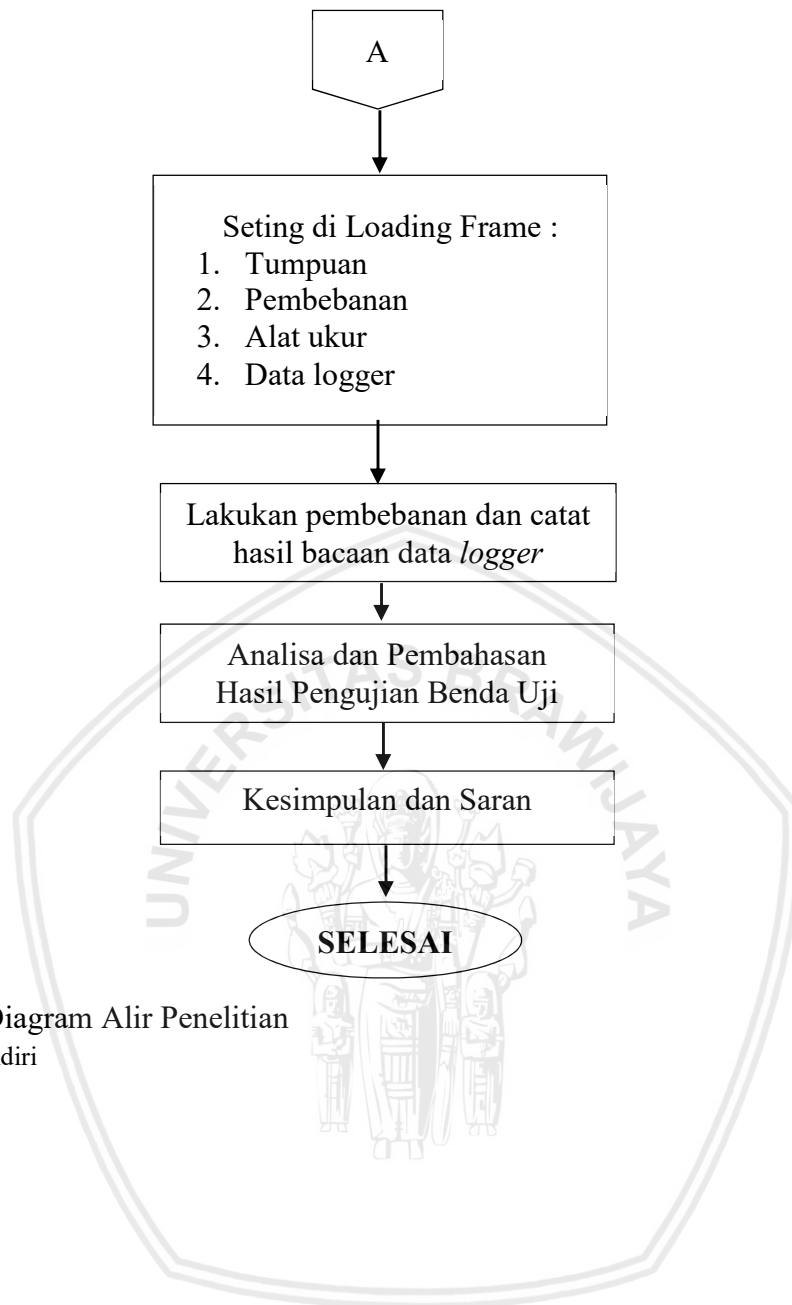
10. Penutup

Setelah semua data terkumpul kemudian dilakukan analisa hasil dari penelitian. Analisa eksperimental kemudian dibandingkan dengan analisa teoritis. Selanjutnya, ditarik kesimpulan dan saran penelitian secara umum.



4.8. Diagram Alir Penelitian





Gambar 4.8 Diagram Alir Penelitian

Sumber : Analisa sendiri

BAB V PEMBAHASAN

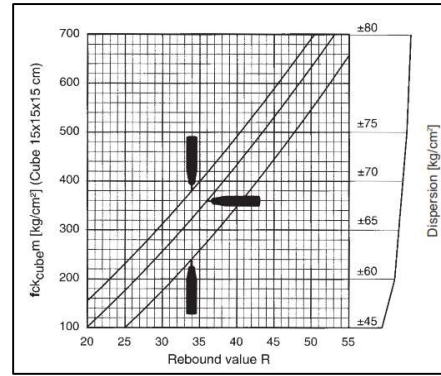
5.1. Material Properties

Penelitian ini merupakan rangkaian dari penelitian mengenai pemanfaatan limbah batu onyx yang dikelola menjadi bahan pengganti agregat kasar pada penyusun beton segar. Sifat fisik dan mekanis dari batu onyx dan bahan penyusun lainnya tidak lakukan pengujian ulang di penelitian ini, melainkan mengacu pada penelitian terdahulu. Dalam penelitian ini akan dipaparkan beberapa hasil pengujian material yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Teknik Sipil, Universitas Brawijaya. Adapun pengujian yang telah dilakukan yakni:

- a. Kuat beton silinder (data skunder, dilakukan peneliti sebelumnya)
- b. Kuat tarik tulangan baja (data skunder, dilakukan peneliti sebelumnya)
- c. Hammer test
- d. Panel properties

5.1.1. Hammer test

Pada saat melakukan pengujian kapasitas lentur dari panel beton, umur benda uji panel sudah memasuki umur 1 tahun, oleh karena itu dilakukan pengujian non-destruktif dengan menggunakan *hammer test*. Hammer test yang dipakai *Schmidt Concrete Test Hammer N Type (Proceq)*. Pengujian *hammer test* dilakukan dengan cara menembakkan 10 kali pada 1 benda uji panel beton di tempat yang sama. Selanjutnya merata-rata bacaan pada alat. Nilai kekuatan tekan dapat dibaca dari diagram konversi yang sudah disediakan oleh produsen *hammer test*. Diagram yang disediakan adalah bacaan karakteristik kuat tekan pada kubus ($15 \times 15 \times 15$ cm) oleh karena itu perlu dikonversi terhadap kuat tekan silinder (MPa). Hasil pengujian kuat tekan menggunakan Hammer Test digunakan sebagai dasar analisa perhitungan kuat lentur panel. Hal ini dikarenakan hasil pengujian kuat tekan silinder beton sudah dianggap tidak relevan lagi.



