



UNIVERSITAS INDONESIA

**Studi Eksperimental Pengaruh Perkuatan Senggang terhadap
Perilaku HCS In-Situ Non-prategang yang Memanfaatkan
Limbah Botol Plastik sebagai Pembuat Lubang**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

ABIMANTRANA

07062665951

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Abimantrana

NPM : 0706265951

Tanda Tangan : 

Tanggal : 21 Juni 2011





LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Abimantrana
NPM : 0706265951
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Studi Eksperimental Pengaruh Perkuatan Sengkang terhadap Perilaku HCS In-Situ Non-prategang yang Memanfaatkan Limbah Botol Plastik sebagai Pembuat Lubang

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr-Ing. Josia I. Rastandi, ST., MT.
Pembimbing : Mulia Orientilize, ST., M.Eng.
Penguji : Dr. Ir. Elly Tjahyono, DEA.
Penguji : Ir. Madsuri, MT.


()
()


Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 21 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari awal masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

- (1) Dr-Ing. Josia I. Rastandi, ST., MT. dan Mulia Orientize, ST., M.Eng., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia yang telah banyak membantu dan berbagi ilmu kepada saya.
- (3) Bapak Apri, dan semua laboran di Laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil FTUI, yang telah membantu mempersiapkan dan melakukan pengujian di laboratorium dari awal penelitian hingga akhir.
- (4) Kedua Orang Tua saya tercinta atas doa dan dukungan tanpa henti selama ini, terlebih selama masa kuliah empat tahun terakhir ini.
- (5) Adik saya Chandraditya Kusuma, yang selalu ada dan memberikan dukungan secara langsung dan tidak langsung selama masa kuliah ini.
- (6) Teman-teman satu penelitian, Marsha, Dimas, Krisna, dan Heru, atas kerjasama, semangat, dan dorongannya dalam melaksanakan dan menyelesaikan penelitian ini hingga tuntas.
- (7) Teman-teman Departemen Teknik Sipil, khususnya angkatan 2007 yang telah memberikan masukan dan semangat bagi saya dalam menyelesaikan skripsi ini.
- (8) Ken Ayu Miranthy, atas dorongan dan kehadirannya di setiap kesempatan, untuk memberikan motivasi dan semangat tanpa batas kepada saya.
- (9) Teman-teman relawan di Bina Antarbudaya / AFS, Amri, Dila, Naya, Pamung, Fadjar, Rassi, Titis, Alex, Riska, Ninit, Zeki, Dessy, Aidil,

Wendy, Cindy, Riana, Yoyo, Elfi, Stoki, Indi, Daeng, Brago, Nino, Ardani, Efan, Irvan, Ay, Tanti, Shafira, Aldila, Ipang, Kitty, Upi, Sangga, Nisa, Rossy, Eka, Sasha, dan semua relawan lainnya yang selalu menginspirasi melalui diskusi, tawa canda, nada, dan gerakan.

(10) Echa, Abhi, Sista, Andaru, Della, dan teman-teman lainnya yang tidak dapat disebutkan satu persatu, atas dukungannya selama ini.

(11) Mas Tardi, Mang Aep, Mas Abud, Pak Nardi, dan Pak Widodo, yang telah membantu di lapangan selama penelitian ini berlangsung.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang Teknik Sipil.

Depok, 21 Juni 2011

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Abimantrana
NPM : 0706265951
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Studi Eksperimental Pengaruh Perkuatan Sengkang terhadap Perilaku HCS In-Situ Non-prategang yang Memanfaatkan Limbah Botol Plastik sebagai Pembuat Lubang

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 21 Juni 2011

Yang menyatakan



(Abimantrana)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB 1 – PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Penelitian.....	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Hipotesis	4
1.6. Metodologi Penelitian.....	5
1.7. Sistematika Penulisan	5
BAB 2 – STUDI LITERATUR	7
2.1. Beton.....	7
2.1.1 Pengertian	7
2.1.2 Material Dasar Pembentuk Beton	7
2.1.2.1 Semen Portland	7
2.1.2.2 Agregat.....	9
2.1.2.3 Air	10

2.1.3	Karakteristik Dasar Beton.....	11
2.1.3.1	Kuat Tekan pada Beton.....	11
2.1.3.2	Kuat Tarik pada Beton.....	12
2.1.3.3	Kurva Tegangan-Regangan pada Beton.....	13
2.2.	Beton Bertulang.....	14
2.2.1	Pengertian.....	14
2.2.2	Karakteristik Dasar Beton Bertulang.....	15
2.2.3	Hubungan Tegangan Regangan.....	16
2.2.4	Kelebihan dan Kekurangan Beton Bertulang.....	17
2.3.	Pelat Beton Bertulang.....	20
2.3.1	Klasifikasi Pelat Beton Bertulang.....	21
2.3.1.1	Pelat Satu Arah.....	22
2.3.1.2	Pelat Dua Arah.....	29
2.3.2	Inovasi Pelat Beton.....	30
2.3.2.1	<i>Hollow Core Slab</i>	31
2.3.2.2	<i>Bubble Deck System</i>	34
2.4.	Perkuatan Geser pada Beton Bertulang.....	35
BAB 3 – METODOLOGI PENELITIAN.....		38
3.1.	Gambaran Umum.....	38
3.1.1	Waktu Pelaksanaan.....	39
3.2.	Benda Uji.....	40
3.2.1	Spesifikasi Material.....	40
3.2.2	Dimensi dan Spesifikasi Benda Uji.....	40
3.3.	Metode Pelaksanaan dan Pengujian.....	43
3.3.1	Uji Tekan Beton.....	43
3.3.2	Uji Tarik Baja.....	44
3.3.3	Uji <i>Slump</i> Beton Semen Hidrolis.....	45
3.3.4	Uji Sampel Pelat.....	47
BAB 4 – ANALISA.....		49
4.1.	Gambaran Umum.....	49

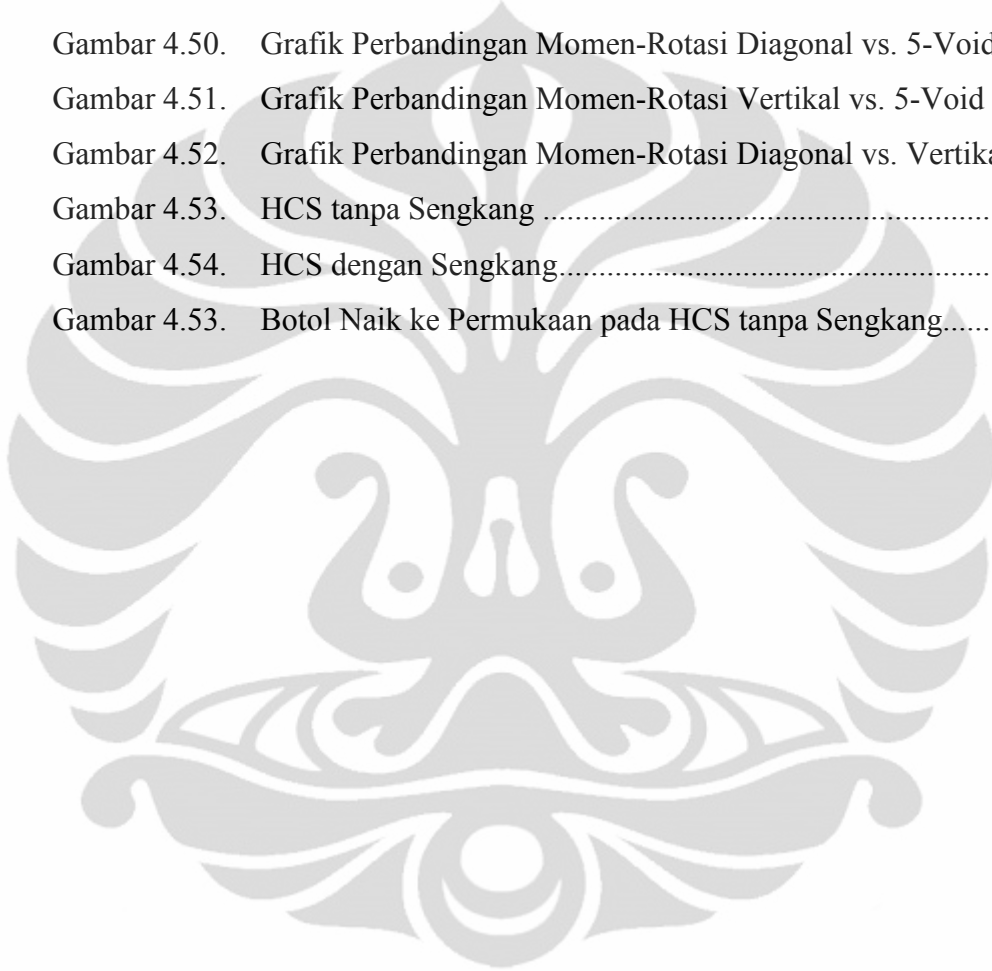
4.2.	Hasil Pengujian	50
4.2.1	Hasil Pengujian Material.....	50
4.2.1.1	Uji Tekan	50
4.2.1.2	Uji Tarik Belah	52
4.2.1.3	Uji Geser	53
4.2.1.4	Uji Balok Lentur	54
4.2.1.5	Uji Tarik Baja	55
4.2.2	Hasil Pengujian Pelat	56
4.2.2.1	HCS Senggang Diagonal A	56
4.2.2.2	HCS Senggang Diagonal B.....	59
4.2.2.3	HCS Senggang Diagonal C.....	62
4.2.2.4	HCS Senggang Vertikal A.....	65
4.2.2.5	HCS Senggang Vertikal B	68
4.2.2.6	HCS Senggang Vertikal C	71
4.3.	Analisa Hasil.....	74
4.3.1	Analisa Pola Retak.....	74
4.3.2	Analisa Grafik Momen-Rotasi.....	81
4.4.	Analisa Kekuatan Teoritis.....	85
4.4.1	Analisa Kekuatan Lentur	85
4.4.2	Analisa Kekuatan Geser.....	87
4.5.	Analisa Percobaan.....	90
BAB 5 – PENUTUP	93
5.1.	Kesimpulan	93
5.2.	Saran	93
DAFTAR PUSTAKA	95
LAMPIRAN	96

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Pengaruh rasio air-semen terhadap kekuatan beton	12
Gambar 2.2.	Retak akibat tarik pada beton	13
Gambar 2.3.	Kurva tegangan-regangan tipikal pada beton dalam berbagai kekuatan	14
Gambar 2.4.	Gaya yang bekerja pada Beton	15
Gambar 2.5.	Gaya yang bekerja pada Beton Bertulang	16
Gambar 2.6.	Diagram Whitney	17
Gambar 2.7.	Rasio Perbandingan Bentang Pelat Satu Arah	22
Gambar 2.8.	Koefisien Momen untuk Pelat Satu Arah dan Balok Menerus	24
Gambar 2.9.	Rasio Perbandingan Bentang Pelat Satu Arah	30
Gambar 2.10.	Distribusi Tegangan Lentur dan Geser pada Penampang Slab Beton	32
Gambar 2.11.	Penempatan Elemen Bubble Deck	34
Gambar 2.12.	Bentuk kegagalan geser pada beton	35
Gambar 2.13.	Lokasi geser maksimum pada balok	36
Gambar 3.1.	Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 3.2.	Gambar Teknis Benda Uji Pelat	43
Gambar 3.3.	Gambar Posisi Alat Uji	47
Gambar 4.1.	Grafik Kuat Tekan Beton	51
Gambar 4.2.	Uji Tekan Beton	51
Gambar 4.3.	Retak pada sampel Uji Tekan	51
Gambar 4.4.	Grafik Kuat Tarik Beton	52
Gambar 4.5.	Gambar Uji Tarik Belah	53
Gambar 4.6.	Sampel Uji Tarik Belah	53
Gambar 4.7.	Grafik Kuat Geser Beton	53
Gambar 4.8.	Gambar Uji Geser	54
Gambar 4.9.	Sampel Uji Geser	54
Gambar 4.10.	Grafik MoR Beton	55
Gambar 4.11.	Gambar Uji Lentur Beton	55

Gambar 4.12.	Sampel Uji Lentur	55
Gambar 4.13.	Grafik Beban-Lendutan HCS Diagonal A	57
Gambar 4.14.	Grafik Beban-Lendutan Rata-rata HCS Diagonal A.....	57
Gambar 4.15.	Grafik Momen-Rotasi HCS Diagonal A	58
Gambar 4.16.	Grafik Momen-Rotasi Rata-rata HCS Diagonal A	58
Gambar 4.17.	Grafik Beban-Lendutan HCS Diagonal B.....	60
Gambar 4.18.	Grafik Beban-Lendutan Rata-rata HCS Diagonal B.....	60
Gambar 4.19.	Grafik Momen-Rotasi HCS Diagonal B	61
Gambar 4.20.	Grafik Momen-Rotasi Rata-rata HCS Diagonal B.....	61
Gambar 4.21.	Grafik Beban-Lendutan HCS Diagonal C.....	63
Gambar 4.22.	Grafik Beban-Lendutan Rata-rata HCS Diagonal C.....	63
Gambar 4.23.	Grafik Momen-Rotasi HCS Diagonal C	64
Gambar 4.24.	Grafik Momen-Rotasi Rata-rata HCS Diagonal C.....	64
Gambar 4.25.	Grafik Beban-Lendutan HCS Vertikal A.....	66
Gambar 4.26.	Grafik Beban-Lendutan Rata-rata HCS Vertikal A	66
Gambar 4.27.	Grafik Momen-Rotasi HCS Vertikal A.....	67
Gambar 4.28.	Grafik Momen-Rotasi Rata-rata HCS Vertikal A.....	67
Gambar 4.29.	Grafik Beban-Lendutan HCS Vertikal B	69
Gambar 4.30.	Grafik Beban-Lendutan Rata-rata HCS Vertikal B	69
Gambar 4.31.	Grafik Momen-Rotasi HCS Vertikal B.....	70
Gambar 4.32.	Grafik Momen-Rotasi Rata-rata HCS Vertikal B	70
Gambar 4.33.	Grafik Beban-Lendutan HCS Vertikal C	72
Gambar 4.34.	Grafik Beban-Lendutan Rata-rata HCS Vertikal C	72
Gambar 4.35.	Grafik Momen-Rotasi HCS Vertikal C.....	73
Gambar 4.36.	Grafik Momen-Rotasi Rata-rata HCS Vertikal C	73
Gambar 4.37.	Pola Retak Diagonal A, Sisi 1	75
Gambar 4.38.	Pola Retak Diagonal A, Sisi 2.....	75
Gambar 4.39.	Pola Retak Diagonal B, Sisi 1	76
Gambar 4.40.	Pola Retak Diagonal B, Sisi 2	76
Gambar 4.41.	Pola Retak Diagonal C, Sisi 1	77
Gambar 4.42.	Pola Retak Diagonal C, Sisi 2	77
Gambar 4.43.	Pola Retak Vertikal A, Sisi 1	78

Gambar 4.44.	Pola Retak Vertikal A, Sisi 2	78
Gambar 4.45.	Pola Retak Vertikal B, Sisi 1	78
Gambar 4.46.	Pola Retak Vertikal B, Sisi 2	79
Gambar 4.47.	Pola Retak Vertikal C, Sisi 2	79
Gambar 4.48.	Pola Retak HCS 5-Void A	80
Gambar 4.49.	Pola Retak HCS 5-Void B	80
Gambar 4.50.	Grafik Perbandingan Momen-Rotasi Diagonal vs. 5-Void.....	81
Gambar 4.51.	Grafik Perbandingan Momen-Rotasi Vertikal vs. 5-Void	83
Gambar 4.52.	Grafik Perbandingan Momen-Rotasi Diagonal vs. Vertikaleb	83
Gambar 4.53.	HCS tanpa Senggang	90
Gambar 4.54.	HCS dengan Senggang.....	90
Gambar 4.53.	Botol Naik ke Permukaan pada HCS tanpa Senggang.....	91



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Persyaratan Gradasi Agregat untuk Beton Normal (ASTM C-33)	10
Tabel 2.2.	Faktor Reduksi Kekuatan pada Struktur Beton.....	25
Tabel 2.3.	Tebal Minimum Pelat Satu Arah	27
Tabel 3.1.	Jadwal Pelaksanaan Penelitian	40
Tabel 3.2.	Spesifikasi Benda Uji	41
Tabel 4.1.	Hasil Uji Tarik Baja	56
Tabel 4.2.	Data Umum HCS Sengkang Diagonal A	56
Tabel 4.3.	Data Umum HCS Sengkang Diagonal B	59
Tabel 4.4.	Data Umum HCS Sengkang Diagonal C	62
Tabel 4.5.	Data Umum HCS Sengkang Vertikal A.....	65
Tabel 4.6.	Data Umum HCS Sengkang Vertikal B.....	68
Tabel 4.7.	Data Umum HCS Sengkang Vertikal C.....	71
Tabel 4.8.	Perbandingan Nilai Momen Maksimum	84
Tabel 4.9.	Perbandingan Kekuatan Lentur Teoritis	87

ABSTRAK

Nama : Abimantrana
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Studi Eksperimental Pengaruh Perkuatan Sengkang terhadap Perilaku HCS In-Situ Non-prategang yang Memanfaatkan Limbah Botol Plastik sebagai Pembuat Lubang

Hollow-Core Slab bukanlah produk baru di dunia konstruksi. Namun, selama ini *Hollow-Core Slab* identik dengan produksi di pabrik secara pracetak dan melibatkan proses prategang. Sebuah rangkaian penelitian dilakukan, untuk meneliti mengenai perilaku dan kapasitas lentur *Hollow-Core Slab* yang dibuat secara insitu non-prategang dengan menggunakan limbah botol PET sebagai pembuat lubang. Skripsi ini akan membahas mengenai pengaruh penambahan sengkang diagonal dan vertikal terhadap perilaku pelat *Hollow-Core Slab* (HCS) insitu non-prategang dan feasibilitas pelaksanaannya. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan menggunakan benda uji berdimensi 1750 x 600 x 150 mm³. Pada penelitian ini dilakukan pengujian pembebanan empat titik sehingga didapatkan perbandingan perilaku antara HCS insitu non-prategang yang diperkuat oleh sengkang dengan HCS insitu non-prategang yang tidak diberi perkuatan. Analisis dilakukan dengan membandingkan grafik beban-lendutan, grafik momen-rotasi, dan pengamatan visual dari pola retak dan keruntuhan yang terjadi pada benda uji. Dari hasil penelitian diketahui bahwa HCS insitu non-prategang dengan perkuatan sengkang memberikan kemudahan dalam hal pelaksanaan. Adanya sengkang membantu memastikan limbah botol PET yang digunakan tidak bergerak selama proses pengecoran. Selain itu, perilaku HCS insitu non-prategang yang diperkuat sengkang tidak berbeda dengan yang tidak diperkuat sengkang. Keruntuhan yang terjadi pada keduanya sama-sama didominasi oleh kegagalan lentur. Adapun kapasitas lentur HCS insitu non-prategang yang diperkuat sengkang meningkat antara 8-11 %. Penelitian ini memberikan pemahaman mengenai kemudahan pelaksanaan yang didapat dari adanya sengkang pada HCS insitu non-prategang, sehingga membuka kemungkinan untuk diaplikasikan pada proyek konstruksi.

Kata kunci :

Beton, Beton Bertulang, Pelat, Pelat Berlubang, *Hollow-Core Slab*, Sengkang, Limbah Botol PET, Pembebanan Empat Titik

ABSTRACT

Name : Abimantrana
Study Program : Teknik Sipil
Thesis Title : Experimental Study of the Effect of added Stirrups to Cast In-Site Non-Prestressed Hollow-Core Slab Behaviour, which utilize Plastic Bottle Waste as Void.