Gambar 5. 1 Hammer Test Yang Digunakan Dan Diagram Konversi Bacaan Pada Alat Terhadap Kuat Tekan Beton

Sumber : Tertera pada alat yang dipakai

Tabel 5. 1 Konfersi Kuat Tekan Beton Berdasarkan Benda Uji

No	Benda Uji	Pembanding Kuat Tekan
1	Kubus 15 × 15 × 15 cm	1,00
2	Kubus 20 × 20 × 20 cm	0,95
3	Silinder 15 × 30 cm	0,83

Sumber PBI – 1971

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Hammer Test

No	Panel	Bacaan Hammer Test										Rata - rata	Kuat tekan (kg/cm ²)	Konfersi fc' (Mpa)	Rata - rata (MPa)
1	O - 0 - 1	42	42	39	40	37	42	46	41	48	50	42.70	487	40.38	40.68
2	O - 0 - 2	48	45	49	43	45	41	42	46	52	43	46.00	552	45.85	
3	O - 0 - 3	40	38	42	37	39	42	42	41	40	41	39.20	419	34.81	
4	O - 2 - 1	42	42	42	42	40	43	42	44	42	40	41.60	465	38.61	
5	O - 2 - 2	42.5	42	38	42	40	44	44	40	38	40	40.90	452	37.49	
6	O - 2 - 3	44	48	48	46	48	43	44	43	46	42	46.80	569	47.20	
7	O - 4 - 1	43	43	43	45	50	42	48	47	52	50	44.80	528	43.84	
8	O - 4 - 2	43	47	43	43	44	42	40	39	40	42	44.00	512	42.51	
9	O - 4 - 3	40	43	39	35	41	43	47	49	45	52	39.60	427	35.44	

Hasil Pengamatan di Laboratorium

Dari hasil pengujian hammer test pada panel yang berumur sekitar 1 tahun, menunjukkan bahwa kekuatan tekan dari beton mengalami peningkatan. Kuat tekan tekan rata-rata pada panel onyx adalah sebesar 40,68 MPa. Rasio peningkatan kekuatan tekan yang terjadi sebesar 1,55 kali pada beton onyx. Jika mengacu pada rasio kuat tekan terhadap umur beton yang di atur oleh PBI – 1971, seharusnya kuat tekan rata-rata beton pada umur 1 tahun mengalami peningkatan 1,35 kali dari umur 28 hari. Berdasarkan rasio peningkatan kuat tekan beton antara beton normal dan beton onyx, menunjukkan bahwa beton onyx mengalami peningkatan yang lebih besar daripada beton normal pada kurun waktu 28 hari –

1 tahun. Namun pada 0 – 28 hari, rasio peningkatan kekuatan beton onyx tidak dapat menyamai beton normal.

5.1.2. Panel properties

Pembuatan benda uji panel menggunakan formwork yang terbuat dari papan triplek dan kayu, bukan terbuat dari formwork yang berbahan plat besi. Oleh karena itu, dalam masa pencetakan beton terjadi lendutan pada papan triplek akibat tekanan beton segar. Hal ini menjadikan adanya selisih dimensi antar tiap benda uji. Maka dilakukanlah penimbangan panel, pengukuran dimensi panel, pengukuran letak tulangan. Hasil pengukuran dapat dilihat paad tabel berikut ini.

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Panel Properties

No	Panel	Dimensi (cm)			Berat (kg)	Tulangan (cm dari sisi bawah)		
		l	b	h		atas	tengah	bawah
1	O - 0 - 1	70.0	6.0	40.0	47.25	28.5	19.0	8.5
2	O - 0 - 2	70.0	6.0	40.3	47.30	29.5	18.5	9.5
3	O - 0 - 3	70.0	6.0	40.1	45.76	31.0	19.8	7.5
4	O - 2 - 1	70.0	5.8	40.1	49.75	30.0	20.4	10.2
5	O - 2 - 2	70.0	5.8	40.2	46.36	29.5	20.3	11.0
6	O - 2 - 3	70.0	5.8	40.3	47.68	30.5	19.3	9.1
7	O - 4 - 1	70.0	5.6	40.3	44.55	31.0	22.5	11.0
8	O - 4 - 2	70.0	5.6	39.8	41.49	29.0	20.0	11.0
9	O - 4 - 3	70.0	5.6	40.2	45.30	30.5	19.2	10.5

Hasil Pengamatan di Laboratorium

5.2. Grinding Panel Onyx

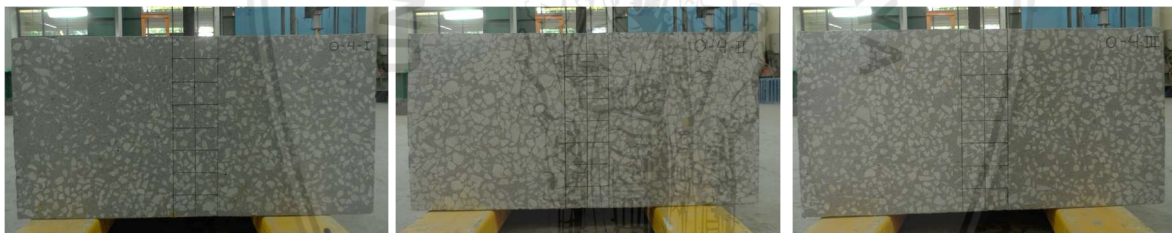
Ada beberapa cara untuk melakukan finishing pada panel beton seperti, pengecatan, beton ekspose (concrete look), dan mengekspose agregat kasar. Untuk mengekspose agregat kasar sendiri ada beberapa cara seperti polishing (mengupas tipis lapisan beton untuk memberikan kesan yang halus), grinding (mengupas permukaan lapisan mortar beton hingga mengikis agregat kasar), *ampyangan* (menaburkan koral sikat pada permukaan beton yang setengah mengeras). Dalam penelitian ini, finishing yang dilakukan adalah menggunakan teknik grinding. Teknik grinding dipilih karena limbah batu onyx yang di pakai berbentuk agregat pecah yang memiliki ujung-ujung yang tajam sehingga tidak mungkin jika metode yang dipakai seperti metode *ampyangan*. Harapan dari proses grinding yakni, agregat kasar yang tertanam di dalam beton keras akan terekspose dengan halus ketika permukaan beton keras dikikis dengan ketebalan tertentu.

5.2.1. Hasil grinding

Pada pengujian ini, perlakuan yang diberikan pada spesimen yakni grinding setebal 2 dan 4 mm. Perubahan terlihat sangat signifikan pada panel yang belum di grinding dan panel sesudah digrinding. Panel beton yang belum digrinding terlihat sangat kaku dengan warna abu-abu monotone. Berbeda dengan panel beton yang sudah mengalami grinding, panel tersebut memiliki nilai artistik dengan corak dari agregat kasar limbah batu onyx berwarna putih. Pada panel dengan hasil grinding setebal 2 mm dan 4 mm memiliki persentase agregat kasar yang terlihat. Pada panel dengan grinding 4 mm, persentase limbah onyx lebih dominan daripada warna abu-abu beton. Hasil proses grinding pada panel dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5. 2 Panel Beton Onyx Dengan Ketebalan Grinding 2mm



Gambar 5. 3 Panel Beton Onyx Dengan Ketebalan Grinding 4mm



Gambar 5. 4 Panel Beton Normal Dengan Ketebalan Grinding 4mm

Hasil Pengamatan di Laboratorium

Agregat kasar yang terlihat pada panel yang sudah digrinding, akan dibandingkan dengan total permukaan dari panel. Akan didapat persentase agregat kasar yang terlihat dari panel setelah proses finishing. Hasil pengukuran dan perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. 4 Prosentase Agregat Terlihat Akibat Proses Grinding

	Spesimen I	Spesimen II	Spesimen III	Rata ²
Panel Onyx grinding 2 mm	2 %	1.5 %	2 %	1.8 %
Panel Onyx grinding 4 mm	31 %	40%	34%	35 %
Panel Normal grinding 4 mm	30 %	32 %	28 %	30 %

Hasil Pengamatan di Laboratorium

Pada ketebalan grinding 2 mm masih belum menampilkan agregat kasar secara signifikan. Pada grinding dengan ketebalan 4 mm agregat kasar sudah terlihat signifikan. Jika di ukur tiap-tiap agregat kasar yang tampak, rata-rata diameter agregat sebesar 2 cm. Dapat disimpulkan pada ketebalan 0-2 mm dari permukaan, mortar menjadi pengisi dominan dari beton keras. Pada ketebalan 2 mm dan seterusnya, agregat kasar sudah mulai dominan menjadi penyusun dari beton keras.

5.2.2. Waktu pelaksanaan dan koefisien pekerjaan

Dalam dunia bisnis konstruksi, semua metode yang ditawarkan akan selalu ditinjau tingkat efektifitas pekerjaan, biaya pekerjaan, waktu pelaksanaan, dampak terhadap lingkungan, dan lain sebagainya. Oleh karena itu, dalam bab ini akan dibahas mengenai perkiraan biaya pelaksanaan finishing dengan metode grinding. Perhitungan biaya didapat dengan cara mengkonversi waktu pengerjaan tiap panel menjadi koefisien pekerjaan, kemudian mengalikan dengan harga satuan upah pekerja.

Tabel 5. 5 Perbandingan waktu grinding

	Metode I		Metode II	
	Waktu Pengerjaan (menit/m ²)	Koefisien Pekerja	Waktu Pengerjaan (menit/m ²)	Koefisien Pekerja
Panel Onyx grinding 2 mm	34	0.071		
Panel Onyx grinding 4 mm	85	0.177	58	0.121
Panel Normal grinding 4 mm	92	0.192	64	0.133

Hasil Pengamatan di Laboratorium dan Perhitungan Sendiri

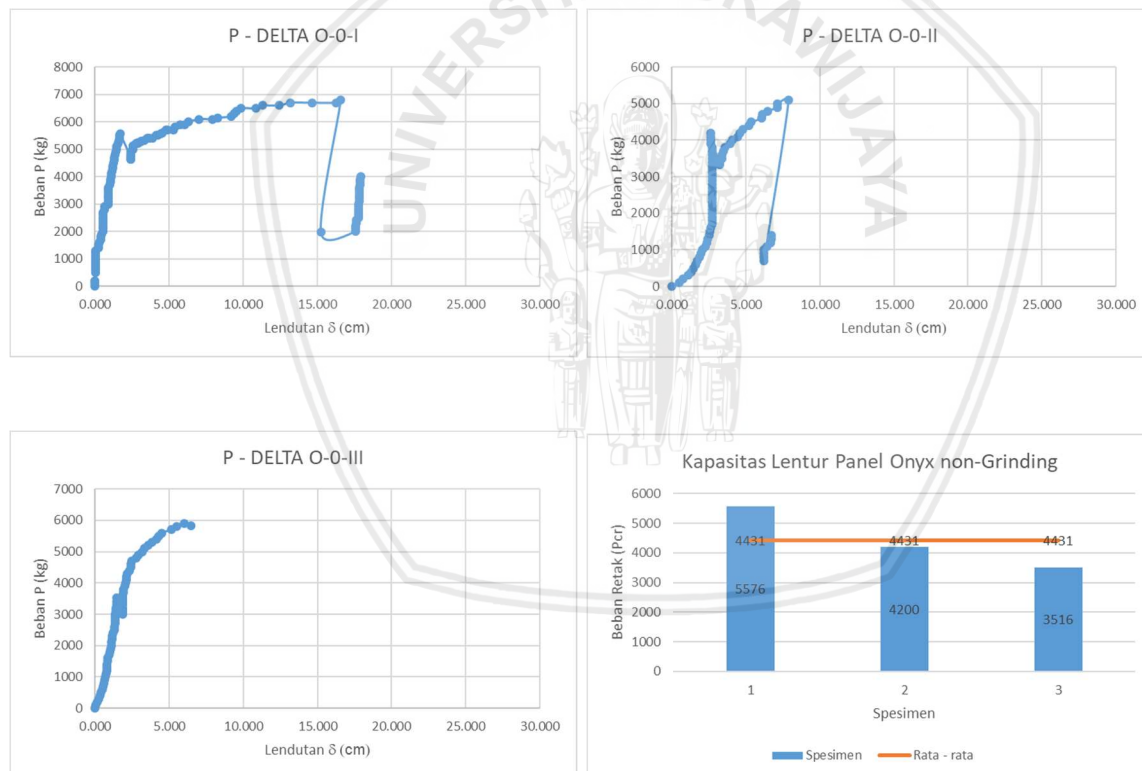
Finishing dengan metode I yakni grinding langsung, memakan waktu yang lebih lama daripada metode II. Dengan demikian, upah yang dikeluarkan untuk pekerja akan semakin besar. Sedangkan pada metode II biaya yang dikeluarkan untuk membayar upah pekerja dinilai lebih kecil, namun pada penggunaan metode ini membutuhkan 2 jenis mata gerinda yang dipakai. Penggunaan 2 jenis mata gerinda ini tidak dapat dianalisa dengan yang menggunakan 1 jenis mata gerinda. Hal ini dikarenakan keterbatasan benda uji, sehingga peneliti tidak bisa mengamati sejauh mana mata gerinda harus diganti dengan yang baru dan perbedaan biaya pergantian mata gerinda yang dipakai.

5.3. Kapasitas Lentur

Berdasarkan hasil rencana penggunaan dilapangan, maka pengujian yang dilakukan adalah pengujian dengan memberikan beban in-plane pada panel dengan metode *three points loaded*. Hipotesis yang penulis simpulkan dari kajian literatur, kapasitas lentur panel akan mengalami penurunan karena tebal panel yang berkurang akibat pengikisan. Pada sub-bab ini, akan membahas sampai panel onyx mengalami retak pertama. Hal ini dikarenakan fungsi panel onyx sebagai dinding partisi. Panel yang sudah retak dianggap tidak layak menjadi komponen arsitektural dan harus segera diperbaiki atau diganti.

5.3.1. Spesimen Panel Onyx Tanpa Grinding

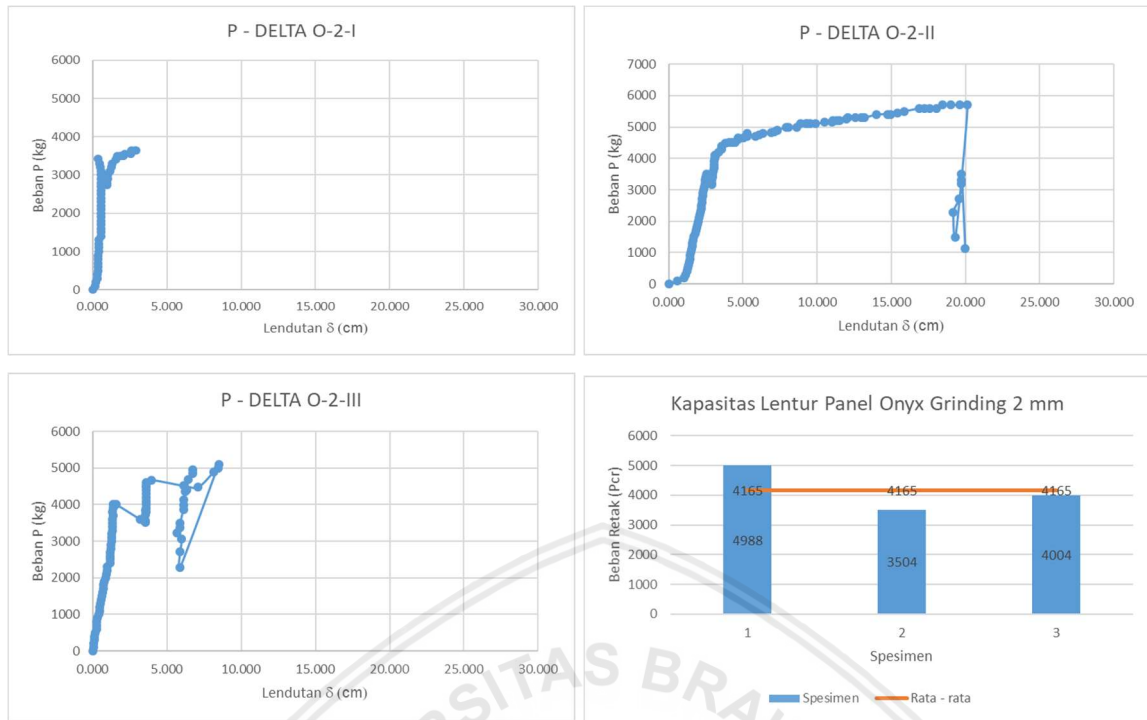
Pengujian panel beton normal tanpa grinding dilakukan pada 3 spesimen benda uji. Hasil pengujian dapat dilihat pada grafik berikut. Dari hasil pengujian didapat rata-rata beban retak sebesar 4557 kg.