Hollow-Core Slab is not a new product in the construction world. But, Hollow-Core Slab has always been known as precast and prestressed concrete product. A series of experiment is therefore conducted, to study the behavior and bending capacity of a Cast In-site Non-prestressed Hollow-Core Slab, which was made using PET Plastic Bottle Waste as its Void. This undergraduate thesis will discuss and explain the effect of added Stirrups, whether its diagonally or vertically assembled, to the behavior and manufacturing feasibility of Cast In-Site Non-prestressed Hollow-Core Slab. The study was done by experiment using samples of $1750 \times 600 \times 150 \text{ mm}^3$. The testing was conducted using four-point-loading method, in order to obtain results that show behavior comparison of the tested samples. Analysis is conducted by comparing force-displacement graphs, moment-rotation graphs, and visual observation of crack pattern and failure mode. From the results, it is discovered that HCS samples with added Stirrups are easier to be manufactured. The presence of Stirrups contributes in making sure that the PET Plastic Bottle Waste will not shift or move during casting. Besides of that, it is confirmed from this experiment that the presence of Stirrups does not change the failure mode of Cast In-site Non-prestressed HCS. Both variants, with or without added Stirrups, has a failure mode that is governed by flexural failure. Furthermore, the flexural capacity of HCS is 8-11 % increased by the presence of Stirrups. This study gives us understanding about how Cast In-Site Non-prestressed HCS can be manufactured in a simpler way, so to make it easier to be applied in the real-world construction project.

Keywords :

Concrete, Reinforced Concrete, Slab, *Hollow-Core Slab*, Stirrup, PET Plastic Bottle Waste, Four-Point Loading

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Hollow Core Slab (HCS) atau pelat dengan lubang pada bagian tengahnya pertama kali diperkenalkan pada tahun 1988. Ide dasar tentang pembuatan HCS ini berawal dari teori elastis tahanan lentur, dimana diketahui bahwa tegangan maksimum ditahan oleh sisi terluar penampang sedangkan bagian tengah penampang hanya menahan sebagian kecil dari tegangan. Pada beton bertulang, daerah tekan ditahan sepenuhnya oleh beton dan daerah tarik ditahan sepenuhnya oleh tulangan baja. Teori ini mengabaikan kekuatan tarik dari beton dan kekuatan tekan dari tulangan atas, sehingga beton pada bagian tengah dianggap tidak menyumbangkan kekuatan. Hal inilah yang menimbulkan pemikiran untuk memberikan lubang pada bagian tengah beton, dengan tujuan untuk mengurangi berat sendiri pelat tanpa mengurangi kekuatan lenturnya.

Dibandingkan dengan pelat beton solid, pelat HCS sudah tentu memiliki berat yang jauh lebih ringan. Pengurangan berat yang cukup signifikan akan dapat terlihat jika pelat HCS diaplikasikan pada konstruksi bangunan tinggi. Sebagai informasi, pelat beton solid setebal 12 cm memiliki berat sebesar 288 kg/m². Berat ini hampir sama dengan beban hidup rencana untuk perkantoran, yaitu sebesar 300 kg/m². Berat pelat lantai merupakan penyumbang utama besarnya gaya gempa, sehingga jika berat lantai dapat dikurangi maka tentunya akan mengurangi beban gempa rencana. Dengan demikian, penggunaan HCS yang lebih ringan dibandingkan dengan pelat beton solid juga akan mengurangi resiko bahaya gempa. Selain itu, pengurangan volume beton yang signifikan juga berarti pengurangan biaya yang cukup besar dalam hal pengadaan material beton.

Sejak diperkenalkan pertama kali di dunia pada tahun 1988, pelat lantai HCS telah mengalami perkembangan yang cukup pesat, apalagi dengan ditambahkannya inovasi prategang (*prestressed*) pada tulangan baja, sehingga meningkatkan kekuatan dari pelat tersebut. Adanya proses prategang pada pelat

HCS menyebabkan pelat HCS lahir sebagai produk *precast*. Di Indonesia, pelat HCS *precast* diproduksi oleh beberapa produsen dan digunakan terbatas hanya pada konstruksi bangunan tinggi dikarenakan harganya yang relatif mahal. Walaupun harga pelat HCS relatif mahal karena melibatkan proses prategang dan dibuat secara *precast*, namun apabila biaya proyek secara keseluruhan ditinjau kembali, pengurangan penggunaan bekisting pada proses konstruksi dan kecepatan pemasangan akan menghasilkan harga konstruksi yang cukup bersaing.

Dikarenakan HCS identik dengan *precast* dan prategang dengan harga yang relatif mahal, hampir tidak ada inovasi di dunia konstruksi selain HCS yang diproduksi oleh pabrik. Tidak hanya di Indonesia, di luar negeri pun produk HCS juga hadir dalam bentuk *precast* prategang. Padahal seperti disebutkan sebelumnya, penggunaan HCS akan menghemat volume beton yang digunakan dan mengurangi massa bangunan sehingga mengurangi beban gempa rencana. Hal ini mungkin dikarenakan proses pelaksanaan di lapangan yang cukup sulit dengan adanya lubang pada bagian tengah pelat. Padahal, HCS sebenarnya bisa saja dibuat di tempat (*cast in-situ*) tanpa melibatkan proses prategang, sehingga harga dari produk HCS ini dapat ditekan. Di Belanda, pengurangan volume beton dalam pembuatan HCS dilakukan dengan menambahkan bola-bola dari karet (*bubble*), sehingga harga HCS akan lebih ekonomis akibat penggantian beton dengan karet ini. Contoh ini menunjukkan, bahwa variasi dalam proses pembuatan HCS dapat saja dikembangkan, selama dilakukan juga penelitian mengenai kekuatannya.

Seperti telah disebutkan sebelumnya, pengurangan volume beton di bagian tengah HCS secara teori tidak mengurangi kekuatan lentur dari pelat, namun mengurangi kekuatan geser dari beton karena geser pada pelat ditahan oleh bagian tengah (*web*). Studi tentang kekuatan geser dan torsi dari HCS merupakan dua hal yang masih banyak diteliti dalam 5 tahun terakhir. Walaupun perhitungan kekuatan HCS sudah dimasukkan dalam *design code* ACI, terlihat dari serangkaian studi literatur bahwa kegagalan geser pada badan HCS merupakan hal yang masih perlu diteliti. ACI 318-05 menyatakan bahwa HCS tidak membutuhkan tambahan penulangan geser ketika V_u melebihi $0,50V_c$ dikarenakan kekuatan geser dari beton masih memadai. Namun, hasil studi literatur menunjukkan bahwa beberapa penelitian menyatakan uji eksperimental

terhadap kekuatan geser pada badan HCS tidak selalu konsisten jika dibandingkan hasil formulasi ACI.

Pada skripsi ini, kekuatan geser dari benda uji yang digunakan secara teoritis masih lebih besar dari kekuatan lenturnya, sehingga bentuk kegagalan geser memang tidak diharapkan akan terjadi pada pengujian nantinya. Penelitian akan difokuskan lebih pada pengaruh dari penggunaan tulangan geser miring dan vertikal terhadap perilaku HCS insitu non-prategang. Perilaku yang dimaksud di sini antara lain termasuk dari mode keruntuhan dan pola retak yang terjadi, serta beban maksimal yang dapat diterima oleh pelat. Istilah HCS insitu non-prategang akan digunakan dalam penelitian ini, mengingat konotasi HCS sebagai pelat beton yang selalu dibuat pracetak dan melibatkan proses prategang.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan utama yang akan dipelajari dalam penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana feasibilitas dari pembuatan HCS in-situ nonprategang yang dibuat dengan tambahan tulangan geser?
- b. Bagaimana perilaku HCS insitu non-prategang yang diperkuat dengan tulangan geser (sengkang) berbeda dari yang tidak diperkuat tulangan geser?
- c. Bagaimana perilaku HCS insitu non-prategang yang diperkuat tulangan geser (sengkang) vertikal berbeda dengan perilaku HCS insitu non-prategang yang diperkuat tulangan geser miring?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dan tujuan dari penelitian ini antara lain adalah :

- a. mengetahui bagaimana feasibilitat pelaksanaan dari pembuatan HCS in-situ nonprategang yang dibuat dengan tambahan tulangan geser
- b. mengetahui bagaimana perbandingan perilaku HCS in-situ nonprategang yang diperkuat tulangan geser dengan HCS in-situ tanpa tulangan geser .
- c. mengetahui bagaimana perbandingan perilaku HCS in-situ nonprategang yang diperkuat sengkang vertikal dengan HCS in-situ nonprategang yang diperkuat sengkang miring.

1.4 Batasan Masalah

- a. Nilai properti material (kuat tekan beton, tegangan leleh baja tulangan, modulus elastisitas beton, dan modulus elastisitas baja) setiap sampel diasumsikan sama.
- b. Campuran beton yang digunakan memiliki properti sebagai berikut:
Mutu beton : K-300
Slump : 15 cm (\pm 1 cm)
- c. Tulangan geser yang digunakan memiliki properti sebagai berikut:
Mutu (f_y) : 240 MPa
Diameter : 6 mm
- d. Tulangan lentur yang digunakan memiliki properti sebagai berikut:
Mutu (f_y) : 240 MPa
Diameter : 7,5 mm
- e. Dimensi pelat yang diuji adalah 175 cm x 60 cm x 15 cm
- f. Pengujian dilakukan dengan sistem pembebanan 4 titik menggunakan peralatan yang ada di Laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- g. Pembuat lubang pada pelat menggunakan limbah botol air mineral yang terbuat dari plastik (PET), dengan volume 1,5 L

1.5 Hipotesis

- a. Pembuatan HCS insitu non-prategang dengan perkuatan sengkang diduga akan lebih sulit karena melibatkan fabrikasi tulangan geser terlebih dahulu.
- b. HCS insitu non-prategang dengan perkuatan sengkang diduga akan memiliki perilaku yang sama dibandingkan dengan HCS insitu non-prategang tanpa sengkang.
- c. HCS insitu non-prategang dengan perkuatan sengkang miring diduga memiliki perilaku yang sama dibandingkan dengan HCS insitu non-prategang dengan perkuatan sengkang vertikal.

1.6 Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini, metodologi yang digunakan adalah studi literatur pendahuluan mengenai HCS dan dilanjutkan dengan studi eksperimental terhadap sampel-sampel HCS. Hasil eksperimen kemudian dibandingkan dan dianalisa untuk kemudian ditarik kesimpulan. Adapun tahapan-tahapan dalam penelitian ini dapat digambarkan sebagai berikut :

- a. studi literatur mengenai HCS
- b. perencanaan eksperimen
- c. pembuatan sampel HCS
- d. pengujian sampel di laboratorium
- e. pengumpulan data hasil pengujian dan analisa
- f. penarikan kesimpulan

Penjelasan lebih lanjut mengenai metode pelaksanaan penelitian akan dibahas pada Bab 3.

1.7 Sistematika Penulisan

BAB 1 berisi hal-hal mendasar yang terkait dengan pembahasan skripsi ini. Dalam bab ini, disebutkan latar belakang dilakukannya penelitian, perumusan masalah, tujuan dilakukannya penelitian, batasan ruang lingkup permasalahan yang ditinjau, hipotesis awal dari hasil studi eksperimental ini, serta metodologi penelitian yang akan dilakukan, dan sistematika penulisan skripsi ini.

BAB 2 berisi teori-teori yang terkait dengan apa yang dibahas dan ditinjau dalam skripsi ini. Dasar teori tersebut digunakan sebagai rujukan dari pembahasan hasil studi eksperimental ini.

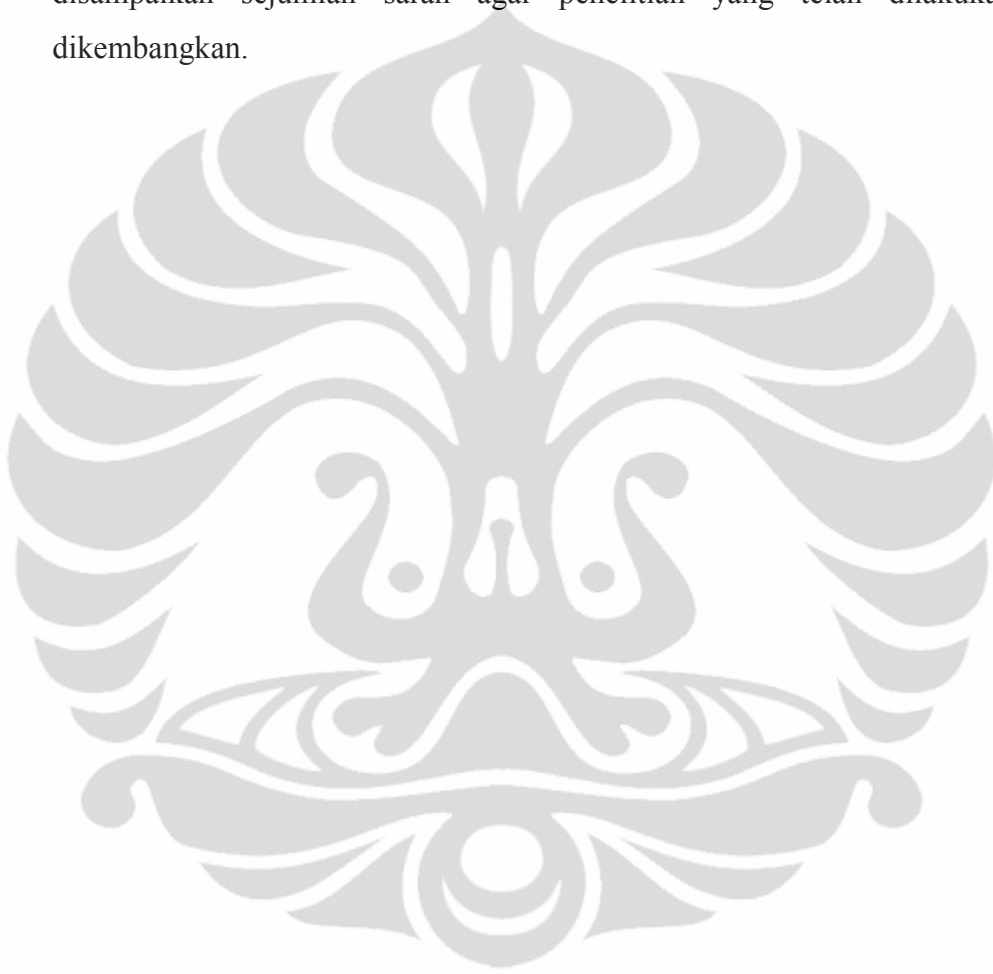
BAB 3 berisi penjelasan detail mengenai metodologi penelitian yang dilakukan agar dapat diperoleh hasil studi eksperimental berupa nilai-nilai kekuatan yang dapat dianalisa dan ditarik kesimpulan untuk menjawab permasalahan yang ditinjau dalam skripsi ini.

BAB 4 berisi hasil studi eksperimental yang dilakukan. Dalam bab ini, akan dijabarkan secara rinci nilai-nilai kekuatan dan peralihan setiap benda uji.

BAB 5 berisi pembahasan hasil eksperimen yang telah dilakukan. Pembahasan hasil eksperimen tersebut meliputi deskripsi tentang sebaran data

yang diperoleh dari eksperimen yang dilakukan, serta analisis untuk menjelaskan hasil eksperimen tersebut berdasarkan dasar teori yang ada.

BAB 6 berisi kesimpulan dan saran. Dari hasil studi eksperimen yang dilakukan, ditarik sejumlah kesimpulan yang menjawab tujuan dan permasalahan yang mendasari dilakukannya penelitian ini. Di samping itu, dalam bagian ini disampaikan sejumlah saran agar penelitian yang telah dilakukan dapat dikembangkan.



BAB 2

STUDI LITERATUR

2.1 Beton

2.1.1 Pengertian

Beton merupakan salah satu material yang umum digunakan dalam dunia konstruksi. Pada dasarnya, beton merupakan campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat.¹

2.1.2 Material Dasar Pembentuk Beton

2.1.2.1 Semen Portland

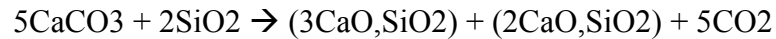
Semen dapat didefinisikan sebagai material pengikat (*bonding material*) antar batuan, pasir, batu bata, dan lainnya. Oleh karena itu, semen berperan sebagai pengikat antar butiran agregat dalam campuran beton. Semen yang digunakan untuk membuat campuran beton merupakan semen hidraulik, karena sifatnya yang akan mengeras ketika kontak dengan air.

Semen Portland merupakan hasil kalsinasi dari batu kapur dengan aluminium silika pada suhu sekitar 1400°C. Secara garis besar, proses produksi semen Portland dilakukan dengan melakukan penggilingan bahan mentah, pencampuran bahan mentah dalam proporsi tertentu, pembakaran campuran tersebut pada temperatur 1400°C hingga membentuk apa yang disebut dengan clinker. Clinker tersebut kemudian didinginkan dan dicampur dengan bahan gips.

Adapun bahan baku utama dalam pembuatan semen Portland meliputi kapur (limestone), Silika (SiO₂), Alumina (Al₂O₃), dan oksida besi (Fe₂O₃). Senyawa tersebut saling berinteraksi satu sama lain dalam kiln untuk membentuk serangkaian atau lebih produk yang lebih kompleks, yaitu Tricalcium silicate (C₃S), Dicalcium silicate (C₂S), Tricalcium aluminate (C₃A), dan Tetracalcium

¹ SNI 03-2847-2002

aluminoferrite (C4AF). Proses kimia pembentukan semen pada umumnya mengikuti persamaan kimia berikut:



Masing-masing senyawa kompleks tersebut memiliki peran yang berbeda-beda. Tricalcium silicate berperan dalam pengerasan awal dan kekuatan pada waktu pengeringan awal. Sementara itu, Dicalcium silicate mengeras secara perlahan, dan dampaknya terhadap kekuatan mulai muncul pada usia beton di atas satu minggu. Secara umum, kekuatan pada waktu awal pengeringan akan meningkat seiring dengan besarnya proporsi Tricalcium silicate. Akan tetapi, bila pengeringan lembab terus berlangsung, kekuatan setelah 6 bulan akan lebih besar pada semen dengan persentase Dicalcium silicate yang lebih besar.

Berbeda dengan kedua komponen tersebut, *Tricalcium aluminate* berkontribusi terhadap perkembangan kekuatan pada beberapa hari pertama. Akan tetapi, komponen ini menyumbangkan faktor negatif berupa sifat panas dan kereaktifannya terhadap tanah dan air dengan konsentrasi sulfat menengah hingga tinggi. Semen dengan kadar komponen ini yang rendah biasanya menghasilkan panas lebih sedikit, memiliki kekuatan lebih besar dan lebih tahan terhadap sulfat.

Komponen dasar terakhir, yaitu *Tetracalcium aluminoferrite* mempengaruhi temperatur pemanasan pada produksi semen portland. Meski mengalami hidrasi yang cepat, komponen ini tidak berpengaruh besar pada kekuatan beton.

Perbedaan komposisi kimia dan karakteristik fisik akan menghasilkan semen dengan sifat yang berbeda ketika terhidrasi. Oleh karena itu, terdapat beberapa jenis semen Portland yang umum diproduksi. *American Standard for Testing Materials* mengklasifikasikan semen Portland menjadi lima jenis berdasarkan komposisi senyawa yang terkandung di dalamnya.

- Semen Portland tipe I digunakan pada konstruksi biasa, dengan tanpa karakteristik khusus tertentu.

- Semen Portland tipe II memiliki panas hidrasi lebih rendah dari tipe I; digunakan apabila struktur beton terekspos oleh sulfat atau ketika panas hidrasi yang sedang dibutuhkan.
- Semen Portland tipe III digunakan apabila dibutuhkan kekuatan awal yang tinggi; memiliki panas hidrasi yang lebih tinggi.
- Semen Portland tipe IV digunakan dalam campuran beton skala besar untuk bendungan beton dan struktur lainnya dengan panas hidrasi terdisipasi secara perlahan. Semen ini relatif jarang di produksi, termasuk di Indonesia. Perannya tergantikan oleh kombinasi tipe I dan II dengan *fly ash*.
- Semen Portland tipe V digunakan untuk konstruksi pondasi, dinding basement, gorong-gorong, dan lainnya yang terekspos oleh tanah yang mengandung sulfat.

2.1.2.2 Agregat

Agregat dapat didefinisikan sebagai material pengisi dari beton yang menyumbang 60 % sampai 80 % dari volume beton tersebut. Baik agregat kasar maupun halus harus digradasikan agar mendapat hasil akhir beton yang padat, homogen, dan rapat. Agregat diklasifikasikan sebagai agregat kasar jika butiran terkecilnya lebih besar dari $\frac{1}{4}$ inch, yang biasa berupa kerikil. Agregat halus adalah material pengisi yang ukurannya lebih kecil dari agregat kasar berupa material pasir dengan ukuran No. 4 sampai No. 100 sesuai standar ASTM. Merujuk pada ACI 318-05 ukuran maksimum agregat kasar tidak boleh lebih dari:

- $\frac{1}{5}$ dimensi terkecil antara sisi-sisi bekisting
- $\frac{1}{3}$ tinggi pelat
- $\frac{3}{4}$ jarak bersih minimum antar tulangan, kabel prategang, maupun tendon.