Gambar 5. 5 Hasil Pengujian Spesimen Panel Onyx Tanpa Grinding
Hasil Pengamatan di Laboratorium

5.3.2. Spesimen Panel Onyx dengan grinding 2 mm

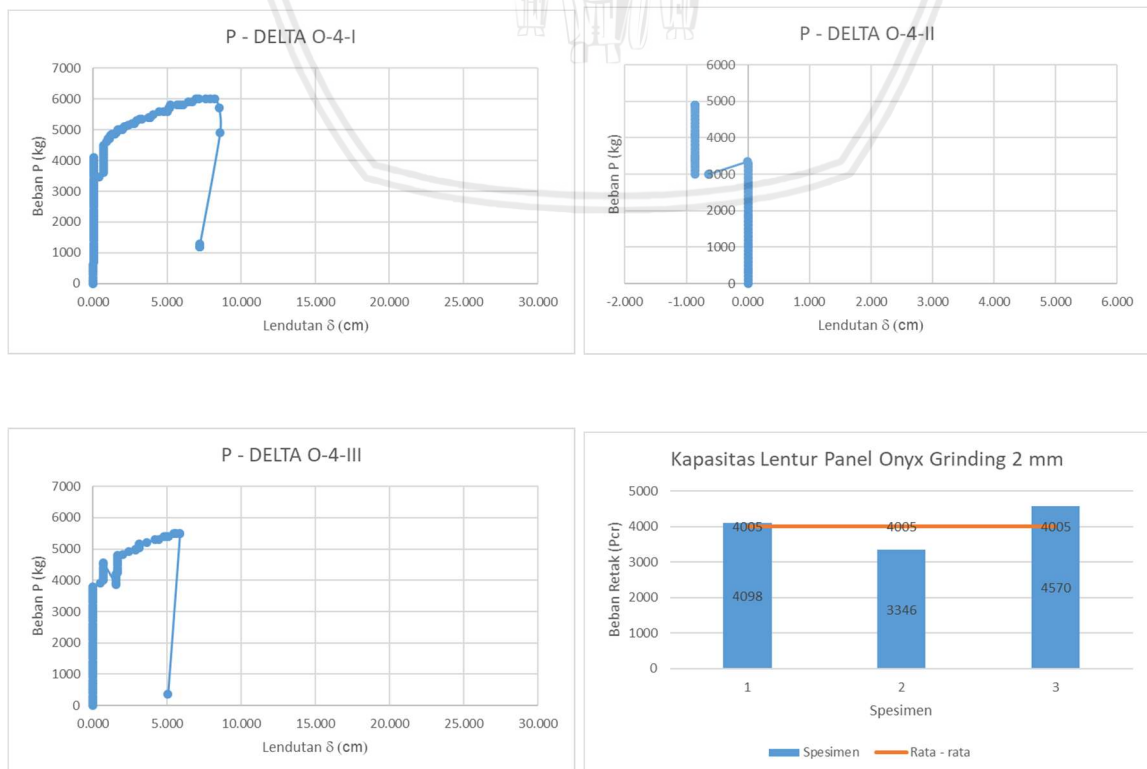
Pengujian panel beton normal tanpa grinding dilakukan pada 3 spesimen benda uji. Hasil pengujian dapat dilihat pada grafik berikut. Dari hasil pengujian didapat rata-rata beban retak sebesar 4165 kg.



Gambar 5. 6 Hasil Pengujian Spesimen Panel Onyx Dengan Grinding 2 mm Hasil Pengamatan di Laboratorium

5.3.3. Spesimen Panel Onyx dengan grinding 4 mm

Pengujian panel beton normal tanpa grinding dilakukan pada 3 spesimen benda uji. Hasil pengujian dapat dilihat pada grafik berikut. Dari hasil pengujian didapat rata-rata beban retak sebesar 4005 kg.



Gambar 5. 7 Hasil Pengujian Spesimen Panel Onyx Dengan Grinding 4 mm
 Hasil Pengamatan di Laboratorium

5.3.4. Analisa Panel

Hipotesis mengenai berkurangnya kapasitas lentur akibat proses grinding dapat di buktikan setelah pengujian. Berkurangnya kapasitas lentur perlu di bandingkan dengan dimensi dari panel itu sendiri. Karena kita juga perlu mengetahui berkurangnya tebal akibat grinding dapat memperlemah panel, atau masih memiliki kekuatan yang sama dalam menahan beban. Peneliti akan membandingkan rasio momen retak dan inersia dari masing2 perlakuan. Mengingat momen adalah gaya luar yang bekerja hingga membuat panel mengalami retak dan inersia itu sendiri adalah kecenderungan semua benda fisik untuk menolak perubahan terhadap keadaan geraknya.

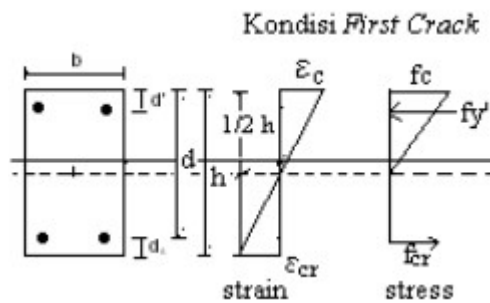
Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Lentur

Keterangan	Keterangan	O - 0	O - 2	O - 4	sat
bentang (l)	hasil pengamatan	70.00	70.00	70.00	cm
tebal (b)	hasil pengamatan	6.00	5.80	5.60	cm
tinggi (h)	hasil pengamatan	40.00	40.00	40.00	cm
Pcr (rata²)	hasil pengamatan	4431	4165	4005	kg
Mcr	1/4 P.l	77537	72893	70082	kg.cm
Inersia (I)	1/12 b.h ³	32000	30933	29867	cm ⁴
Rasio	M/I	2.42	2.36	2.35	
Penurunan kekuatan		0.00	2.75	3.16	%

Hasil perhitungan sendiri

Dapat disimpulkan, pada panel beton dengan agregat batu split perubahan kapasitas momen lentur banding momen inersia bidang mengalami penurunan sebesar 0,89%. Hal ini menunjukkan hampir tidak ada perubahan kapasitas lentur. Sedangkan pada panel beton dengan agregat batu onyx, mengalami penurunan 2,75 % pada grinding 2 mm dan 3,16 % pada grinding 4 mm. Melihat hasil pengujian tersebut, peneliti menyimpulkan, perubahan kapasitas lentur hanya dipengaruhi oleh perubahan tebal dari panel. Sedangkan faktor lain seperti retak awal akibat grinding, getaran dan abrasi pada permukaan panel dianggap tidak berpengaruh secara signifikan.

5.3.4.1. Balok Normal



Gambar 5. 8 Kondisi Retak Pertama

Sumber : (Park & Paulay, 1975)

Gambar 5. 8 menggambarkan kondisi saat retak pertama. Diasumsikan garis netral terletak pada titik berat penampang beton, dan tegangan tarik beton terluar telah mencapai tegangan tarik maksimum beton (f_{cr}), sehingga didapatkan momen dan kelengkungan pada retak pertama. Peneliti ingin melihat fenomena retak yang terjadi pada balok konvensional dapat mendekati hasil pengujian pada panel. Menurut (Eka Fajar Suprayitno, 2018) kapasitas tarik beton dengan agregat kasar onyx dengan beton menggunakan agregat kasar krikil tidak mengalami perbedaan yang signifikan. oleh karena itu perhitungan Tegangan tarik maksimum beton didekati menggunakan persamaan,

$$f_r = 0,62 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \quad (\text{SNI 2847-2013 (9-10)})$$

$$f_{r(\text{rata-rata onyx})} = 0,62 \cdot 1 \cdot \sqrt{40,68} = 3,95 \text{ MPa}$$

Maka didapat tegangan tarik maksimum untuk beton dengan agregat batu kerikil sebesar 3,93 MPa, dan untuk beton dengan agregat batu onyx sebesar 3,95 MPa. Dari data pendekatan analitis mengenai tegangan tarik maksimum beton, dilakukan perhitungan secara analitis momen lentur maksimum yang mampu ditahan oleh panel hingga panel mengalami retak pertama. Dengan demikian kita dapat mengetahui beban yang mampu ditahan oleh panel hingga mencapai retak pertama dengan menggunakan persamaan,

$$M = \frac{\sigma \cdot I}{y} \quad \text{dan} \quad P = \frac{4 \cdot M}{l}$$

$$\text{maka} \quad P = \frac{4 \cdot \sigma \cdot I}{l \cdot y}$$

hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut:

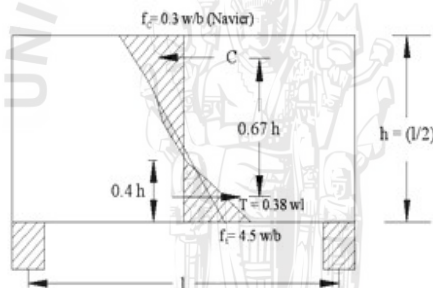
Tabel 5. 7 Analisa Menggunakan Balok Normal

Keretangan	Uraian	Beton	Beton	Beton	sat
		Onyx (0)	Onyx (2)	Onyx (4)	
Kuat tekan (f_c')	hammer test	40.68	40.68	40.68	MPa
Dimensi	L	70.00	70.00	70.00	cm
	h	40.00	40.00	40.00	cm
	b	6.00	5.80	5.60	cm
Kuat tarik (f_t)	$0.62 \lambda \sqrt{f_c}$	3.95	3.95	3.95	MPa
I	$1/12 b \cdot h^3$	32000	30933	29867	cm ⁴
P_(cr)	$(4 \cdot \sigma \cdot I) / (y \cdot l)$	3615	3495	3374	kg

Hasil perhitungan sendiri

Berdasarkan hasil analisa perhitungan, beban yang mampu di tahan oleh panel adalah sebesar 3615 kg, 3495 kg, 3374 kg untuk panel beton onyx non-grinding, panel beton onyx grinding 2 mm, dan panel beton onyx grinding 4 mm berturut-turut.

5.3.4.2. Balok tinggi



Gambar 5. 9 Distribusi Tegangan Lentur Pada Balok Tinggi

Sumber : Leonhardt and Walther (1966) dan Park and Paulay (1975)

Gambar 5. 9 menggambarkan distribusi tegangan lentur horizontal pada balok tinggi dengan rasio $l/h=2$. Distribusi tegangan ini dipilih karena rasio $l/h = 70/40 = 1,75$. Pada sub-bab ini menghitung nilai P kritis yang mampu di tahan oleh panel hingga panel mengalami retak pertama. Pendekatan yang dipakai untuk mengetahui P kritis sebagai berikut,

$$f_r = 4,5 w/b$$

$$M = 1/8 w l^2$$

$$M = 1/4 p l$$

maka

$$p = \frac{f_r \cdot b \cdot l}{9}$$

hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5. 8 Analisa Menggunakan Balok Tinggi

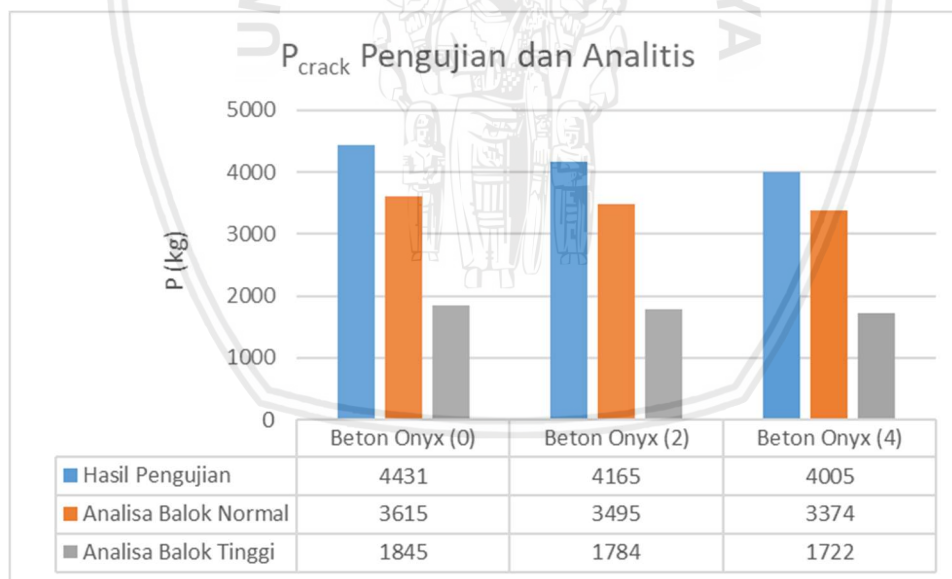
Keretangan	Uraian	Beton Onyx (0)	Beton Onyx (2)	Beton Onyx (4)	sat
Kuat tekan (f_c')	hammer test	40.68	40.68	40.68	MPa
Dimensi	l	70.00	70.00	70.00	cm
	h	40.00	40.00	40.00	cm
	b	6.00	5.80	5.60	cm
Kuat tarik (f_t)	$0.62 \lambda \sqrt{f_c}$	3.95	3.95	3.95	MPa
P(cr)	$(f_r \cdot b \cdot l) / 9$	1845	1784	1722	kg

Hasil perhitungan sendiri

berdasarkan hasil analisa perhitungan, beban yang mampu di tahan oleh panel adalah sebesar 1845kg, 1784kg, 1722kg untuk panel beton onyx non-grinding, panel beton onyx grinding 2 mm, dan panel beton onyx grinding 4 mm berturut-turut.