Agregat yang baik harus bersih dari bahan-bahan organik kotor, lempung, atau material yang ukurannya lebih kecil daripada saringan No.100 secara berlebihan.

Tabel 2.1 Persyaratan Gradasi Agregat untuk Beton Normal (ASTM C-33)

Ukuran Saringan -ASTM STANDARDS (inch)	Persentasi Lewat				
	Agregat Kasar				Agregat Halus
	4 in - 2 in	4 in - 1 1/2 in	4 in - 1 in	4 in - 3/4 in	
2	95-100	100	-	-	-
1 1/2	-	95-100	100	-	-
1	25-70	-	95-100	100	-
3/4	-	35-70	-	90-100	-
1/2	10-30	-	25-60	-	-
3/8	-	10-30	-	20-55	100
4	0-5	0-5	0-10	0-10	95-100
8	0	0	0-5	0-5	80-100
19	0	0	0	0	50-85
30	0	0	0	0	25-60
50	0	0	0	0	10-30
100	0	0	0	0	2-10

Sumber: "Reinforced Concrete : A Fundamental Approach" Nawy, Edward. G. Prentice Hall, 2005

2.1.2.3 Air

Air merupakan komponen penting dalam proses pembuatan beton, khususnya untuk menghasilkan reaksi kimia pada semen dan membasahi agregat dan mempermudah pengerjaan. Berdasarkan ACI 318-05 air yang digunakan untuk pencampuran adalah air bersih bebas dari minyak, asam, alkali, garam, material organik, dan zat-zat lain yang merusak beton maupun tulangan. Air untuk pencampuran beton prategang yang akan dimasukkan material aluminium

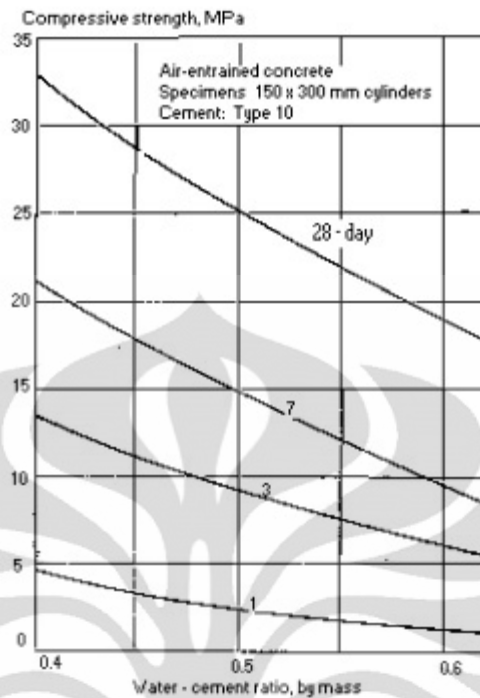
(*ducting tendon*) tidak diperbolehkan mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.

Jika menggunakan air yang tidak dapat diminum, ACI 318-05 mensyaratkan bahwa pemilihan proporsi beton berdasarkan air dari sumber yang sama dan kekuatan saat pengujian mortar kubus pada usia tujuh hari dan 28 hari paling tidak bernilai 90% kekuatan spesimen dengan air yang dapat diminum.

2.1.3 Karakteristik Dasar Beton

2.1.3.1 Kuat Tekan pada Beton

Secara umum, istilah “kekuatan beton” didefinisikan sebagai kuat tekan akibat pembebanan aksial tunggal (*uniaxial*) yang diukur melalui uji tekan pada silinder uji standar. Kekuatan beton bergantung pada proporsi semen, agregat kasar, agregat halus, air, dan berbagai zat tambahan dalam campuran (*admixtures*). Faktor yang paling berpengaruh terhadap kekuatan beton adalah faktor air-semen (FAS). Sampai batas tertentu, semakin kuat suatu beton, semakin rendah faktor air-semennya. Meski faktor air-semen berbanding terbalik dengan kekuatan beton, namun sebagaimana yang telah disebutkan, air dalam jumlah minimal tetap diperlukan agar reaksi kimia dalam pengerasan beton dapat terjadi. Kekuatan beton pada umumnya diukur sebagai besaran yang disimbolkan dengan f_c' . Nilai ini merupakan kuat tekan beton berusia 28 hari dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

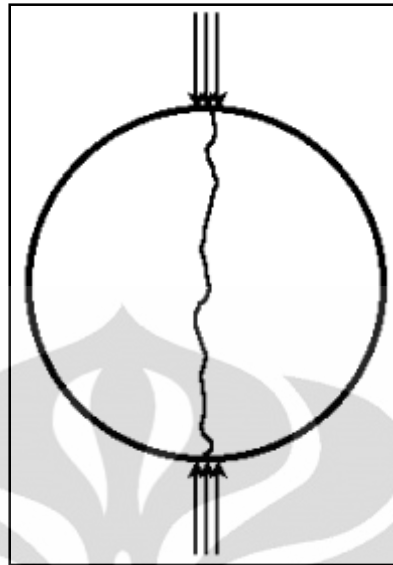


Gambar 2.1 Pengaruh rasio air-semen terhadap kekuatan beton

2.1.3.2 Kuat Tarik pada Beton

Kekuatan tarik beton sangat rendah jika dibandingkan dengan kekuatan tekannya. Besar kuat tarik beton sekitar 8% hingga 15% dari kuat tekannya. Untuk menguji kekuatan tarik pada umumnya akan terbentuk pada masalah pencengkeramannya pada mesin pengujian. Maka menggunakan metode pengujian tarik belah. Sesuai ASTM C-496/C-496M, sepanjang spesimen silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm akan dikenakan pembebanan tekan sepanjang silinder di sisi atas dan bawah. Maka tegangan yang terjadi adalah tegangan biaksial tekan dan tarik. Setelah melakukan percobaan dengan jumlah yang besar didapat nilai rata-rata dari kuat tarik belah beton dan hubungannya dengan kuat tekan sebesar: James Mac Gregor "Reinforced Concrete: Mechanics and Design"

$$\bar{f}_{ct} = 0.53 \sqrt{f_c'}$$



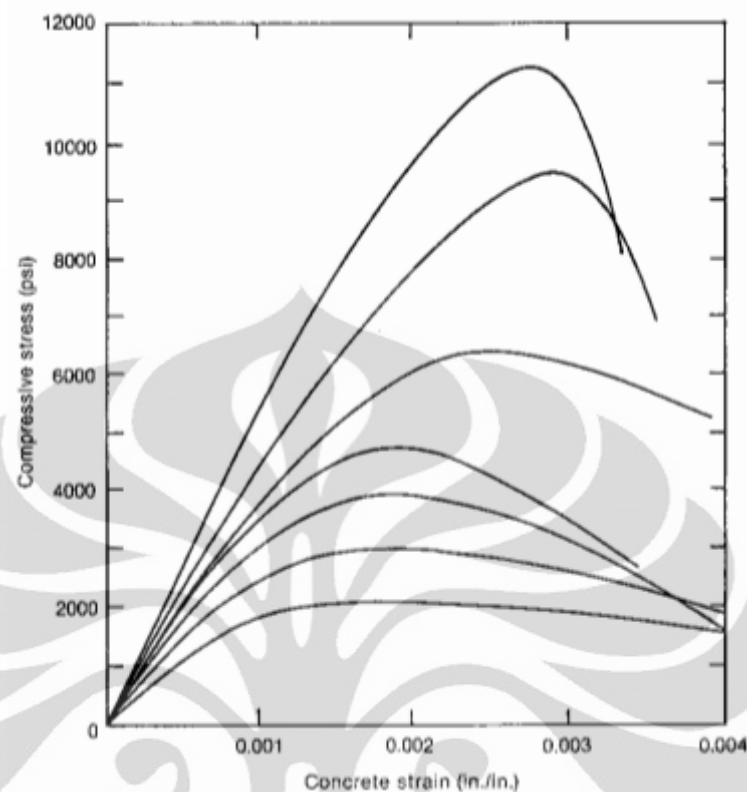
Gambar 2.2 Retak akibat tarik pada beton

Selain itu kekuatan tarik beton juga dapat dilihat dari kekuatan tarik lenturnya atau nilai modulus kehancuran, melalui pengujian balok polos dengan metode third point loading. Kemudian ACI 318-05 menetapkan nilai modulus kehancuran sebesar:

$$f_r = 7,5 \sqrt{f_c'}$$

2.1.3.3 Kurva Tegangan-Regangan pada Beton

Karakteristik dan kekuatan beton bertulang selain dipengaruhi oleh ukuran dan bentuknya, juga dipengaruhi oleh sifat tegangan-regangan beton dan tulangnya.



Gambar 2.3 Kurva tegangan-regangan tipikal pada beton dalam berbagai kekuatan

Kurva tegangan-regangan tipikal pada beton dalam berbagai kekuatan ditunjukkan pada gambar di atas. Kurva tegangan-regangan tersebut seluruhnya meningkat hingga mencapai tegangan maksimal, yang dicapai ketika regangan mencapai 0,0015 hingga 0,003 dan diikuti dengan nilai tangen yang semakin menurun. Bentuk kurva seperti ini dihasilkan dari perubahan bentuk secara perlahan dari keretakan mikro di dalam struktur beton.

2.2 Beton Bertulang

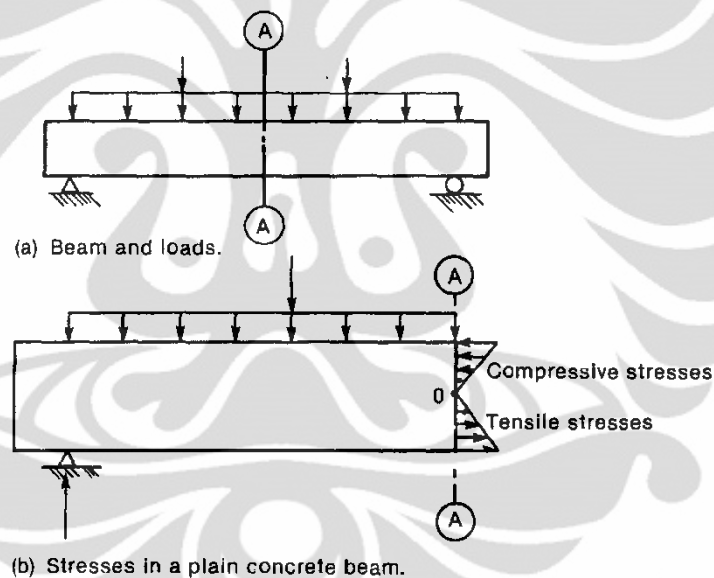
2.2.1 Pengertian

Beton Bertulang merupakan pengembangan dari material dasar Beton. Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja.

2.2.2 Karakteristik Dasar Beton Bertulang

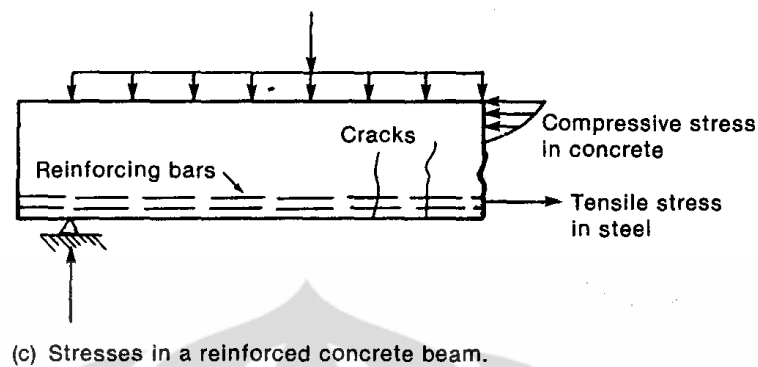
Seperti telah dijelaskan sebelumnya, beton kuat dalam menahan tekan, tapi lemah dalam menahan tarik. Kelemahan inilah yang kemudian disempurnakan oleh adanya tulangan pada beton bertulang. Salah satu kelebihan material baja yang digunakan pada beton bertulang adalah kekuatannya dalam menahan tarik.

Sebagai akibat dari sifat material beton tersebut, pada struktur beton akan timbul retakan ketika beban, penyusutan, atau perubahan temperatur terjadi dan menyebabkan beban tarik yang melebihi kapasitas tarik dari beton itu sendiri. Pada gambar di bawah ini dapat dilihat bagaimana momen di titik O ditahan oleh kombinasi tarik-tekan yang melibatkan kapasitas tarik pada beton.



Gambar 2.4 Gaya yang bekerja pada Beton

Sebuah struktur seperti yang terlihat pada gambar di atas akan langsung mengalami kegagalan seluruhnya sesaat setelah retakan pertama terjadi. Hal ini akan berbeda pada struktur beton bertulang. Pada struktur beton bertulang, kapasitas tarik yang dibutuhkan dari struktur akan diberikan oleh tulangan baja sesaat setelah beton mengalami keretakan pada daerah tarik. Oleh karena itu, tulangan baja pada beton bertulang selalu ditempatkan pada daerah yang mengalami tarik. Berikut adalah ilustrasi bagaimana tulangan baja membantu menahan tarik pada beton bertulang, sesaat setelah beton mengalami keretakan.



Gambar 2.5 Gaya yang bekerja pada Beton Bertulang

2.2.3 Hubungan Tegangan-Regangan

Hubungan tegangan-regangan pada beton dapat didasari oleh kurva tegangan-regangan atau diasumsikan sebagai bentuk persegi, trapezium, parabola, atau bentuk lainnya yang dapat merepresentasikan kekuatan yang sebenarnya. Oleh karena itu, penggunaan diagram lain selain diagram tegangan-regangan *Modified Hongstad* atau *Todeschini* dapat dilakukan untuk memudahkan perhitungan matematis, selama diagram tersebut dapat merepresentasikan kekuatan sebenarnya dengan baik. Standar Nasional Indonesia memungkinkan penggunaan distribusi tegangan sebagai bentuk persegi sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini untuk perhitungan kekuatan ultimit. Distribusi berbentuk persegi didefinisikan sebagai berikut:

- Tegangan sebesar $\alpha_1 f_c'$ terdistribusi merata sepanjang daerah yang ekuivalen dengan daerah tekan yang dibatasi oleh bagian samping penampang melintang dan sebuah garis yang sejajar dengan sumbu netral sejarak $a = \beta_1 c$ dari serat dengan regangan tekan terbesar.
- Jarak c dari serat dengan regangan tekan terbesar ke sumbu netral diukur sejajar dengan sumbu netral tersebut.
- Faktor β_1 yang digunakan diambil dengan nilai sebagai berikut:

$$f_c' \geq 30 \text{ MPa}, \beta_1 = 0,85$$

$$30 < f_c' < 55 \text{ MPa}, \beta_1 = 1,09 + 0,008f_c'$$

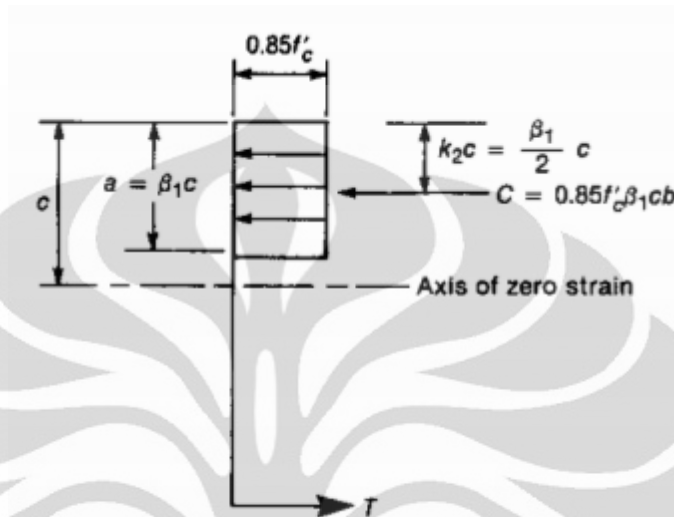
$$f_c' > 55 \text{ MPa}, \beta_1 = 0,65$$

Untuk daerah tekan dengan lebar konstan b dan jarak ke sumbu netral adalah c , resultan gaya tekan yang terjadi adalah:

$$C = \alpha_1 \beta_1 f_c' b c$$

Dan momen yang terjadi akibat gaya tersebut terhadap sumbu netral adalah:

$$M = \alpha_1 \beta_1 \left(1 - \frac{\beta_1}{2}\right) f_c' b c^2$$



Gambar 2.6 Diagram Whitney

2.2.4 Kelebihan dan Kekurangan Beton Bertulang

Sebagai salah satu alternatif dalam pilihan material yang tersedia dalam perancangan struktur, beton bertulang tentunya memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan. Kelebihan dan kekurangan inilah yang nantinya akan menjadi pertimbangan ahli struktur, dalam menentukan pilihannya atas material dasar yang digunakan dalam konstruksi. Beberapa kelebihan yang dimiliki oleh beton bertulang antara lain adalah :

a. Ekonomis

Dalam suatu proyek konstruksi, biasanya salah satu hal yang menjadi pertimbangan utama adalah biaya total dari pekerjaan struktur bangunannya. Biaya dari pekerjaan struktur ini tentunya merupakan gabungan dari komponen biaya material yang digunakan dan biaya pekerja yang dibutuhkan untuk mengerjakannya. Material beton bertulang merupakan salah satu material yang bisa didapatkan dengan mudah dan bisa langsung diproduksi sesuai kebutuhan konstruksi. Selain itu, penyeragaman bentuk untuk meminimalisasi *formwork* seperti pada elemen kolom juga akan

berdampak pada pengurangan biaya konstruksi. Kebutuhan kolom untuk menahan beban yang berbeda di tiap lantainya dapat dengan mudah diatasi dengan penggunaan mutu beton yang berbeda pada setiap lantainya, tanpa merubah bentuk kolom yang akan berujung pada kebutuhan akan *formwork* yang berbeda.

b. Flexibilitas untuk pemenuhan fungsi struktural dan arsitektural

Penggunaan beton bertulang memungkinkan arsitek untuk mengkombinasikan fungsinya sebagai elemen struktur dan sekaligus sebagai elemen arsitektural. Beton bertulang dapat dibuat dalam berbagai bentuk dan *finishing* yang beragam, tidak seperti baja contohnya, yang hanya tersedia dalam bentuk yang sudah distandarisasi oleh produsennya. Beton bertulang juga dapat berfungsi sebagai pelat lantai dan disaat yang sama berfungsi sebagai lapisan dasar lantai dan permukaan langit-langit untuk lantai di bawahnya. Penggunaan beton bertulang pada dinding misalnya, juga dapat dijadikan menarik dari sisi arsitektur dengan *finishing* yang tepat pada permukaannya.

c. Ketahanan akan api

Struktur pada bangunan tentunya harus memiliki ketahanan yang cukup terhadap api, untuk mengantisipasi kejadian tak terduga seperti kebakaran. Pada saat terjadi kebaran, sebuah struktur bangunan tentunya diharapkan dapat bertahan selama petugas pemadam kebakaran berusaha memadamkan api dan mengevakuasi isi gedung. Dalam hal ini, beton bertulang memiliki kelebihan, karena secara alami beton bertulang memiliki ketahan 1-3 jam terhadap api tanpa tambahan material anti api apapun. Sebagai perbandingan, material lain seperti kayu atau baja tidak memiliki ketahanan alami seperti ini dan membutuhkan perlakuan khusus agar dapat menjadi tahan api.

d. Kekakuan

Pengguna gedung tentunya akan merasa aman apabila gedung yang mereka tempati tidak bergeter ketika ada angin atau ketika lantai bangunan sedang dilewati orang berjalan. Beton bertulang mempunyai nilai kekakuan dan massa yang lebih besar dibandingkan material lain. Oleh karena itu, getaran

pada bangunan yang menggunakan beton bertulang sangat jarang menjadi masalah.

e. Perawatan

Beton bertulang membutuhkan sangat sedikit perawatan selama masa pakainya dibandingkan dengan material lainnya seperti kayu dan baja yang rentan terhadap rayap dan korosi.

f. Ketersediaan material pembentuk

Komposisi utama beton yang terdiri dari agregat kasar, halus, air, dan semen juga merupakan salah satu kelebihan karena ketersediannya yang luas. Baja tulangan yang digunakan pada beton bertulang juga dapat dengan lebih mudah untuk dikirim dibandingkan dengan baja struktural, sehingga menjadikan beton bertulang cocok untuk digunakan pada berbagai proyek konstruksi, termasuk yang berada di lokasi terpencil.

Selain beberapa kelebihan yang telah disebutkan di atas, beton bertulang tentunya juga memiliki beberapa kekurangan. Kekurangan yang dimiliki beton bertulang antara lain adalah :

a. Kekuatan tarik yang rendah

Seperti telah disebutkan sebelumnya, beton mempunyai kekuatan tarik yang rendah apabila dibandingkan dengan baja. Secara rata-rata, kekuatan tariknya hanya sekitar 1/10 dari kekuatan tekan yang dimiliki olehnya, sehingga menjadikan beton sangat rentan terhadap *crack* pada daerah yang mengalami gaya tarik besar. Memang, pada penggunaan untuk struktur pada bangunan, *crack* yang terjadi akan dibantu ditahan oleh adanya tulangan baja pada daerah tarik. Namun, ketika terjadi *crack* pada beton, hal ini akan menyebabkan masalah lain seperti kemungkinan masuknya air ke dalam beton yang dapat menyebabkan kerusakan lebih jauh lagi.

b. Formwork dan Support

Proses konstruksi dengan material beton bertulang melibatkan 3 langkah utama, yaitu pembuatan bekisting, pembongkaran bekisting setelah cor, dan perkuatan beton dengan *support* setelah cor selama masa yang dibutuhkan hingga beton tersebut dapat menahan bebannya sendiri. Setiap langkah dari tahapan yang disebutkan di atas membutuhkan material dan pekerja yang

berujung pada tambahan biaya, yang tidak diperlukan pada konstruksi dengan material lain

c. Nilai kekuatan per volume yang relatif rendah

Beton mempunyai nilai kekuatan per volume yang relatif rendah dibandingkan dengan baja. Ini berarti, struktur beton bertulang akan membutuhkan volume elemen struktur yang lebih besar dan berat elemen struktur yang lebih berat dibandingkan dengan struktur baja untuk menahan beban dengan nilai yang sama. Oleh karena itu, seringkali dijumpai struktur baja digunakan pada struktur dengan bentang panjang. Selain itu, berat sendiri beton yang cukup besar juga menjadi masalah dalam perencanaan ketahanan bangunan terhadap gempa, dimana berat sendiri beton memberikan kontribusi signifikan terhadap beban rencana gempa pada bangunan. Hal ini membuat para ahli mencoba menghasilkan inovasi untuk mengurangi berat sendiri pada beton, tanpa mengurangi kekuatannya. Salah satu inovasi yang cukup populer diaplikasikan dalam dunia konstruksi adalah *Hollow Core Slab*. HCS menjanjikan pengurangan berat sendiri beton secara signifikan, tanpa mengurangi kekuatan beton untuk menahan beban yang diberikan secara signifikan. Namun, karena proses pembuatannya yang melibatkan adanya pembuatan lubang di tengah-tengah pelat, maka HCS hampir selalu dibuat dipabrik secara *precast* dan dilengkapi dengan beton bertulang prategang untuk menambah kekuatannya. Untuk alasan pengurangan berat ini juga, kebanyakan produk HCS dibuat hanya untuk *one-way slab*, karena tentunya produk HCS untuk *two-way slab* akan menjadi terlalu berat.

2.3 Pelat Beton Bertulang

Salah satu elemen penting dalam struktur bangunan beton adalah pelat beton bertulang. Dalam aplikasinya pada struktur beton, pelat beton bertulang merupakan elemen struktur yang digunakan sebagai struktur horizontal yang bertumpu pada balok ataupun balok anak. Fungsi utama dari pelat beton bertulang adalah untuk menyalurkan beban yang diterimanya kepada tumpuannya (balok, balok anak, ataupun kolom). Pada aplikasinya, pelat juga menyumbangkan

kekakuan yang tinggi bagi struktur bangunan yang dirancang untuk menahan beban gempa, akan tetapi massa dari pelat tersebut juga menyumbangkan gaya inersia yang mempengaruhi besar kecil gaya gempa yang bekerja pada struktur bangunan.

Pelat beton bertulang diartikan sebagai struktur tipis yang terbuat dari beton bertulang dengan bidang yang arahnya horizontal dan memiliki beban yang bekerja secara tegak lurus pada bidang struktur tersebut. Secara fisik ciri-ciri dari pelat adalah perbandingan antara ketebalan dengan bentangnya yang cukup besar. Ketebalan pelat secara umum berkisar antara 120 mm hingga 750 mm tergantung dari fungsi dan kegunaannya. Untuk pelat beton bertulang yang langsung menyentuh dengan tanah, SNI 03-2847-2002 mengisyaratkan ketebalan minimum yaitu 450 mm.

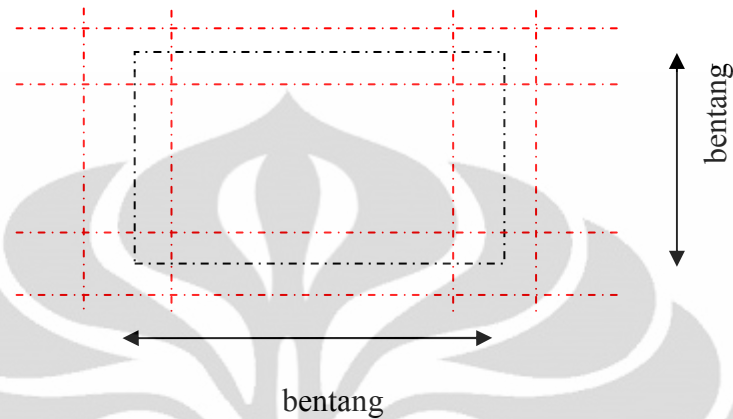
Pada bangunan beton, pelat beton bertulang digunakan sebagai lantai bangunan, atap, kepala tiang pancang (pile cap), pondasi telapak, perkerasan jalan, dan masih banyak lainnya. Beban yang bekerja pada pelat pada umumnya diperhitungkan sebagai beban gravitasi, yaitu berat sendiri pelat tersebut dan juga berat dari beban mati dan beban hidup yang bekerja di atasnya. Beban-beban tersebut menghasilkan momen lentur pada pelat dan juga gaya geser, sehingga dalam perencanaannya pelat dirancang untuk menahan kombinasi gaya-gaya dalam tersebut.

2.3.1 Klasifikasi Pelat Beton Bertulang

Pelat beton bertulang dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan perilakunya dalam merespon momen lentur yang bekerja. Kedua jenis tersebut adalah pelat satu arah (one-way slab) dan pelat dua arah (two-way slab). Secara umum kedua jenis pelat tersebut dapat dibedakan berdasarkan perbandingan panjang dan lebarnya. Pelat satu arah merupakan pelat dengan rasio perbandingan panjang dan lebar sebesar ≥ 2 , sedangkan pelat yang memiliki rasio yang kurang dari nilai tersebut diklasifikasikan pelat dua arah.

2.3.1.1 Pelat Satu Arah

Seperti yang telah dikatakan sebelumnya, pelat satu arah memiliki rasio perbandingan antara panjang dan lebar bentang yang cukup signifikan. Dapat dilihat pada gambar di bawah ini mengenai rasio perbandingan tersebut.



Gambar 2.7 Rasio Perbandingan Bentang Pelat Satu Arah

Pada pelat satu arah ini, momen lentur yang bekerja diasumsikan berada pada bentang terpanjangnya (bentang x). Hal ini mengakibatkan pelat berperilaku layaknya balok menerus biasa. Momen yang bekerja pada bentang y (bentang pendek) relatif jauh lebih kecil dibanding dengan momen yang bekerja pada bentang x , bahkan untuk beberapa kasus seperti pelat kantilever dan pelat dengan dua tumpuan sejajar tidak terjadi momen diarah bentang y . Momen pada bentang y yang relatif kecil tersebut dapat diabaikan karena penulangan cukup dilakukan pada bentang x .

- **Karakteristik Pelat Satu Arah**

Karakteristik pelat satu arah selain rasio perbandingan bentang panjang dan bentang pendek seperti diatas, terdapat beberapa syarat lainnya yang harus terpenuhi, diantaranya:

- Jumlah minimum bentang menerus adalah minimum dua bentang pada bentang terpanjang (bentang x)
- Panjang antar bentang yang menerus tidak terlalu berbeda, dengan rasio panjang bentang x terpanjang dengan panjang bentang x terpendek dari dua bentang yang bersebelahan tidak lebih dari 1,2;
- Beban yang bekerja pada pelat satu arah menerus adalah beban terbagi merata;

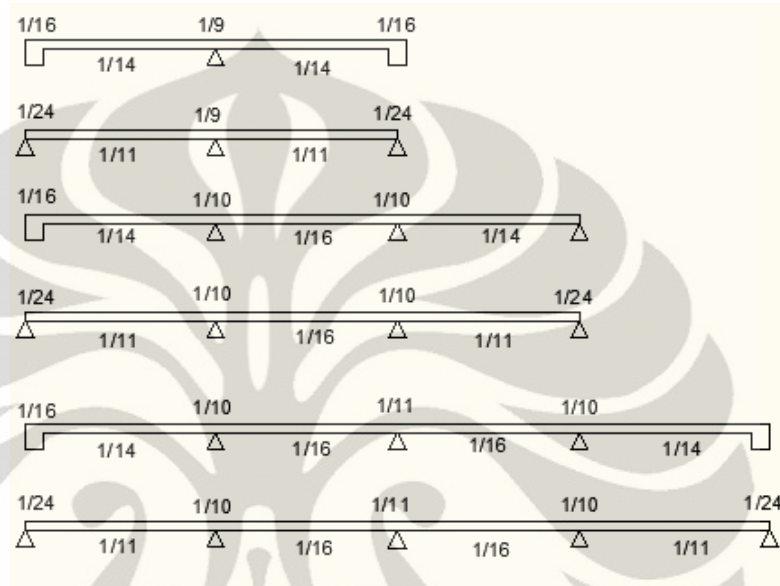
- d. Beban hidup per satuan panjang tidak lebih dari beban mati per satuan panjang
- e. Komponen struktur adalah prismatic.

Kelima karakteristik diatas tertuang didalam SNI 03-2847-2002. Untuk menghitung besarnya momen yang bekerja pada pelat satu arah ini dapat digunakan tabel koefisien momen untuk pelat satu arah dan balok menerus. Tapi sebelumnya perlu dipahami terlebih dahulu mengenai hubungan antara jenis perletakan (tumpuan) pelat terhadap momen yang terjadi.

Hubungan antara pelat dengan tumpuannya menjadi salah satu bagian dari perencanaan pelat. Secara umum terdapat tiga jenis tumpuan pelat pada balok, sebagai berikut:

- a. Terletak bebas, yaitu pelat yang bertumpu dengan bebas pada balok atau perletakan lainnya. Tumpuan jenis ini diperhitungkan tidak menahan momen lentur karena pelat diasumsikan terletak bebas tidak monolit dengan tumpuannya sehingga mengakibatkan pelat dapat mengalami rotasi dengan bebas pada tumpuan tersebut. Pada keadaan ini tumpuan diasumsikan sebagai *roller*.
- b. Terjepit elastis, yaitu saat dimana pelat dan tumpuannya monolit akan tetapi inersia dari tumpuan (balok) cukup kecil sehingga masih memungkinkan terjadinya rotasi. Sehingga pada keadaan ini tumpuan diasumsikan sebagai sendi (*joint*).
- c. Terjepit penuh, yaitu keadaan dimana pelat terjepit penuh terhadap tumpuan yang kaku sehingga rotasi tidak dapat terjadi. Hal ini mengakibatkan terjadinya momen lentur pada pelat dan momen torsi pada tumpuannya. Sehingga pada keadaan ini tumpuan diasumsikan sebagai jepit.
- d. Layaknya pada struktur lainnya, pada pelat satu arah pembebanan yang terjadi dibagi menjadi dua jenis, yaitu beban mati dan beban hidup. Beban mati didefinisikan sebagai beban yang terjadi akibat berat sendiri pelat dan juga berat dari instalasi ataupun beban lainnya yang relatif kekal pada struktur pelat. Sedangkan beban hidup didefinisikan sebagai beban yang mungkin terjadi akibat berat dari benda (hidup ataupun mati) yang bersifat sementara. Adapun seperti yang telah dibahas sebelumnya, pembebanan

pada pelat diasumsikan sebagai beban terbagi merata, sehingga momen yang terjadi akibat pembebanan tersebut dapat dicari dengan menggunakan koefisien momen yang konstan. Berikut ini daftar koefisien momen pada pelat satu arah dan balok menerus yang dapat digunakan untuk melakukan perhitungan perancangan struktur.



Gambar 2.8 Koefisien Momen untuk Pelat Satu Arah dan Balok Menerus

- Perancangan Pelat Satu Arah

Pada perencanaan penulangan pelat satu arah, langkah perhitungan adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan pembebanan yang terjadi;

Pembebanan yang diperhitungkan adalah pembebanan ultimate yang merupakan kombinasi dari beban-beban yang bekerja, kombinasi-kombinasi tersebut adalah:

$$U = 1,4 DL$$

$$U = 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 (A \text{ atau } R)$$

$$U = 1,2 DL + 1,0 LL \pm 1,6 W + 0,5 (A \text{ atau } R)$$

$$U = 0,9 DL + 1,6 W$$

$$U = 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 E$$

Dengan,

U = Kombinasi beban terfaktor , kN, kN/m², atau kNm.

D = beban mati (*Dead Load*), kN, kN/m', atau kNm.

L = beban hidup (*Live Load*), kN, kN/m', atau kNm.

A = beban hidup atap, kN, kN/m', atau kNm.

R = beban air hujan, kN, kN/m', atau kNm.

W = beban angin, kN, kN/m', atau kNm.

E = beban gempa, kN, kN/m', atau kNm.

Ditetapkan berdasarkan SNI 03-1726-1989-F

- b. Menghitung gaya dalam *ultimate* yang terjadi, dengan menggunakan tabel koefisien momen ataupun perhitungan statis tak tentu. Gaya dalam *ultimate* pelat untuk selanjutnya diperhitungkan harus kurang dari atau sama dengan gaya dalam rencana/nominal dikalikan faktor reduksinya;

$$M_u \leq \phi_m M_n$$

$$V_u \leq \phi_v V_n$$

$$N_u \leq \phi_n N_n$$

$$T_u \leq \phi_t T_n$$

Dimana faktor reduksi bernilai sesuai yang diisyaratkan oleh SNI 03-2847-2002, yaitu sesuai tabel 2.2.

Tabel 2.2 Faktor Reduksi Kekuatan pada struktur beton

Deskripsi gaya dalam		Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)
		SNI 03-2847-2002
Lentur, tanpa beban aksial		0,8
Beban aksial dan beban aksial dengan lentur	Aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur	0,8
	Aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur (yulangan spiral)	0,7
	Aksial tekan dan	0,65

	aksial tekan dengan lentur (struktur lain)	
Geser dan Torsi		0,75
Tumpuan pada beon kecuali untuk daerah pengangkuran pasca tarik		0,65
Daerah pengangkuran pasca tarik		0,85

- c. Menentukan dimensi pelat, yaitu panjang bentang, tebal pelat, tebal selimut, serta tinggi efektif (d) dari penampang pelat sesuai dengan peraturan yang berlaku (ACI Code, SNI 03-2847-2002, PBI 1971);
- Pada perhitungan pelat, lebar pelat diambil 1000 mm, untuk memudahkan.
 - Panjang bentang (l) (Pasal 10.7 SNI 03-2847-2002):
 1. Pelat yang tidak menyatu dengan struktur pendukung (tidak monolit):

$$l = l_n + h ; l \leq l_{as-as}$$
 2. Pelat yang menyatu dengan struktur pendukung:

Jika $l_n \leq 3,0$ m , maka $l = l_n$

Jika $l_n > 3,0$ m , maka $l = l_n + (2 \times 50 \text{ mm})$
 - Tebal minimum pelat satu arah (h) (Pasal 11.5.2.3 SNI 03-2847-2002) dapat dilihat pada tabel ??.
 - Tebal Selimut beton minimum, (Pasal 9.7.1 SNI 03-2847-2002):
 1. Untuk batang tulangan $D \leq 36$, tebal selimut beton, $d_s \geq 20$ mm
 2. Untuk batang tulangan D44 – D56, tebal selimut beton, $d_s \geq 40$ mm
 - Tinggi efektif (d) adalah jarak dari atas permukaan pelat hingga tengah tulangan. Sehingga: $d = h - d_s - \frac{1}{2} D_{tulangan}$

Tabel 2.3 Tebal Minimum Pelat Satu Arah²

Komponen Struktur	Tebal Minimum, h			
	Terdukung sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak mendukung atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu arah	1/20	1/24	1/28	1/10
Balok atau pelat rusuk satu arah	1/16	1/18,5	1/21	1/8
CATATAN:				
Panjang bentang dalam mm.				
Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal ($w_c = 2400 \text{ kg/m}^3$) dan tulangan BJTD 40 , untuk kondisi lain, nilai diatas harus dimodifikasi sebagai berikut:				
a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis diantara 1500 kg/m³ sampai 2000 kg/m³ , nilai tadi harus dikalikan dengan (1,65-0,0003w_c) tetapi tidak kurang dari 1,09 dimana w_c adalah berat jenis dalam kg/m³ .				
b) Untuk f_y selain 400 Mpa , nilainya harus dikalikan dengan (0,4 + $f_y/700$)				

² **Tabel 2.3** : Tebal minimum balok non-prategang dan pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung. Berdasarkan Pasal 11.5.2.1 SNI 03-2847-2002. Lembar 2847/S-95

- d. Menentukan besarnya momen nominal dari penampang (M_n), didapatkan persamaan kuadrat dalam A_s , sehingga didapat besarnya nilai A_s (luas penampang tulangan);

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = A_s f_y \cdot \left(d - 0,59 \frac{A_s f_y}{f'_c \cdot b} \right)$$

dengan luas tulangan minimum pelat (A_s):

- untuk tulangan pokok (Pasal 12.5.1 SNI 03-2847-2002) :

$$f'_c \leq 31,36 \text{ Mpa}; \quad A_s \geq \frac{1,4}{f_y} b \cdot d; \quad \text{dan}$$

$$f'_c > 31,36 \text{ Mpa}; \quad A_s \geq \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} \cdot b \cdot d$$

- Untuk tulangan bagi/tulangan susut (Pasal 9.12.2.1 SNI 03-2847-2002) :

$$f_y \leq 300 \text{ Mpa}, \text{ maka } A_{sb} \geq 0,0020 \cdot b \cdot h$$

$$f_y = 400 \text{ Mpa}, \text{ maka } A_{sb} \geq 0,0018 \cdot b \cdot h$$

$$f_y \geq 400 \text{ Mpa}, \text{ maka } A_{sb} \geq 0,0018 \cdot b \cdot h \cdot (400/f_y)$$

$$A_{sb} \geq 0,0014 \cdot b \cdot h$$

- e. Menghitung rasio luas tulangan terhadap luas beton (ρ), dengan persyaratan

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

$$\rho_b = \left[\frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y} \right]$$

- f. Setelah semua persyaratan terpenuhi, maka dihitung jumlah tulangan yang dibutuhkan.

$$n = \frac{A_s}{0,25 \cdot \pi \cdot d^2}$$

dengan jarak antar tulangan dihitung dengan cara:

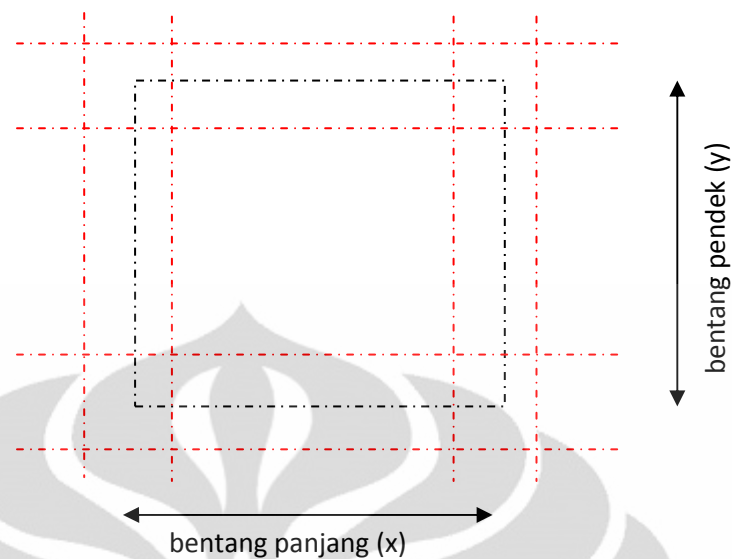
$$s = \frac{b}{n}$$

dimana b adalah 1000 mm yaitu asumsi lebar pelat dan n adalah jumlah tulangan. Selain itu beberapa syarat yang ditetapkan dalam SNI 03-2847-2002 mengenai spasi tulangan adalah sebagai berikut:

- Jarak bersih antar tulangan mimum (s) (Pasal 9.6.1 SNI 03-2847-2002):
 $s \geq D$; dan $s \geq 25$ mm (D = Diameter tulangan)
 Jarak bersih antar tulangan mimum (s) (Pasal 5.3.2.3 SNI 03-2847-2002):
 $s \geq 4/3 m_{sa}$ (m_{sa} = maksimum size of agregat); atau
 $s \geq 40$ mm
- Jarak maksimal tulangan ($as - as$):
 Tulangan pokok :
 $s \leq 3 h$ dan $s \leq 450$ mm (Pasal 12.5.4)
 Tulangan bagi:
 $s \leq 5 h$ dan $s \leq 450$ mm (Pasal 9.12.2.2 SNI 03-2847-2002)

2.3.1.2 Pelat Dua Arah

Ketika perbandingan antara bentang panjang, L , dengan bentang pendek, S , sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 8, kurang dari dua, maka beban yang ditahannya akan disalurkan pada dua arah ke empat balok yang menumpunya. Pelat yang demikian disebut sebagai pelat dua arah. Dalam SNI 03-2847-2002, syarat terjadinya momen lentur secara dua arah diperhitungkan dengan rasio perbandingan bentang x (bentang panjang) dengan bentang y (bentang pendek) yang melebihi nilai 1,2. Oleh karena itu, hal yang membedakan dalam perencanaan pelat dua arah dengan pelat satu arah adalah penentuan besar dari momen lentur yang terjadi.