5.3.4.3. Analisa Hasil Eksperimental Dan Analitis

Perbandingan hasil pengujian dan analisa menggunakan teori yang ada dapat dilihat pada grafik berikut ini.



Gambar 5. 10 Rekapitulasi hasil pengujian dan hasil perhitungan P_{crack} Hasil Pengamatan di Laboratorium

Jika dilihat pada **Gambar 5. 10**, hasil pengujian menunjukkan mampu menahan beban terpusat lebih besar daripada hasil analisa baik menggunakan analisa balok normal maupun analisa menggunakan balok tinggi. Hasil pengujian menunjukkan panel mampu menahan beban sebesar 1,4 sampai 1,2 kali lebih besar dari analisa balok normal. Jika di bandingkan dengan dengan analisa balok tinggi, hasil perhitungan dan pengamatan sangat jauh. Maka dapat disimpulkan panel ini tidak dapat dianalisa dengan pendekatan balok

tinggi. Pada bab berikutnya akan membahas perilaku perubahan diagram tegangan regangan pada saat panel dibebani.

5.3.5. Pengaruh grinding terhadap kapasitas lentur

Pada sub-bab ini penulis mencoba membandingkan penurunan kapasitas dari panel dengan perubahan tampak visual dari rasio agregat yang terlihat dengan luasan panel. Rangkuman hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 5. 9 Perubahan Akibat Grinding

	Persentase Agregat Kasar Terlihat	Penurunan Kapasitas P_{crack}
Grinding 2 mm	1,8 %	6,0 %
Grinding 4 mm	3,5 %	9,6 %

Hasil perhitungan sendiri

Penurunan kapasitas lentur pada proses finishing grinding setebal 4 mm dinilai tidak berpengaruh secara signifikan. Namun perubahan tampak yang dihasilkan oleh proses grinding setebal 4 mm memberikan perubahan yang sangat signifikan, sehingga membuat panel beton terlihat lebih menarik. Oleh karena itu peneliti menyimpulkan grinding panel beton masih dapat ditoleransi penurunan kapasitasnya pada grinding dengan ketebalan 4 mm.

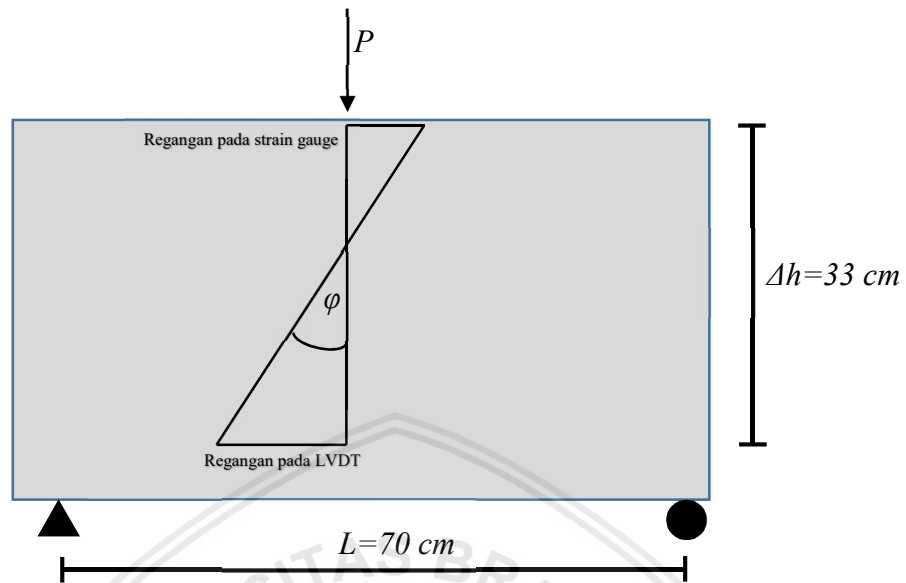
5.4. Momen dan kurvatur

Dalam penelitian ini, peneliti mengamati perubahan momen dan kurvatur yang terjadi pada panel akibat proses grinding. Pada saat pengujian dipasang 2 alat pembaca deformasi, strain gauge horisontal dan LVDT horisontal pada tengah bentang. Strain gauge beton dipasang 2 cm dari serat tekan terluar, yang bertujuan untuk membaca regangan yang terjadi pada beton di serat tekan. LVDT dipasang 5 cm dari serat tarik terluar, yang bertujuan untuk membaca regangan tarik yang terjadi pada panel. Hasil bacaan dari LVDT adalah pertambahan panjang (ΔL). Untuk mendapatkan regangan dari bacaan LVDT, peneliti mengolah hasil bacaan dengan rumus $\varepsilon = \Delta L / L_0$. Dimana $L_0 = 50$ cm. Dengan demikian, kita dapat meninjau perubahan regangan pada panel beton selama pemberian beban. Selanjutnya peneliti membandingkan regangan yang terjadi dengan jarak antara strain gauge dan LVDT yang terpasang. Peneliti mengasumsi regangan yang terjadi linier sepanjang pembebanan berlangsung.

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{\varepsilon_{strain\ gauge} + \varepsilon_{LVDT}}{\Delta h} \right)$$

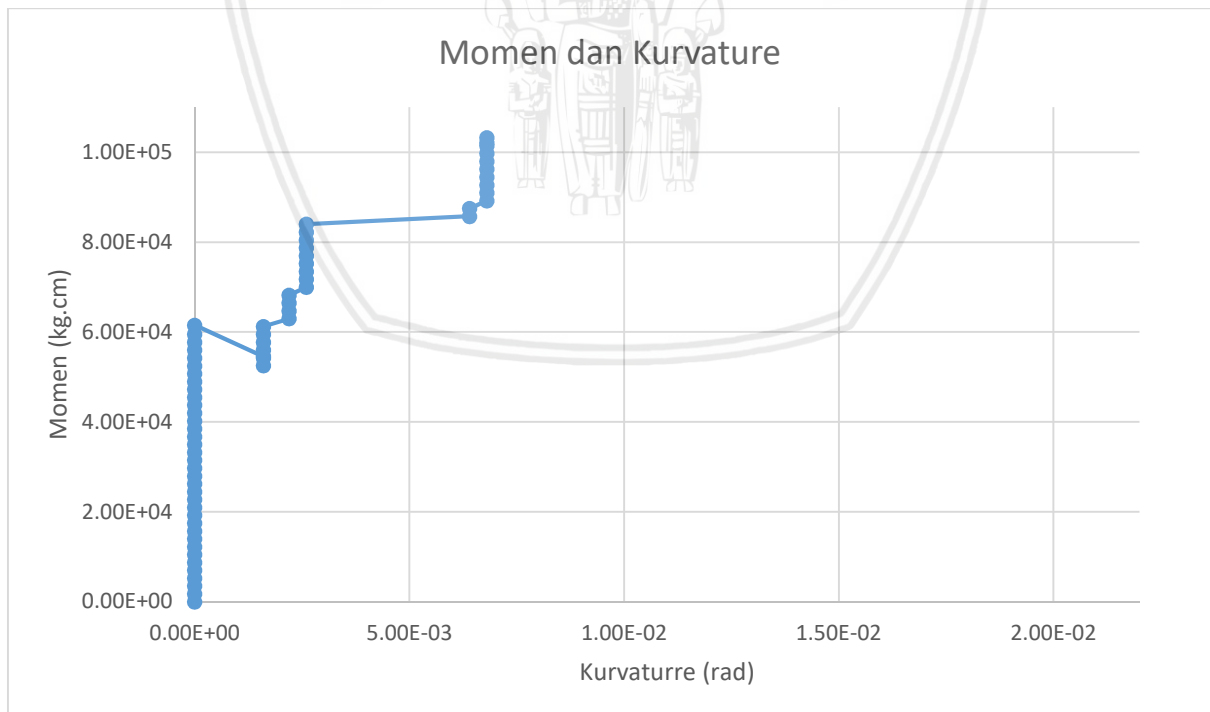
Sedangkan nilai momen di dapat dengan cara mengkonversi beban terpusat (P) di setiap bacaan menjadi nilai momen dengan rumus $m = \frac{1}{4} P \cdot L$, dimana L yang dipakai adalah L