Gambar 2.9 Rasio Perbandingan Bentang Pelat Satu Arah

Perhitungan momen ultimate pada pelat dua arah dapat dilakukan dengan berbagai metode, diantaranya:

- *Envelope Method* (Metode Amplop)
- *Equivalent Frame Method*
- *Direct Design Method*

2.3.2 Inovasi Pelat Beton

Selama ini, beberapa inovasi telah dilakukan pada struktur beton bertulang, khususnya untuk elemen pelat dan balok. Sejumlah inovasi di antaranya mengarah pada cara-cara mengurangi berat sendiri beton bertulang. Pada elemen pelat dan balok beton bertulang, diasumsikan bahwa tegangan tekan seluruhnya ditahan oleh bagian beton, sedangkan tegangan tarik seluruhnya ditahan oleh bagian baja. Bagian beton pada penampang melintang yang menahan tegangan tekan hanya sebagian kecil dari ketebalan tersebut. Sementara itu, sisanya tidak menyumbang kekuatan terhadap tegangan tekan, meski berperan dalam menghasilkan momen inersia yang cukup dan terciptanya *bonding* antara beton dan baja, serta kekuatan terhadap geser.

Oleh karena itu, muncul gagasan untuk mengurangi massa elemen beton bertulang dengan meniadakan beton pada bagian tengah elemen yang tidak menyumbangkan kekuatan terhadap tekan. Meski demikian, untuk menciptakan

kuat geser dan momen inersia yang cukup, elemen tersebut tetap dibuat dengan ketebalan tertentu. Kemudian, untuk menghasilkan *bonding* yang cukup, elemen tersebut dibuat dengan tidak meniadakan beton pada bagian yang diperkuat dengan tulangan baja. Contoh dua inovasi dengan konsep tersebut adalah *hollow-core slab* dan *BubbleDeck system*.

2.3.2.1 Hollow Core Slab

a. Pengertian

Hollow Core Slab (HCS) merupakan *slab* beton dengan penampang yang berlubang di tengahnya. Lubang di tengah penampang tersebut memiliki beberapa manfaat, seperti pengurangan volume beton, pengurangan berat *slab*, sebagai tempat untuk komponen mekanik dan elektrik, dan sebagainya. Pada umumnya, HCS diperkuat dengan tendon prategang, dan oleh karenanya, HCS diproduksi sebagai beton pracetak.

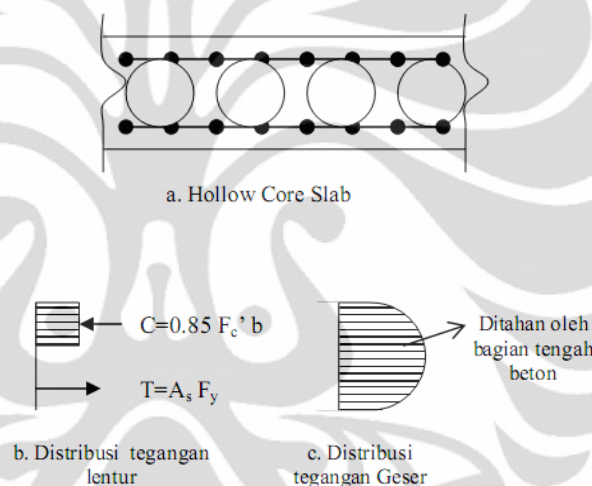
Fellinger, Stark, dan Joost (2005) dalam tulisannya yang berjudul *Shear and Anchorage Behaviour of Fire Exposed Hollow Core Slabs* menyebutkan bahwa,

Hollow core (HC) slabs are made of pre-cast concrete with pre-tensioned strands. The slabs consist of pre-cast units of typically 1.2 m wide. The cross sectional depth depends on the intended span and ranges between 150-400 mm reaching spans up to 16 m. The number and shape of the hollow cores is adjusted to the depth of the slab. These slabs are very popular in offices and dwellings, thanks to the large span to depth ratio. This is a result of the reduction of weight, maintaining the effectiveness of the cross section, due to the hollow cores in combination with a relatively high strength of the concrete, typically C45 to C60.

b. Konsep Dasar HCS

Ide mengenai *Hollow Core Slab* (HCS) berawal dari teori elastis tegangan lentur yang menyebutkan bahwa tegangan paling maksimum pada penampang *slab* ditahan oleh sisi terluar penampang. Pada saat kondisi *ultimate* tercapai, kapasitas momen nominal dari penampang ditentukan oleh lengan momen antara resultan tegangan pada sisi tekan dan sisi tarik.

Pada beton bertulang, diasumsikan bahwa tegangan tarik sepenuhnya ditahan oleh tulangan baja pada sisi tarik, dan tegangan tekan sepenuhnya ditahan oleh beton pada sisi tekan. Baik sisi tekan maupun tarik pada tegangan lentur, keduanya berada pada sisi luar penampang. Dengan demikian, beton pada bagian tengah diasumsikan tidak menyumbangkan kekuatan lentur (Gambar 9). Berdasarkan pada hal tersebut, muncullah pemikiran untuk memberikan lubang pada beton dengan tujuan untuk mengurangi berat sendiri *slab* tanpa mengurangi kekuatan lenturnya. Oleh karena itu pula, konsep ini mulai diterapkan pada komponen struktur yang secara dominan menahan tegangan lentur.



Gsmbar 2.10 Distribusi Tegangan Lentur dan Geser pada Penampang Slab Beton

c. Kuat Geser pada HCS

Saat ini, *design code* yang ada telah memuat berbagai hasil penelitian tentang HCS. Meski demikian, berbagai riset tetap dilakukan untuk mengevaluasi dan mengembangkan *design code* tersebut. Studi mengenai kapasitas penampang HCS dalam menahan tegangan geser merupakan hal yang masih terus dikembangkan hingga saat ini, mengingat kegagalan geser merupakan *failure mode* yang paling rentan terjadi pada HCS sebagai konsekuensi dari berkurangnya luas penampang beton pada HCS.

Dalam eksperimennya, Pajari (2005) melakukan validasi kuat geser pada badan (*web*) penampang HCS prategang terhadap persamaan yang terdapat dalam Eurocode 2 (BS Code). Hasil eksperimen yang dilakukan menunjukkan bahwa perhitungan kapasitas geser dengan Eurocode 2 dan

“metode Yang’s” melebihi (*overestimate*) rerata nilai kapasitas geser dari seluruh jenis *slab* yang diuji. Di antara keduanya, metode Yang memberikan hasil yang lebih baik untuk spesimen dalam penelitian ini. Di samping itu, dari penelitian ini diketahui pula bahwa selisih antara hasil perhitungan dengan hasil eksperimen bervariasi menurut ketebalan dan bentuk lubangnya. Selisih yang lebih besar cenderung terjadi pada *slab* yang lebih tipis.

Dalam tulisannya, Hawkins dan Ghosh (2006) menyebutkan bahwa sejak tahun 1970-an, para peneliti telah menyadari bahwa komponen beton bertulang yang menahan lentur tanpa tulangan geser akan mengalami kegagalan geser pada beban yang kurang dari nilai yang diperkirakan dalam ACI 318-05. Oleh karena itu, kemudian ditetapkan bahwa apabila V_u melebihi $0,5\phi V_c$, maka diperlukan tulangan geser minimum. Akan tetapi, persyaratan tersebut tidak berlaku secara efektif pada *slab*, termasuk HCS. Hal tersebut terjadi karena tebal *slab* pada umumnya tidak cukup besar seperti balok. Selain itu, *slab* yang relatif tipis membuat penambahan tulangan geser cukup sulit dilakukan. Untuk itu, Hawkins dan Ghosh melakukan studi eksperimental terhadap kekuatan geser dari *one way* HCS prategang dengan ketebalan melebihi 300 mm. Hasil studi eksperimen tersebut akhirnya menunjukkan bahwa *web shear strength* dari ACI lebih rendah dibandingkan dengan hasil uji eksperimen.

d. Metode Produksi HCS

Dalam *PCI Manual for the Design of Hollow Core Slabs* disebutkan bahwa terdapat dua metode utama untuk memproduksi komponen *hollow core* di Amerika Serikat. Cara yang pertama disebut dengan sistem cetak-kering (*dry-cast system*) di mana campuran beton dengan *slump* yang sangat rendah dimasukkan ke dalam mesin pencetak. Lubang di dalamnya dibuat dengan auger atau selongsong. Campuran beton kemudian dipadatkan di sekitar lubang tersebut. Sebaliknya, pada cara yang kedua digunakan campuran beton dengan *slump* yang tinggi yang dituang ke dalam bekisting (baik statis maupun dapat bergerak/*slip forming*). Bekisting tersebut terpasang pada mesin. Pada cara ini, lubang umumnya dibentuk dengan selongsong berisi

udara (*pneumatic tube*) yang terpasang pada bekisting, atau dengan menggunakan selongsong panjang yang terpasang pada mesin pencetak.

2.3.2.2 Bubble Deck System

BubbleDeck merupakan salah satu inovasi elemen pelat beton bertulang di mana bola-bola yang terbuat dari plastik membentuk lubang dalam pelat. Sistem ini dikembangkan oleh *BubbleDeck Netherlands B. V.* yang dibentuk pada tahun 1997. Secara struktural, *BubbleDeck* tergolong sebagai pelat rata (*flat plate*), sehingga pelat ini tidak diperkuat oleh balok ataupun kepala kolom (*drop panel*). Sistem ini dapat digunakan sebagai pelat lantai, dak atap dan pelat lantai dasar.

Sistem ini memberikan sejumlah keuntungan. Salah satu keuntungan di antaranya adalah sistem ini memiliki kapasitas dalam menahan beban yang sama baiknya dengan pelat biasa, namun dengan ketebalan yang lebih kecil. Hal ini membawa keuntungan lainnya, yaitu penghematan material untuk konstruksi pelat mencapai 40% hingga 50%. Dengan adanya pengurangan berat sendiri pelat, maka elemen struktur lain juga akan menahan berat pelat yang lebih sedikit, yang kemudian akan mengurangi dimensi kolom dan pondasi yang dibutuhkan, sehingga menghasilkan penghematan material untuk keseluruhan bangunan hingga mencapai 50%.



Gsmbar 2.11 Penempatan Elemen Bubble Deck

2.4 Perkuatan Geser pada Beton Bertulang

Balok yang menerima gaya geser yang besar dapat menimbulkan keretakan diagonal yang berakibat keruntuhan geser. Oleh karena itu, seringkali dibutuhkan adanya perkuatan dengan menggunakan tulangan geser untuk menghindari keruntuhan geser yang getas sebelum keruntuhan daktail terjadi. Prinsip utama perancangan keamanan komponen struktur beton terhadap geser didasarkan pada pertidaksamaan :

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$V_n = V_c + V_s$$

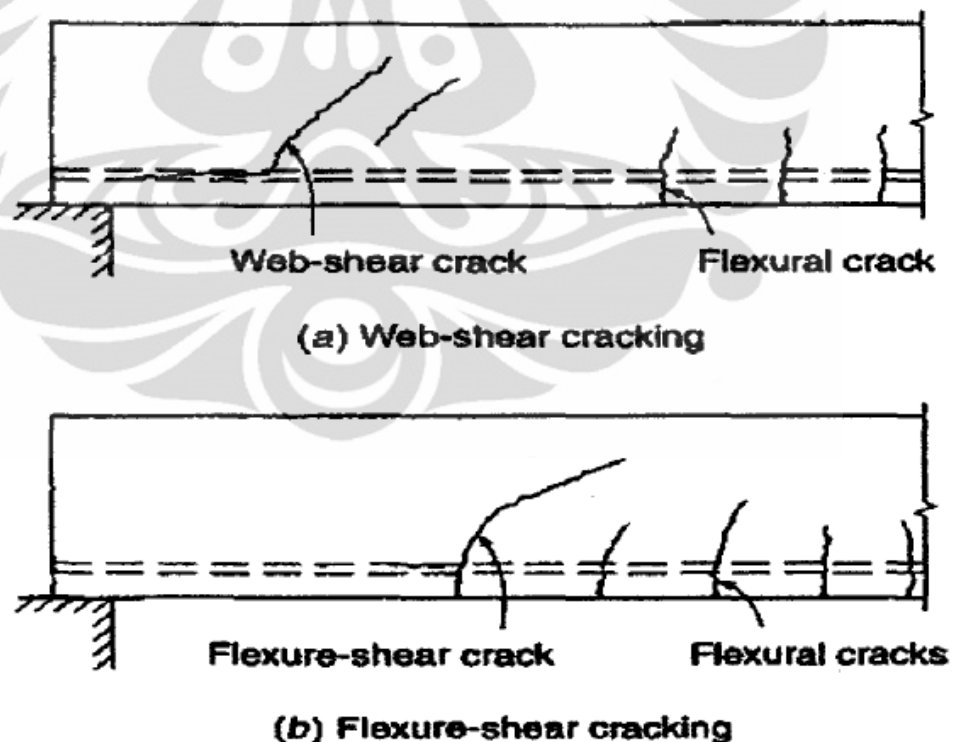
dimana :

V_u = gaya geser ultimate pada penampang yang ditinjau

V_n = kuat geser nominal (kapasitas)

V_c = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton

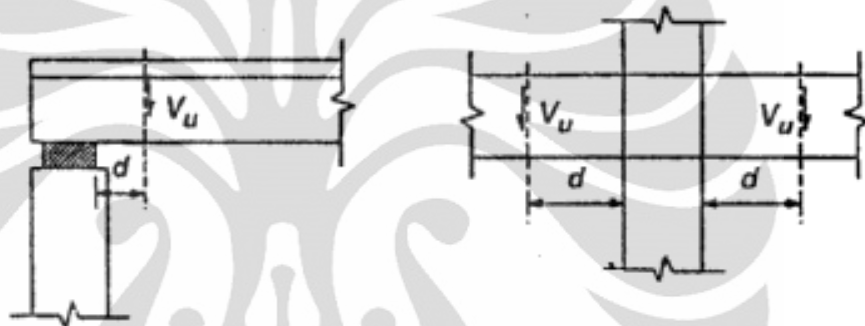
V_s = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser



Gsmbar 2.12 Bentuk kegagalan geser pada beton

Untuk menghitung gaya geser ultimate V_u di daerah tumpuan dari komponen struktur non-pratekan, penampang yang jaraknya kurang dari sejauh d dari muka tumpuan boleh direncanakan terhadap gaya geser V_u yang nilainya sama dengan gaya geser yang dihitung pada titik sejarak d , jika memenuhi ketiga ketentuan berikut :

- reaksi tumpuan, dalam arah bekerjanya gaya geser, menimbulkan tekan pada daerah ujung komponen struktur
- beban bekerja pada atau dekat permukaan atas komponen struktur beton
- tidak ada beban terpusat bekerja di sejarak d di muka tumpuan (sebagai lokasi perhitungan geser maksimum)



Gambar 2.13 Lokasi geser maksimum pada balok

Kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton pada balok atau pelat satu arah terlentur dapat dihitung berdasarkan kombinasi berikut :

$$V_c = 1/6 (\text{square } f_c') b w d$$

dengan :

Rasio besaran $V_u.d/M_u$ tidak boleh diambil lebih dari 1,0 pada setiap penampang.

Apabila balok atau pelat satu arah menerima gaya aksial tekan, nilai momen M_u dapat digantikan oleh momen ekuivalen M_m yang dipengaruhi oleh gaya aksial N_u . Momen M_m dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$M_m = M_u - N_u (4h-d) / 8$$

Jika M_m didapatkan negatif, maka persamaan untuk menghitung V_c adalah sebagai berikut :

$$V_c = 1/6 (1 + 1/14 N_u/A_g) (\text{square } f_c') b w d$$

Apabila balok atau pelat satu arah dibebani gaya aksial tarik, persamaan-persamaan yang diturunkan untuk balok dengan aksial tekan cukup baik untuk digunakan pula pada perhitungan geser balok dengan gaya aksial tarik (dengan nilai N_u negatif untuk tarik). Adapun ACI-318 yang merupakan sumber utama SNI, telah mengadopsi suatu pendekatan yang lebih konservatif untuk balok atau pelat satu arah dengan gaya aksial tarik yang dihitung berdasarkan suatu interpolasi linier antara V_c ketika tidak ada gaya tarik dan $V_c = 0$ ketika ada aksial tarik sebesar 3,33 Mpa. Interpolasi tersebut menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$$V_c = 1/6 (1 + 0,3 N_u/A_g) (\text{square } f_c') b_w d$$

dimana N_u adalah negatif untuk tarik.

Wujud tulangan geser pada beton bertulang dapat berupa tulangan longitudinal yang dibengkokkan (miring), sengkang tegak (vertikal), sengkang miring, atau kombinasinya. Tulangan yang dibengkokkan harus membentuk sudut sedikitnya 30° dengan tulangan longitudinal dan sengkang miring dengan sudut sedikitnya 45° untuk memberikan ketahanan terhadap tegangan tarik diagonal.

Perhitungan kekuatan geser yang disumbangkan oleh tulangan geser harus memperhatikan ketentuan berikut :

- Jika $V_u \leq \frac{1}{2} \psi V_c \rightarrow$ tidak perlu tulangan geser
- Jika $\frac{1}{2} \psi V_c < V_u \leq \psi V_c \rightarrow$ tulangan geser minimum
- Jika $V_u > \psi V_c \rightarrow$ perlu tulangan geser

$V_s = V_u/\psi - V_c$ perlu dipikul tulangan geser dengan :

- Sengkang Vertikal : $V_s = A_v f_y d/s$
- Sengkang Miring : $V_s = A_v f_y d/s (\sin a + \cos a)$

dimana A_v adalah luas tulangan geser yang dipasang dengan jarak s .

Dari persamaan di atas, dapat dilihat bahwa pemilihan tulangan geser akan menentukan perhitungan dari kekuatan geser yang diberikan oleh tulangan. Tulangan geser yang dipasang miring secara rata-rata akan memberikan kontribusi kekuatan yang lebih besar. Namun dalam prakteknya, tulangan geser vertikal akan lebih mudah dalam hal pemasangan.

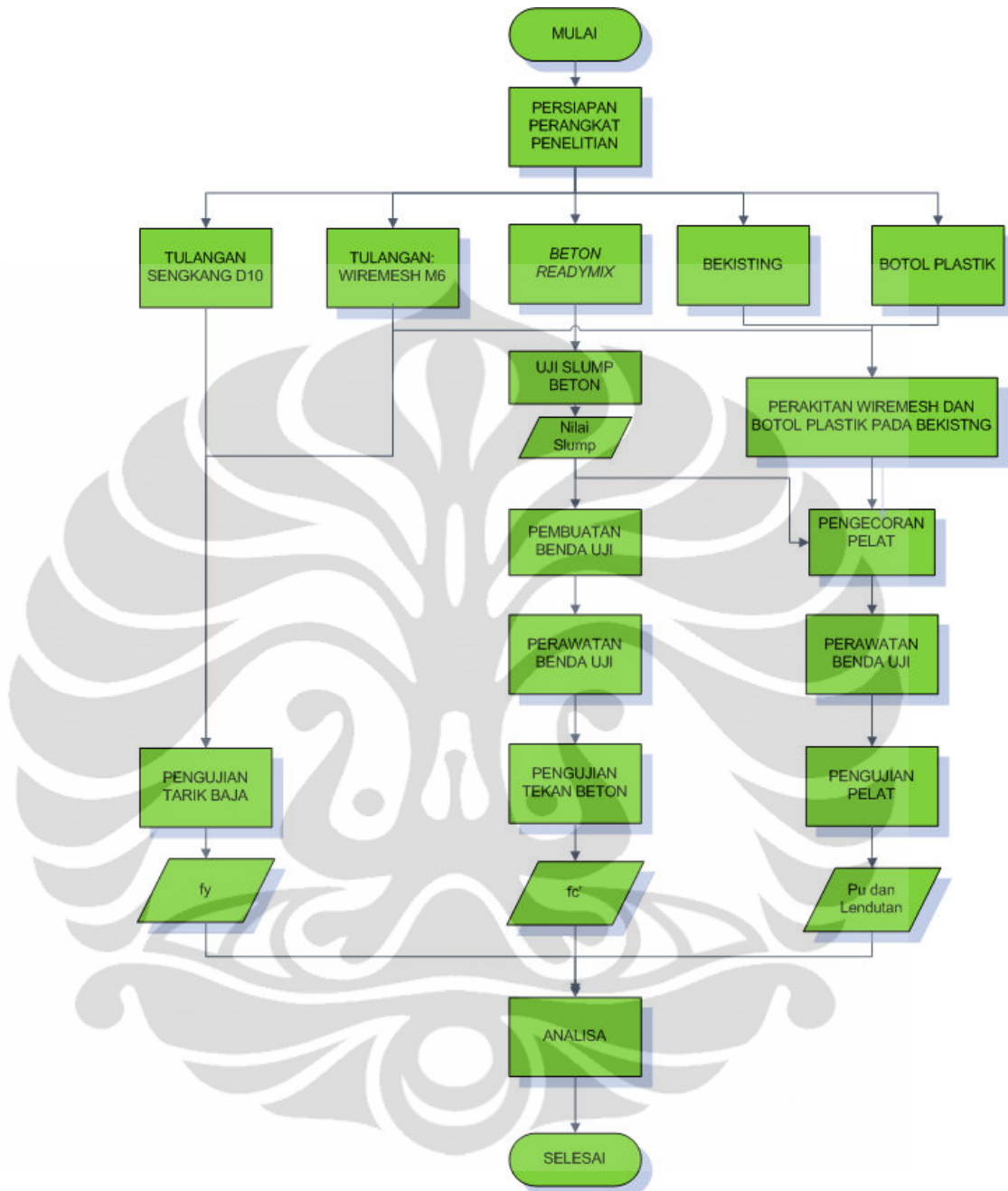
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Gambaran Umum

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya di bab satu, pada bab ini akan dibahas secara mendetail proses pelaksanaan penelitian ini. Semua hal yang berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian ini akan dijelaskan satu-persatu, mulai dari diagram alir berfikir penelitian, jadwal pelaksanaan penelitian, spesifikasi benda uji, dan berbagai jenis pengujian yang akan dilaksanakan beserta prosedurnya.

Secara garis besar, penelitian kali akan terbagi menjadi dua, yaitu pengujian pelat dan pengujian material. Pengujian pelat dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari masing-masing jenis pelat yang diteliti. Sedangkan pengujian material dilakukan untuk mendapatkan properti dari material yang digunakan dalam membuat benda uji pelat pada penelitian ini. Properti yang dibutuhkan ini antara lain adalah nilai f_c' dari beton yang digunakan dan nilai f_y dari tulangan yang digunakan, baik *wiremesh* maupun tulangan sengkang.

Pengujian pelat nantinya akan dilakukan dengan pembebanan empat titik, dengan masing-masing beban diletakkan pada $1/4$ bentang dan $3/4$ bentang. Pada pengujian ini, pelat akan diberikan beban yang besarnya akan bertambah secara bertahap hingga pelat mengalami keruntuhan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari masing-masing benda uji pelat, untuk kemudian dianalisa dan dibandingkan satu dengan yang lainnya. Sedangkan pengujian material yang dilakukan terdiri dari pengujian tekan beton, pengujian tarik baja, dan pengujian slump sebelum pengecoran. Semua pengujian material ini mengacu pada standar ASTM 2009.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1.1 Waktu Pelaksanaan

Penelitian kali ini akan dilakukan sesuai jadwal yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 3.1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No	Kegiatan	Januari 2011					Februari				Maret			
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Pembuatan Benda Uji													
2.	Perawatan Benda Uji													
3.	Pengujian Pelat													
4.	Pengujian Material													
5.	Pengolahan Data Eksperimen													
6.	Analisis													

3.2 Benda Uji

3.2.1 Spesifikasi Material

Berikut ini akan dijelaskan mengenai data material yang digunakan dalam penelitian ini.

a. Mutu Beton

Mutu beton : K-300

Slump : 15 cm (+ 1 cm)

b. Mutu Baja Tulangan Tarik

Mutu : 240 MPa

Diameter : 7,5 mm

c. Mutu Tulangan Geser (Sengkang)

Mutu (f_y) : 240 MPa

Diameter : 6 mm

d. Pembuat Lubang pada Pelat

Botol plastik bekas air mineral ukuran 1500 mL dengan diameter 80 mm dan panjang 32 cm.

3.2.2 Dimensi dan Spesifikasi Benda Uji

Benda uji dalam penelitian ini dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu benda uji sampel material dan benda uji sampel struktur pelat. Berikut ini adalah spesifikasi masing-masing benda uji:

Tabel 3.2 Spesifikasi Benda Uji

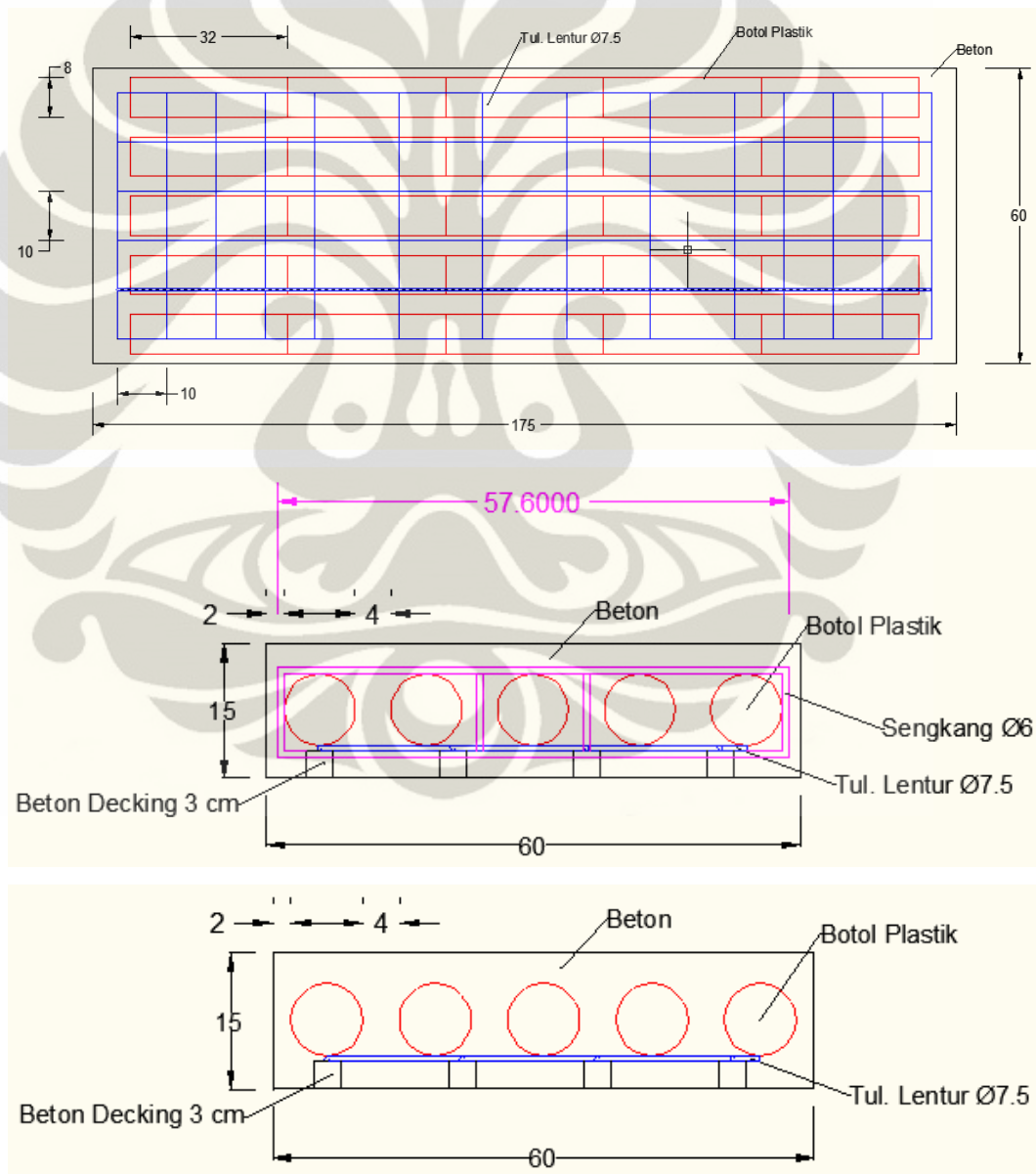
Kode benda uji	Deskripsi	Bentuk benda uji	Jenis pengujian	Jumlah
S	Silinder Beton	Silinder (150 x 300 mm)	Kuat tekan	5
D8	Baja Tul. Tarik	Batang Baja (ϕ 7,5mm)	Kuat Tarik Langsung	3
D6	Baja Sengkang	Batang Baja (ϕ 6mm)	Kuat Tarik Langsung	3
5-Void	Pelat 5 baris <i>hollow</i> tanpa sengkang	Pelat (15 x 600 x 1750 mm)	<i>Third-point Loading</i>	3
Vertikal	Pelat 5 baris <i>Hollow</i> dgn Sengkang Vertikal	Pelat (15 x 600 x 1750 mm)	<i>Third-point Loading</i>	3
Diagonal	Pelat 5 baris <i>Hollow</i> dgn Sengkang Miring	Pelat (15 x 600 x 1750 mm)	<i>Third-point Loading</i>	3

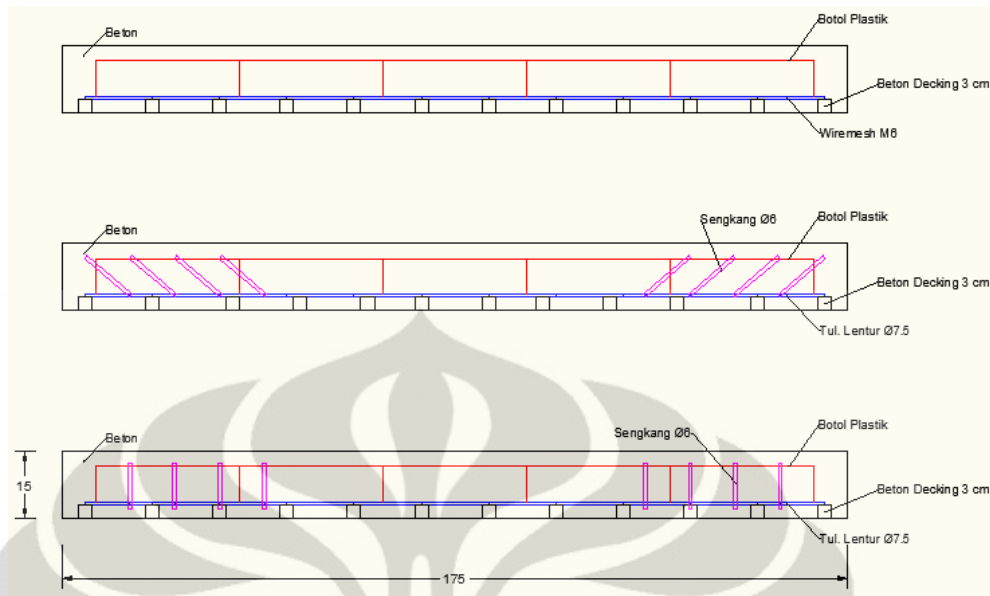
Dalam menentukan dimensi pelat yang digunakan pada penelitian ini, ada beberapa pertimbangan yang telah dipikirkan sehingga menghasilkan dimensi benda uji yang sedemikian. Pertimbangan tersebut antara lain adalah :

- Pelat harus memiliki panjang bentang bersih sisi panjang lebih besar atau sama dengan dua kali panjang bentang bersih sisi pendek ($L_y/L_x \geq 2$), sehingga dapat diasumsikan sebagai pelat satu arah.
- Pelat harus memiliki perbandingan panjang:lebar:tebal yang cukup untuk dapat diasumsikan sebagai sebuah pelat.
- Pelat konvensional yang dipilih harus memiliki kekuatan maksimal di bawah kapasitas alat pembebanan yang digunakan, sehingga dapat diketahui nilai beban maksimal untuk mencapai keruntuhan.

- Pelat juga harus memiliki berat yang tidak terlalu besar sehingga mobilisasi dapat dilakukan dengan lebih mudah.
- Ketebalan yang cukup untuk mendapatkan penampang pelat perlu diperhatikan sehingga memenuhi syarat tebal pelat masif dan tebal selimut beton minimal yang ditetapkan dalam SNI 03-2847-2002.

Berdasarkan berbagai pertimbangan di atas, berikut adalah gambar teknis dari pelat yang digunakan dalam percobaan kali ini.





Gambar 3.2 Gambar Teknis Benda Uji Pelat

3.3 Metode Pelaksanaan dan Pengujian

3.3.1 Uji Tekan Beton

- Tujuan

Pengujian kuat tekan beton perlu dilakukan untuk memvalidasi nilai kuat tekan (f_c') dari beton yang dipesan dengan *ready-mix*. Kuat tekan yang didapat ini pada akhirnya nanti akan digunakan untuk melakukan perhitungan manual terhadap model pelat beton yang diuji.

- Peralatan

- Mesin tes tekan beton.
- Satu set alat pelapis (capping).
- Timbangan dengan ketelitian 0,3 % dari berat contoh.

- Sampel

Sampel beton yang digunakan merupakan benda uji silinder.

- Prosedur

- Prosedur Persiapan

- Keluarkan benda uji yang akan ditentukan kuat tekannya dari bak perendam 1 hari sebelum waktu uji yang ditentukan, kemudian bersihkan dari kotoran yang menempel dengan kain lembab.
- Kesesokan harinya, tentukan berat dan ukuran benda uji

- c. Melapisi permukaan atas dan bawah benda uji (capping) dengan mortar belerang, dengan cara:
 1. Lelehkan mortar belerang di dalam pot peleleh sampai suhu 130°C.
 2. Lapisi cetakan pelapis dengan gemuk
 3. Tuang mortar belerang ke dalam cetakan pelapis
 4. Letakkan benda uji tegak lurus pada cetakan pelapis hingga mortar belerang cair mengeras.
 5. Dengan cara yang sama lakukan pelapisan pada permukaan bawahnya.
- d. Diamkan selama ± 1 jam sampai lapisan belerang mengering.
 - **Prosedur Pengujian**
 - a. Benda uji yang telah di capping di letakkan di atas mesin tes tekan secara sentris.
 - b. Mesin tes tekan dijalankan dengan melakukan penambahan beban yang konstan antara 2 hingga 4 kg/cm²
 - c. Pembebanan dilanjutkan hingga benda uji hancur.
 - d. Catat besarnya beban yang diperlukan untuk menghancurkan benda uji.
 - e. Amati pola keretakan benda uji

3.3.2 Uji Tarik Baja

- **Tujuan**

Pengujian kuat tarik baja tulangan wiremesh dilakukan untuk mendapatkan nilai dari tegangan tarik (f_y) baja. Tegangan tarik ini akan digunakan juga untuk melakukan analisis statis model pelat yang diuji untuk kemudian dibandingkan dengan sampel pelat. Dari hasil pengujian ini nantinya akan didapatkan gaya yang diperlukan untuk melelehkan tulangan dan gaya maksimum yang diperlukan untuk memutuskan tulangan. Dari gaya pada titik leleh tersebut kemudian bisa dihitung besarnya tegangan tarik yang dapat diterima oleh baja tulangan. Sebelum dapat melakukan pengujian tarik ini perlu dilakukan pemotongan benda uji dari jaring wiremesh sepanjang kebutuhan dan pembubutan agar bentuk benda uji sesuai ketentuan.
- **Peralatan**
 - a. Mesin uji tarik dengan persyaratan:

1. Mesin harus dapat menarik benda uji dengan kecepatan merata dan dapat diatur sehingga kecepatan naiknya tegangan tidak melebihi 1kg/mm^2 tiap detik.
2. Ketelitian pembacaan sebaiknya sebesar $1/10$ x beban maksimum menurut skala penunjuk beban pada mesin uji tarik.
 - b. Alat ukur geser.
 - c. Alat pemotong baja.
 - d. Alat penggores batang percobaan.
 - e. Mesin bubut
- Prosedur
 - a. Benda uji dipotong dengan menggunakan alat pemotong baja, sesuai aturan.
 - b. Jepit benda uji pada pegangan h (lihat gambar) pada alat penjepit mesin uji tarik. Sumbu alat penjepit harus berimpit dengan sumbu benda uji.
 - c. Jalankan mesin dengan kecepatan tarik 1 kg/mm^2 tiap detik dan amati serta catat kenaikan beban serta kenaikan panjang yang terjadi hingga benda uji putus

3.3.3 Uji *Slump* Beton Semen Hidrolis

- Tujuan

Metode pengujian digunakan untuk menentukan nilai *slump* dari beton semen hidrolis. Metode pengujian ini dapat diterapkan pada beton plastis dengan agregat kasar berukuran 1,5 in (37,5 mm).

- Deskripsi

Suatu sampel dari campuran beton segar ditempatkan dan dipadatkan dengan batang pemadat di dalam *mold*. Kemudian, *mold* berisi campuran beton tersebut diangkat, dan campuran beton di dalamnya dibiarkan menyebar. Jarak vertikal antara puncak awal dengan puncak setelah menyebar diukur sebagai nilai *slump* suatu campuran beton.

- Peralatan
 - a. Cetakan (*Mold*)
 - b. Batang pemadat
 - c. Alat ukur panjang

d. Sekop

- Sampel

Sampel beton yang digunakan merupakan campuran beton yang digunakan untuk membuat spesimen.

- Prosedur

a. Basahi cetakan dan letakkan di atas permukaan datar, lembab, tidak menyerap air dan kaku. Cetakan harus ditahan secara kokoh di tempat selama pengisian, oleh operator yang berdiri di atas bagian injakan.

b. Segera isi cetakan dalam tiga lapis,

c. Padatkan setiap lapisan dengan 25 tusukan menggunakan batang pemadat. Sebarkan penusukan secara merata di atas permukaan setiap lapisan. Hindari batang penusuk mengenai pelat dasar cetakan.