di antara 2 tumpuan yakni 70 cm. Hasil pengamatan yang dilakukan dapat dilihat pada gambar berikut ini.



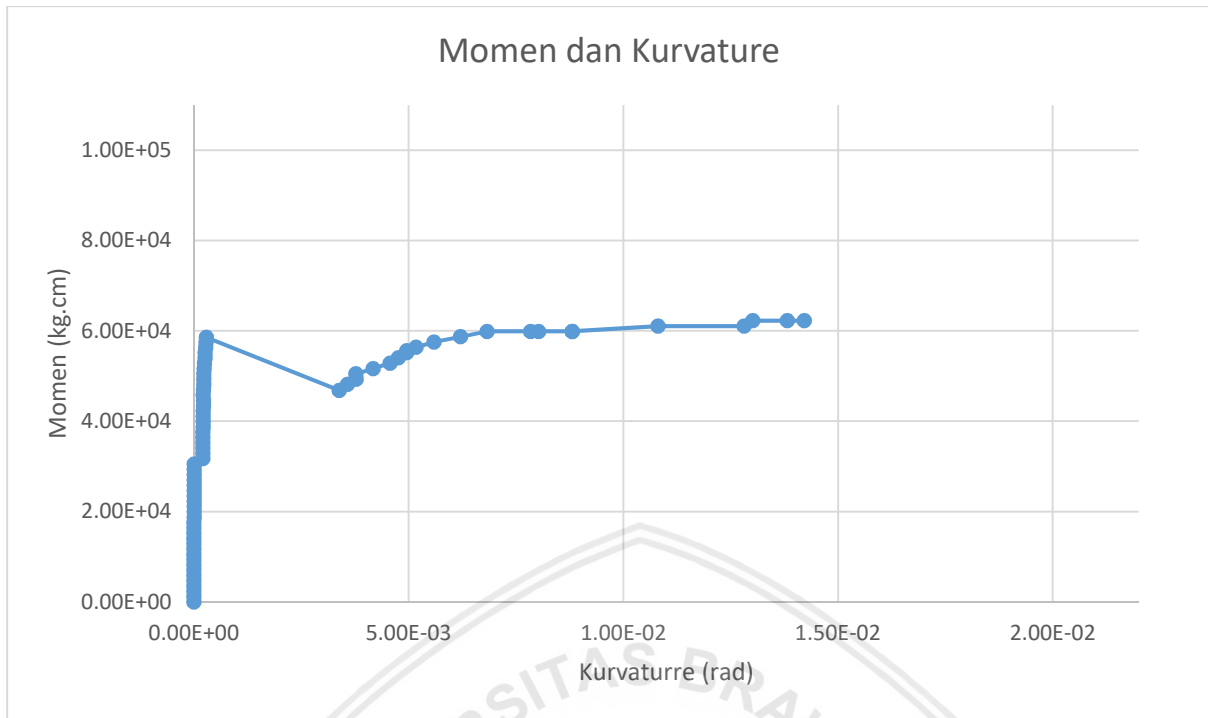
Gambar 5. 11 Analisa Momen dan Kurvatur pada Panel Onyx

Berdasarkan hasil pengamatan selama penelitian pada panel onyx, peneliti dapat menggambarkan grafik hubungan momen dan kurvatur pada tengah bentang panel beton onyx seperti pada gambar berikut ini.

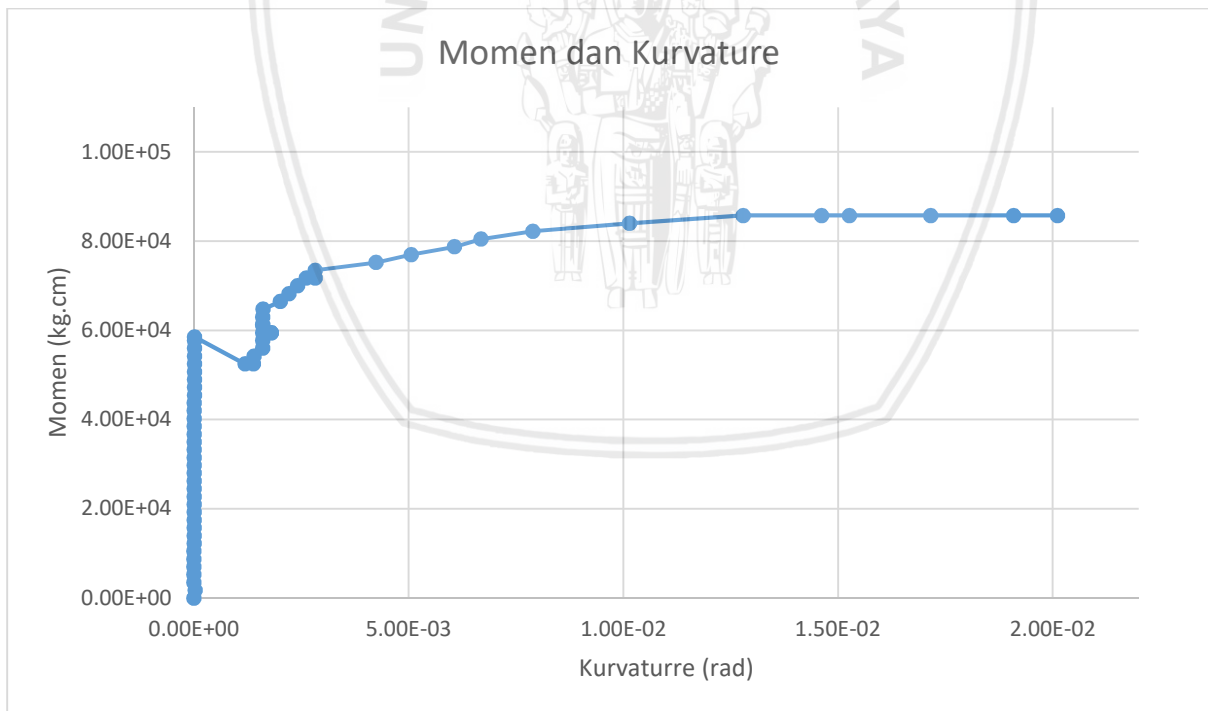


Gambar 5. 12 Momen dan Kurvatur Pada Panel Onyx Tanpa Grinding

Hasil pengamatan di Laboratorium



Gambar 5.13 Momen dan Kurvature Pada Panel Onyx dengan Ketebalan Grinding 2 mm Hasil pengamatan di Laboratorium