Dalam pengisian dan pemadatan lapisan atas, lebihkan adukan beton di atas cetakan sebelum pemadatan dimulai. Bila pemadatan menghasilkan beton turun dibawah ujung atas cetakan, tambahkan adukan beton untuk tetap menjaga adanya kelebihan beton pada bagian atas dari cetakan.

d. Setelah lapisan atas selesai dipadatkan, ratakan permukaan beton pada bagian atas cetakan dengan cara menggelindingkan batang penusuk di atasnya.

e. Lepaskan segera cetakan dari beton dengan cara mengangkat dalam arah vertikal secara-hati-hati. Angkat cetakan dengan jarak 300 mm dalam waktu 5 ± 2 detik tanpa gerakan lateral atau torsional.

f. Selesaikan seluruh pekerjaan pengujian dari awal pengisian hingga pelepasan cetakan tanpa gangguan, dalam waktu tidak lebih dari 2 ½ menit.

g. Setelah beton menunjukkan penurunan pada permukaan, ukur segera *slump* dengan menentukan perbedaan vertikal antara bagian atas cetakan dan bagian pusat permukaan atas beton.

h. Bila terjadi keruntuhan atau keruntuhan geser beton pada satu sisi atau sebagian massa beton, abaikan pengujian tersebut dan buat pengujian baru dengan porsi lain dari contoh.

i. Pengujian ulang *slump* dilakukan sebanyak maksimal dua kali, apabila pada pengujian pertama hasil *slump* yang diperoleh tidak mencapai nilai yang

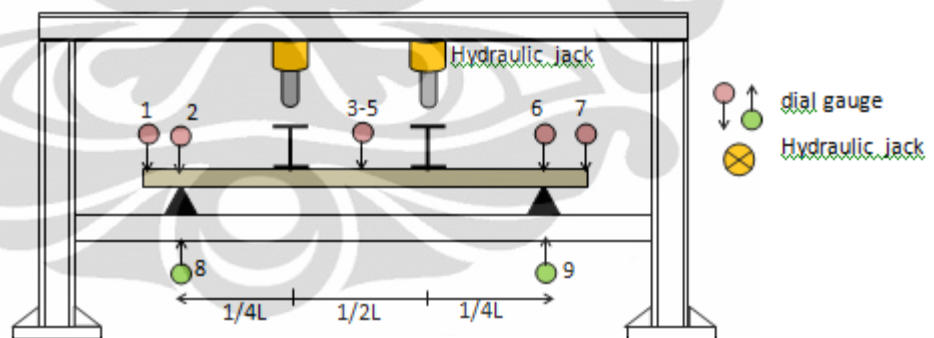
disyaratkan. Apabila pada pengujian kedua atau ketiga diperoleh nilai *slump* sesuai dengan yang disyaratkan, maka beton tersebut dapat dianggap memiliki *slump* sesuai dengan yang disyaratkan.

3.3.4 Uji Sampel Pelat

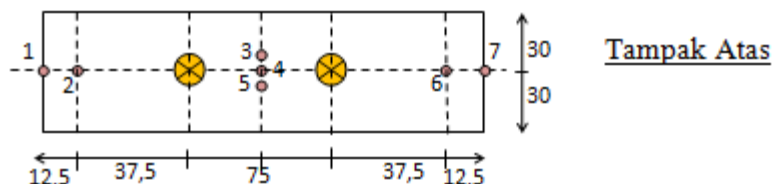
Pengujian terhadap sampel pelat akan dilakukan pada saat pelat berumur 28 hari. Pengujian ini dipilih dengan tujuan agar perilaku pelat terhadap pembebanan empat titik dapat diketahui. Dengan menggunakan pembebanan empat titik, bisa didapatkan model keruntuhan yang diakibatkan gaya dalam lentur murni dan model keruntuhan yang diakibatkan kombinasi gaya dalam lentur dan gesr. Gaya dalam lentur murni akan bekerja pada jarak $1/4$ bentang hingga $3/4$ bentang, sedangkan jarak tumpuan ke $1/4$ bentang untung masing-masing ujung akan mengalami gaya geser dan gaya lentur.

Berikut ini akan dijelaskan mengenai prosedur pengujian kuat lentur ini.

- Peralatan
 - a. Mesin uji lentur (flexural strength testing machine)
 - b. Benda uji pelat



Tampak Samping



Tampak Atas

Gambar 3.3 Gambar Posisi Alat Uji

- Prosedur Pembuatan Benda Uji
 - a. Susun beton *decking*, tulangan *wiremesh*, sengkang (bila ada) dan botol air mineral di dalam bekisting seperti yang ditunjukkan pada Gambar di slide sebelumnya.
 - b. Tuang campuran beton ke dalam cetakan secara perlahan.
 - c. Padatkan campuran beton dengan cara mengetuk-ngetukkan sisi bekisting dengan sebuah tongkat secara merata agar tidak terdapat *void* di dalam pelat.
 - d. Biarkan pelat beton mengeras selama satu hari.
 - e. Setelah beton mengeras, lakukan perawatan secara teratur dan konstan selama 28 hari.
- Prosedur Pengujian Benda Uji
 - a. Lepas bekisting di sekeliling spesimen.
 - b. Susun seluruh peralatan dan spesimen sebagaimana yang telah direncanakan seperti pada gambar di slide berikut
 - c. Siapkan kamera digital pada tripodnya dalam posisi sedemikian rupa sehingga seluruh bagian sisi benda uji dapat terekam dengan jelas.
 - d. Setelah seluruh peralatan dan spesimen telah tersusun sesuai rencana, lakukan pembebanan pada spesimen dengan *hydraulic jack*.
 - e. Lakukan pencatatan nilai beban dan regangan yang terjadi setiap penambahan beban 10 kN. Amati juga retak yang terjadi.
 - f. Lakukan pencatatan nilai beban dan regangan yang terjadi pada saat beban mencapai nilai maksimal.

BAB 4

ANALISA

4.1 Gambaran Umum

Sesuai yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, percobaan ini melibatkan 6 sampel HCS dengan perkuatan sengkang, serta 3 sampel HCS tanpa perkuatan apapun dan 2 sampel pelat *solid* sebagai referensi. Selama percobaan berlangsung, ada beberapa perlakuan yang diterima oleh setiap pelat mulai dari pada saat setelah pengecoran dilakukan hingga pada saat pengujian kekuatan. Secara umum, setelah pengecoran setiap pelat dirawat selama 28 hari dengan menggunakan bantuan karung goni yang diletakkan di atas permukaan pelat. Karung goni ini kemudian dijaga agar tetap jenuh sehingga permukaan pelat selalu basah dan rasio air semen dari campuran beton tetap terjaga selama proses hidrasi beton. Perbaikan yang dilakukan terhadap beberapa sampel pada pengecoran gelombang pertama yang terinjak anjing menyebabkan adanya perlakuan khusus yang diterima oleh beberapa sampel. Berikut adalah penjelasan singkat mengenai perlakuan-perlakuan apa saja yang diterima oleh masing-masing sampel.

- HCS Sengkang Diagonal A
Diuji tanggal 8 April 2011. Mengalami kerusakan minor di permukaan karena terinjak anjing. Perbaikan dilakukan dengan metode grouting.
- HCS Sengkang Diagonal B
Diuji 4 Mei 2011. Mengalami kerusakan minor di permukaan karena terinjak anjing. Perbaikan dilakukan dengan metode grouting
- HCS Sengkang Diagonal C
Sampel gelombang kedua. Tidak mengalami kerusakan. Diuji tanggal 27 April 2011

- HCS Senggang Vertikal A
Diuji tanggal 10 Mei 2011. Mengalami kerusakan minor di permukaan karena terinjak anjing dan keropos di salah satu sisi panjang. Perbaikan dilakukan dengan metode grouting.
- HCS Senggang Vertikal B
Diuji tanggal 11 Mei 2011. Mengalami kerusakan minor di permukaan karena terinjak anjing dan keropos kecil di bagian bawah pelat. Perbaikan dilakukan dengan metode grouting
- HCS Senggang Vertikal C
Sampel gelombang kedua. Tidak mengalami kerusakan. Diuji tanggal 11 April 2011

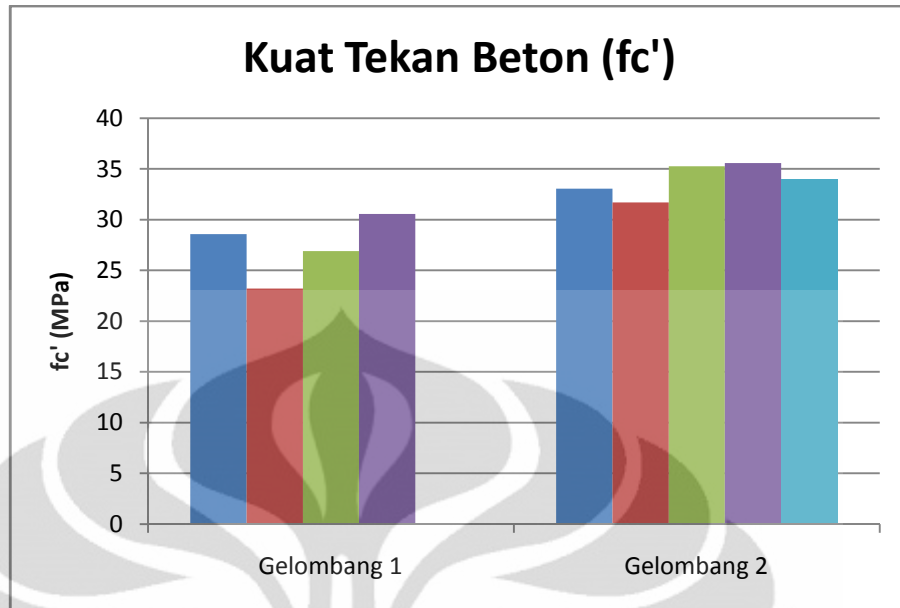
4.2 Hasil Pengujian

Seperti telah disebutkan pada bab sebelumnya, secara garis besar ada 2 jenis pengujian yang dilakukan, yaitu pengujian material dan pengujian pelat itu sendiri. Pengujian material untuk beton terdiri dari Uji Tekan, Uji Tarik Belah, Uji Geser, dan Uji Balok Lentur, sedangkan untuk baja dilakukan Uji Tarik saja. Sedangkan pengujian pelat dilakukan pada semua pelat dengan sedikit perbedaan metode pada sampel HCS dengan perkuatan sengkang. Pada sub-bab ini akan dipaparkan hasil dari kedua pengujian ini.

4.2.1 Hasil Pengujian Material

4.2.1.1 Uji Tekan

Uji tekan beton bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan (f_c'). Seperti telah disebutkan pada bab sebelumnya, pengujian dilakukan pada 9 sampel silinder, dengan perincian 4 sampel dari pengecoran gelombang pertama dan 5 sampel dari pengecoran gelombang kedua. Berikut adalah data-data yang diperoleh.



Gambar 4.1 – Grafik Kuat Tekan Beton

Jika diambil nilai rata-rata, kuat tekan beton pengecoran gelombang pertama adalah sebesar 27,32 MPa dengan nilai deviasi 3,12, sedangkan kuat tekan beton pengecoran gelombang kedua adalah sebesar 33,92 MPa dengan nilai deviasi 1,59. Kuat tekan beton dari pengecoran gelombang kedua ini lebih besar 19,46 % dari beton hasil pengecoran gelombang pertama, atau setara dengan mutu K-409. Sedangkan beton dari pengecoran gelombang pertama setara dengan mutu K-329. Posisi sampe ketika diuji dan kondisi sampel setelah diuji dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



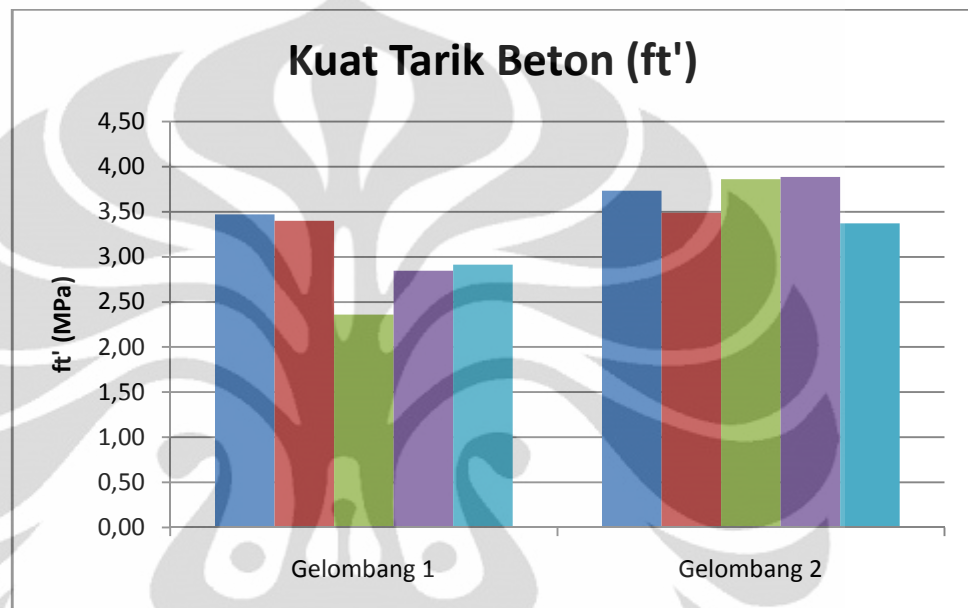
Gambar 4.2 – Uji Tekan Beton



Gambar 4.3 – Retak pada sampel Uji Tekan

4.2.1.2 Uji Tarik Belah

Uji tarik belah beton bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tarik (f_t'). Seperti telah disebutkan pada bab sebelumnya, pengujian dilakukan pada 10 sampel silinder, dengan perincian 5 sampel dari pengecoran gelombang pertama dan 5 sampel dari pengecoran gelombang kedua. Berikut adalah data-data yang diperoleh.



Gambar 4.4 – Grafik Kuat Tarik Beton

Jika diambil nilai rata-rata, kuat tarik beton pengecoran gelombang pertama adalah sebesar 3 MPa dengan nilai deviasi 0,45, sedangkan kuat tarik beton pengecoran gelombang kedua adalah sebesar 3,67 MPa dengan nilai deviasi 0,22. Kuat tarik beton dari pengecoran gelombang kedua ini lebih besar 18,27 % dari beton hasil pengecoran gelombang pertama. Posisi sampe ketika diuji dan kondisi sampel setelah diuji dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



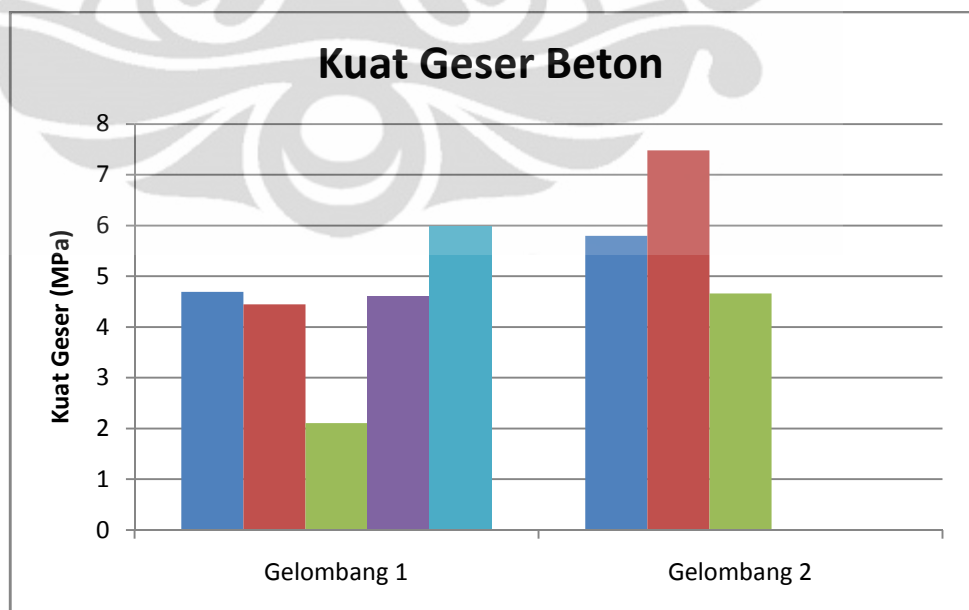
Gambar 4.5 – Gambar Uji Tarik Belah



Gambar 4.6 – Sampel Uji Tarik Belah

4.2.1.3 Uji Geser

Uji geser beton bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tarik (f_t). Seperti telah disebutkan pada bab sebelumnya, pengujian dilakukan pada 10 sampel balok S, dengan perincian 5 sampel dari pengecoran gelombang pertama dan 5 sampel dari pengecoran gelombang kedua. Berikut adalah data-data yang diperoleh.



Gambar 4.7 – Grafik Kuat Geser Beton

Jika diambil nilai rata-rata, kuat geser beton pengecoran gelombang pertama adalah sebesar 4,37 MPa dengan nilai deviasi 1,4, sedangkan kuat geser beton pengecoran gelombang kedua adalah sebesar 5,98 MPa dengan nilai deviasi 1,41. Kuat geser beton dari pengecoran gelombang kedua ini lebih besar 27,03 % dari beton hasil pengecoran gelombang pertama. Posisi sampe ketika diuji dan kondisi sampel setelah diuji dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



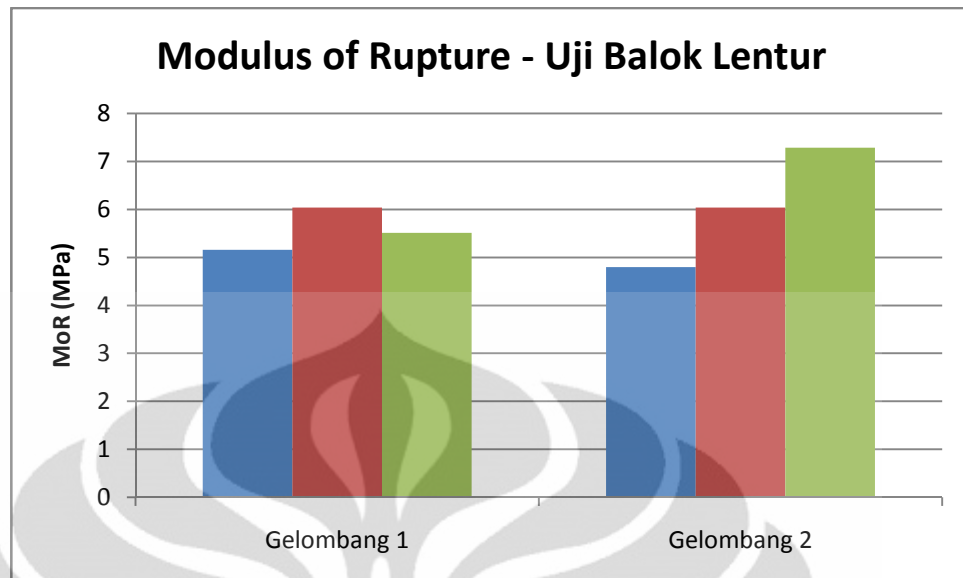
Gambar 4.8 – Gambar Uji Geser



Gambar 4.9 – Sampel Uji Geser

4.2.1.4 Uji Balok Lentur

Uji balok lentur bertujuan untuk mengetahui nilai *modulus of rupture* (MoR). Seperti telah disebutkan pada bab sebelumnya, pengujian dilakukan pada 6 sampel balok, dengan perincian 3 sampel dari pengecoran gelombang pertama dan 3 sampel dari pengecoran gelombang kedua. Berikut adalah data-data yang diperoleh.



Gambar 4.10 – Grafik MoR Beton

Jika diambil nilai rata-rata, *Modulus of Rupture* beton pengecoran gelombang pertama adalah sebesar 5,57 MPa dengan nilai deviasi 0,44, sedangkan *Modulus of Rupture* beton pengecoran gelombang kedua adalah sebesar 6,04 MPa dengan nilai deviasi 1,24. *Modulus of Rupture* beton dari pengecoran gelombang kedua ini lebih besar 8,49 % dari beton hasil pengecoran gelombang pertama. Posisi sampe ketika diuji dan kondisi sampel setelah diuji dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.11 – Gambar Uji Lentur Beton



Gambar 4.12 – Sampel Uji Lentur

4.2.1.5 Uji Tarik Baja

Uji tarik baja bertujuan untuk mengetahui nilai tegangan leleh dari baja yang digunakan. Seperti telah disebutkan pada bab sebelumnya, pengujian

dilakukan pada 6 sampel baja ($l=35\text{cm}$), dengan perincian 3 sampel baja diameter 8 dan 3 sampel baja diameter 6. Berikut adalah data-data yang diperoleh.