Gambar 5.14 Momen dan Kurvature Pada Panel Onyx dengan Ketebalan Grinding 4 mm Hasil pengamatan di Laboratorium

Dari ketiga perlakuan yang diberikan pada panel Onyx, terjadi perubahan momen dan kurvature yang diakibatkan pengurangan ketebalan yang dilakukan. Pada panel beton onyx yang tidak di grinding, M_{cr} yang terjadi mampu mencapai $6,15 \times 10^4$ kg.cm. Sedangkan panel dengan grinding 2 mm dan 4 mm, M_{cr} terjadi pada $5,99 \times 10^4$ kg.cm dan $5,86 \times 10^4$

kg.cm berturut-turut. Kurvatur yang dimaksud disini adalah nilai kelengkungan yang terjadi pada panel dengan membandingkan tinggi garis netral terhadap serat tarik terluar. Dari sini kita dapat menyimpulkan daktilitas dari sebuah panel dengan melihat nilai kelengkungannya. Semakin besar nilai kurvatur, maka panel semakin daktil. Sedangkan jika nilai kurvatur rendah, maka panel tersebut dapat dikatakan brittle. Pada penelitian ini, menunjukkan panel yang telah digrinding bersifat lebih daktil dari pada panel non-grinding. Peneliti menyimpulkan bahwa proses finishing yang dilakukan, membuat ρ tulangan menjadi semakin besar sehingga membuat panel menjadi lebih daktil. Hal ini dapat dibuktikan nilai kurvatur M_u panel non-grinding, panel grinding 2 mm, panel grinding 4 mm bernilai $6,8 \times 10^{-3}$, $14,21 \times 10^{-3}$, dan $20,10 \times 10^{-3}$ berturut-turut.





Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB VI

PENUTUP

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan hasil analisa yang telah dilakukan, maka Penulis dapat menyimpulkan sebagai berikut:

1. Koefisien pekerja untuk proses grinding dengan metode mencacah terlebih dahulu adalah 0,121 OH sedangkan metode grinding langsung adalah 0.177 OH dengan demikian metode mencacah terlebih dahulu dinilai lebih cepat dalam pengerjaannya dan disarankan dijadikan sebagai Standart Operasional untuk proses finishing dengan metode grinding panel beton onyx.
2. Terjadi perubahan kapasitas retak yang diakibatkan beban lentur (in-plane) dari panel beton yang difinishing dengan metode grinding. Untuk panel yang digrinding 2 mm mengalami penurunan sebesar 6,0% sedangkan yang digrinding 4 mm mengalami penurunan 9,6 %
3. Dari pengamatan panel beton onyx yang tidak di grinding, M_{cr} yang terjadi mencapai $6,15 \times 10^4$ kg.cm, sedangkan panel dengan grinding 2 mm sebesar $5,99 \times 10^4$ kg.cm, dan pada panel dengan grinding 4 mm M_{cr} terjadi sebesar $5,86 \times 10^4$ kg.cm dengan demikian, proses grinding mengurangi kapasitas M_{cr} . Nilai kurvatur ϕ_u panel non-grinding, panel grinding 2 mm, panel grinding 4 mm bernilai $6,8 \times 10^{-3}$, $14,21 \times 10^{-3}$, dan $20,10 \times 10^{-3}$ berturut-turut. Panel beton memiliki daktilitas yang lebih baik setelah digrinding.

6.2. Saran

Dalam penelitian ini, penulis menemukan beberapa masalah. Untuk menutupi kekurangan dan menyempurkan penelitian ini maka penulis memberikan saran berikut untuk penelitian yang lebih lanjut:

1. Proses grinding sebaiknya dilakukan dengan peralatan yang memang disiapkan untuk proses produksi masal. Untuk menghitung koefisien pelaksanaan, disarankan lebih detail dalam pemakaian alat dan sumberdaya listrik agar nilai ekonomisnya lebih terlihat.

2. Tulangan yang dipasang di daerah tarik supaya panel dinding dapat membantu struktur gedung dalam menerima beban luar. Bentuk tumpuan perlu dikaji lebih lanjut supaya panel ini siap diproduksi dan dipasarkan secara masal.
3. Untuk mengamati perubahan momen dan kurvatur yang terjadi, baiknya menambah parameter pembaca regangan. Penulis menyarankan memasang strain gauge baja di setiap tulangan, memasang strain gauge beton di serat tarik beton terluar. Dengan demikian akan mendapatkan bentuk diagram regangan dan momen kurvatur yang lebih nyata.



DAFTAR PUSTAKA

- ACI. (2011). Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11). *ACI*.
- Avram, C., Facaoaru, I., & Terteau, I. (1971). *Concrete Strength and Strain*. U.S.A: Elsevier.
- Dipohusodo, I. (1994). *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Gramedia.
- Dunham, C. (1962). *The Theory and Practice of Reinforce Concrete*. Tokyo: Tosho Insatsu.
- Eka Fajar Suprayitno, E. W. (2018). Pengaruh Limbah Batu Onyx Sebagai Pengganti Agregat Kasar Beton Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang.
- Ferguson, P. M. (1899). *Reinforced Concrete Fundamentals*. Canada: John Wiley & Sons.
- Hardjasaputra, H., & Tumilar, S. (2002). *Model Penunjang dan Pengikat (Strut and Tie Model) pada Perancangan Struktur Beton*. Jakarta: Universitas Pelita Harapan.
- Kusuma, G. (1993). *Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Kusuma, G. (1993). *Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Mahmud, Setyowati, E. W., & Soehardjono, A. (2018). Pengaruh Proses Finishing terhadap Kuat Lentur Dinding Panel Onyx.
- Mangunwijaya, Y. (1981). *Pasal - Pasal Penghantar Fisika Bangunan* (2nd ed.). Jakarta: PT Gramedia.
- Nasroni, A. (2010). *Balok Pelat Beton Bertulang* (Vol. 1). Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Nawy, E. G. (2010). *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar* (Vol. IV). Diterjemahkan oleh: Bambang Suryoatmono. Bandung: PT Refika Aditama.
- Neville, A. M. (1963). *Properties of Concrete*. Harlow: Pitman.
- Park, R., & Paulay, T. (1975). *Reinforced Concrete Structures*. . New york: John Wiley & Sons.
- Raya, B., Setyowati, E., & Anggraini, R. (2016). Pengaruh Penggunaan Limbah Batu Onyx Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Lentur Beton.
- Schlaich, J., Schafer, K., & Jennewein, M. (1987). Toward a Consistent Design of Structural Concrete. *PCI*, 77-150.
- Setyowati, E. W. (2016). Kuat Tekan Beton Limbah Batu Onyx Tulungagung. *Media Teknik Sipil, ISSN 1693-3095*, 140-146.
- Setyowati, E., Soehardjono, A., & Wisnumurti. (2017). Concrete With Onyx Waste Aggregate As Aesthetically Value Structural Concrete.
- SNI. (2011). SNI 1974. *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*.
- SNI. (2013). SNI 2847. *Persyaratan beton struktural untuk bangunan*.

Taranath, B. (2009). *Reinforced Concrete Design of Tall Buildings*. CRC-press.

wikipedia. (2019, Juni 27). Retrieved from wikipedia.org:

https://id.wikipedia.org/wiki/Beton_bertulang