Tabel 4.1 – Hasil Uji Tarik Baja

Diameter	Tegangan Leleh, f_y (kg/cm ²)			Standar Deviasi
	1	2	3	
8 mm	298,56	288,6	288,6	5,75
6 mm	283,05	283,08	265,39	10,2

4.2.2 Hasil Pengujian Pelat

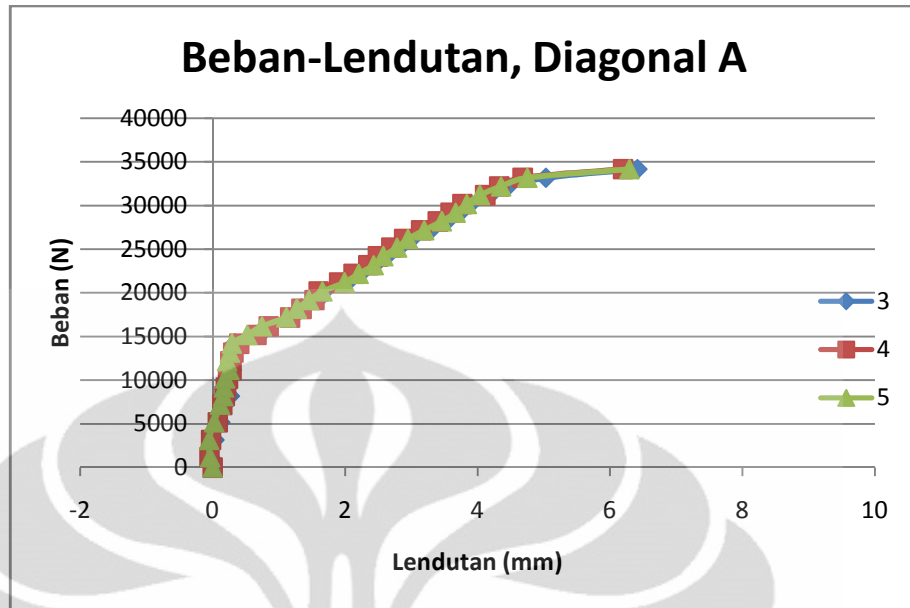
4.2.2.1 HCS Senggang Diagonal A

HCS Senggang Diagonal A merupakan sampel pertama dari variasi HCS yang diperkuat dengan menambahkan sengkang diagonal pada bagian tertentu. Sebelum pengujian dimulai, terlebih dahulu dilakukan pengukuran terhadap dimensi pelat untuk mendapatkan data aktual dari sampel yang akan dites. Data-data tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

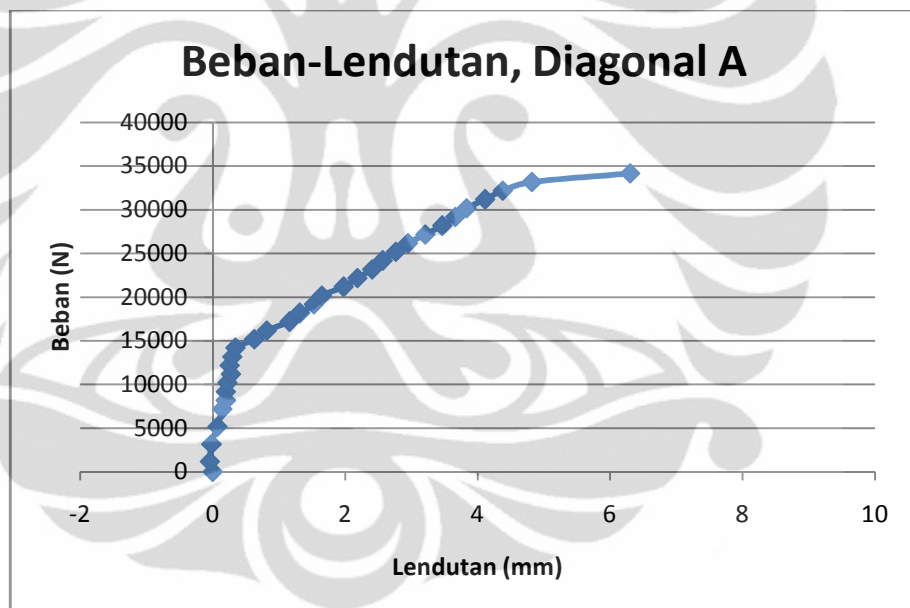
Tabel 4.2 – Data Umum HCS Senggang Diagonal A

Panjang (cm)		Lebar (cm)		Tebal (mm)					
1	2	A	B	A1	B1	C1	A2	B2	C2
175	175	59,8	59,8	149	152,5	158,1	154,6	151,9	158,3

Dari 7 buah *dial* yang digunakan saat pengujian, dial 2 dan 6 ditujukan untuk mengetahui apakah terjadi penurunan pada perletakan. Pada pelat yang mengalami penurunan pada perletakan, terlebih dahulu dilakukan koreksi data terhadap pembacaan dial 1, 3, 4, 5, dan 7 sebelum diolah menjadi grafik. Pembacaan dial 3, 4, dan 5 yang telah dikoreksi kemudian diproyeksikan pada sebuah grafik yang menunjukkan hubungan beban-lendutan. Grafik yang dimaksud dapat dilihat di bawah ini :

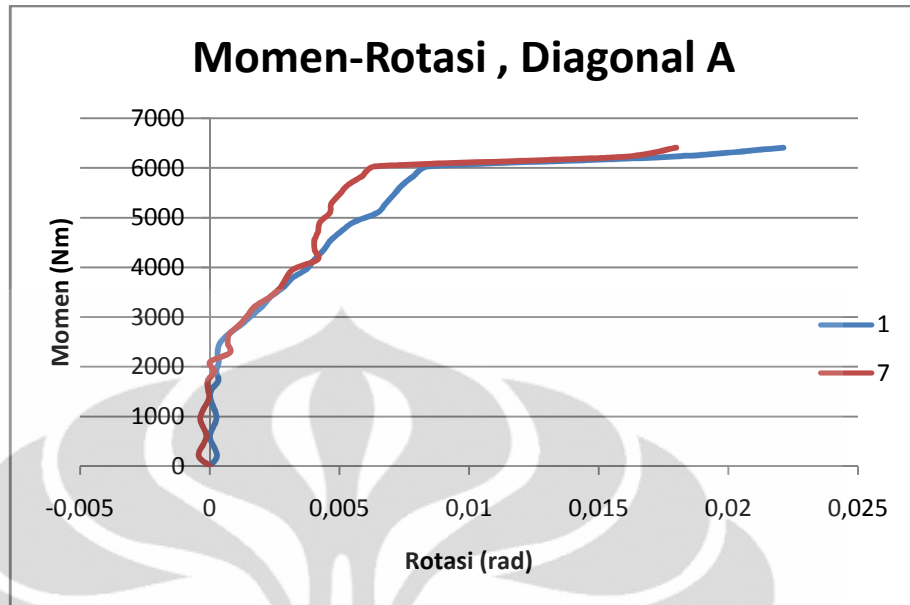


Gambar 4.13 – Grafik Beban-Lendutan HCS Diagonal A

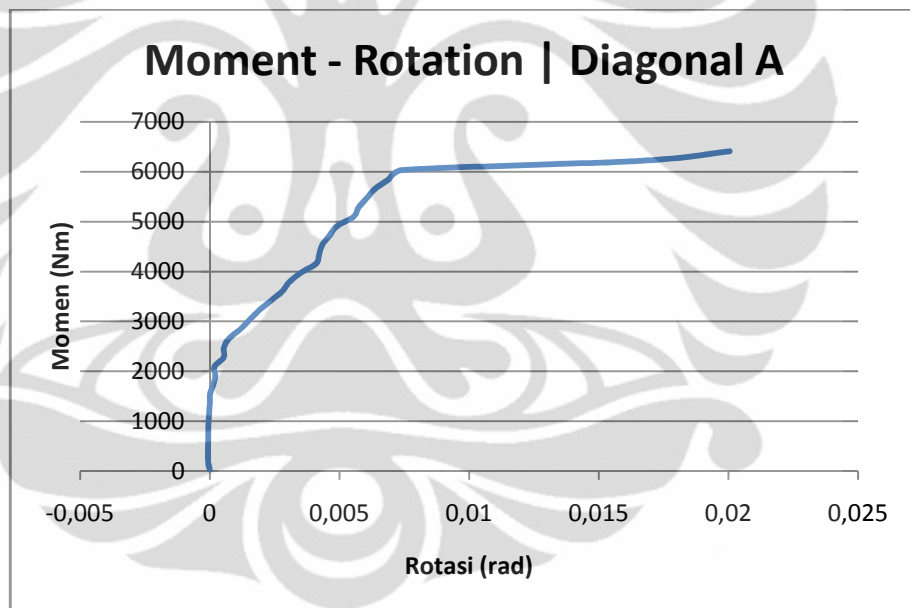


Gambar 4.14 – Grafik Beban-Lendutan Rata-rata HCS Diagonal A

Untuk dial 1 dan 7, pembacaan yang telah dikoreksi kemudian diproyeksikan pada sebuah grafik yang menunjukkan hubungan momen-rotasi. Nilai rotasi diperoleh dengan memperhitungkan posisi titik dial yang berada 12,5 cm jauhnya dari titik perletakan. Berikut adalah grafik momen-rotasi dari dial 1 dan 7.



Gambar 4.15 – Grafik Momen-Rotasi HCS Diagonal A



Gambar 4.16 – Grafik Momen-Rotasi Rata-rata HCS Diagonal A

Dari grafik-grafik di atas, dapat dikatakan bahwa data yang diperoleh dari dial 1, 7, 3, 4, dan 5 pada sampel ini cukup baik karena kurva dari dial 3,4, dan 5 saling berhimpit, begitu juga untuk kurva dari dial 1 dan 7 yang cukup berdekatan. Dari data yang ada, diketahui bahwa untuk sampel ini, retak pertama terjadi pada saat beban 16176 N, atau pada saat momen 3033 Nm. Pada kedua grafik di atas, awal mulanya terjadi retak ditunjukkan oleh garis kurva linier yang mulai berbelok.

Pada percobaan ini, pengujian memang tidak dapat dilakukan hingga pelat runtuh untuk mendapatkan data mengenai daktilitas dari struktur pelat yang diuji. Oleh karena itu, kurva pada semua grafik di atas berhenti di beban 34176 N. Pada beban maksimal ini, lendutan yang terjadi di titik 3, 4, dan 5 berturut adalah 6,415 mm, 6,195 mm, dan 6,295 mm. Sedangkan untuk titik 1 dan 7, rotasi yang terjadi berturut-turut adalah 0,02212 rad dan 0,01798 rad. Pola retak pada pelat ini menunjukkan bahwa retak lentur mendominasi keruntuhan yang terjadi, namun hal ini akan dibahas lebih lanjut pada subbab berikutnya.

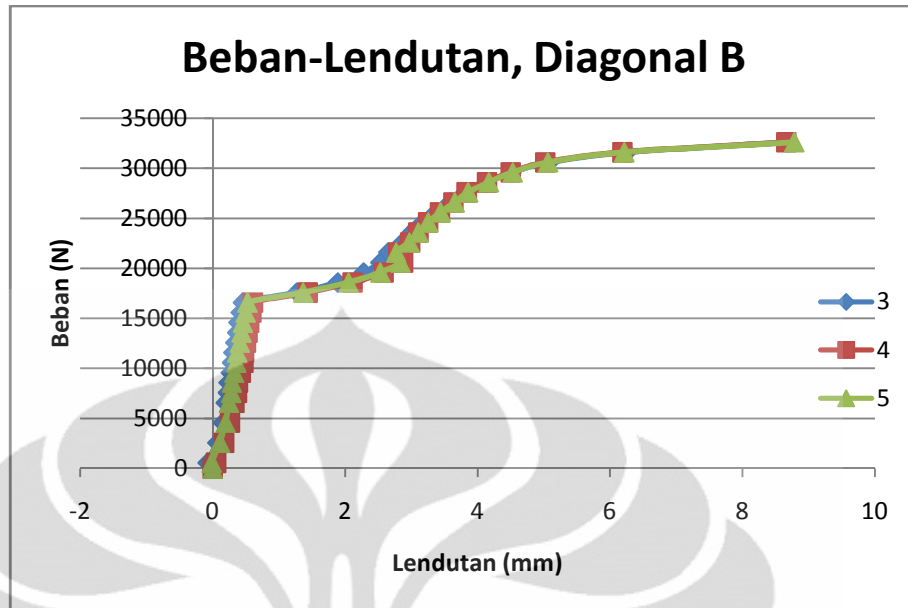
4.2.2.2 HCS Sengkang Diagonal B

HCS Sengkang Diagonal B merupakan sampel kedua dari variasi HCS yang diperkuat dengan menambahkan sengkang diagonal pada bagian tertentu. Data-data umum untuk sampel ini dapat dilihat pada tabel di bawah :

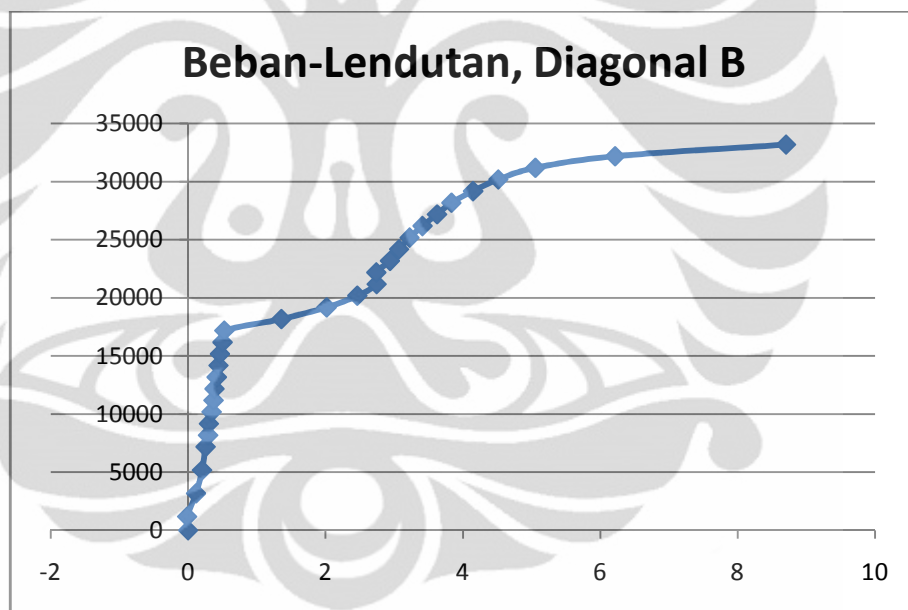
Tabel 4.3 – Data Umum HCS Sengkang Diagonal B

Panjang		Lebar (cm)		Tebal					
1	2	A	B	A1	B1	C1	A2	B2	C2
174,8	174,8	59,4	59,6	151,6	152,3	152,35	150,7	149,3	151,7

Dari 7 buah *dial* yang digunakan saat pengujian, dial 2 dan 6 ditujukan untuk mengetahui apakah terjadi penurunan pada perletakan. Pada pelat yang mengalami penurunan pada perletakan, terlebih dahulu dilakukan koreksi data terhadap pembacaan dial 1, 3, 4, 5, dan 7 sebelum diolah menjadi grafik. Pembacaan dial 3, 4, dan 5 yang telah dikoreksi kemudian diproyeksikan pada sebuah grafik yang menunjukkan hubungan beban-lendutan. Grafik yang dimaksud dapat dilihat di bawah ini :

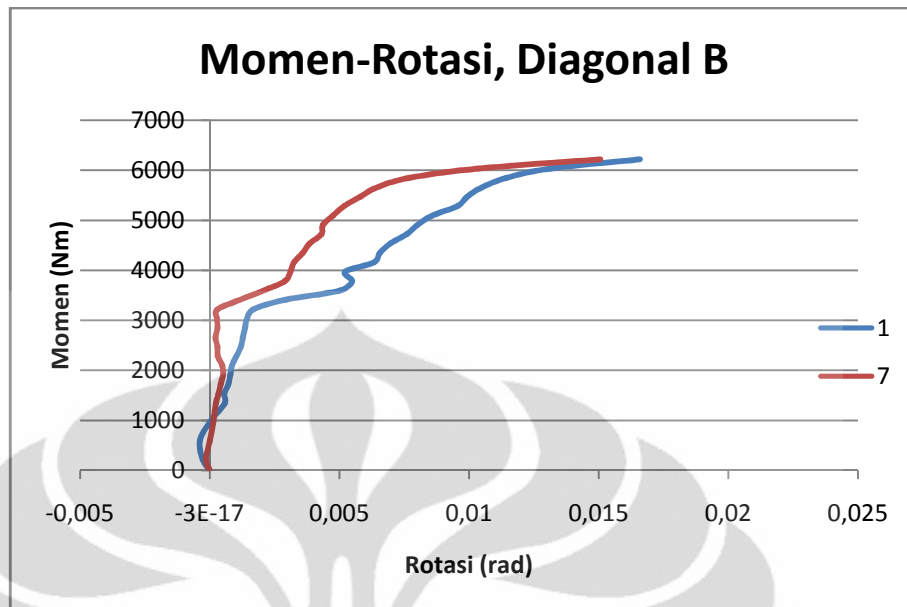


Gambar 4.17 – Grafik Beban-Lendutan HCS Diagonal B

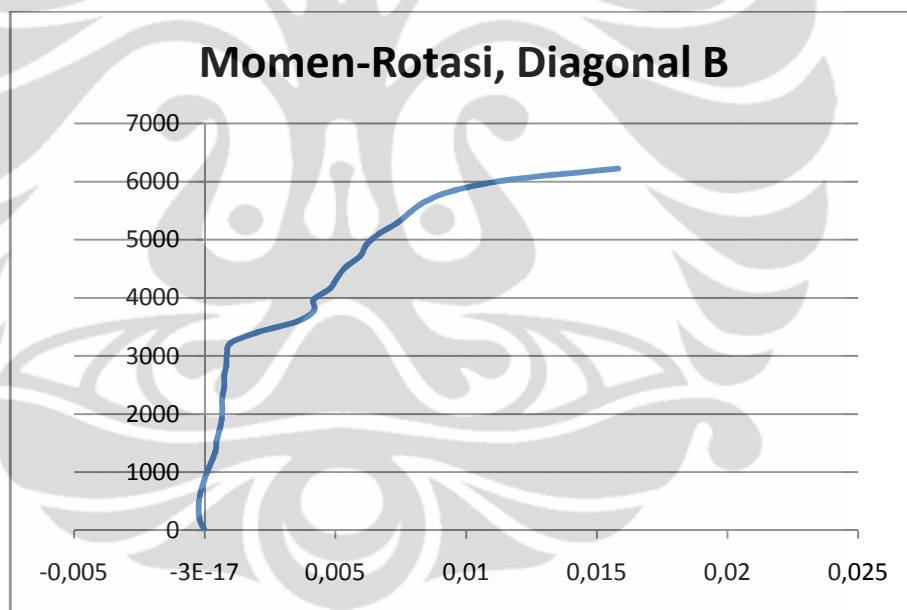


Gambar 4.18 – Grafik Beban-Lendutan Rata-rata HCS Diagonal B

Untuk dial 1 dan 7, pembacaan yang telah dikoreksi kemudian diproyeksikan pada sebuah grafik yang menunjukkan hubungan momen-rotasi. Nilai rotasi diperoleh dengan memperhitungkan posisi titik dial yang berada 12,5 cm jauhnya dari titik perletakan. Berikut adalah grafik momen-rotasi dari dial 1 dan 7.



Gambar 4.19 – Grafik Momen-Rotasi HCS Diagonal B



Gambar 4.20 – Grafik Momen-Rotasi Rata-rata HCS Diagonal B

Dari grafik-grafik di atas, dapat dikatakan bahwa data yang diperoleh dari dial 1, 7, 3, 4, dan 5 pada sampel ini cukup baik karena kurva dari dial 3,4, dan 5 saling berhimpit, begitu juga untuk kurva dari dial 1 dan 7 yang walaupun tidak berhimpit tapi masih cukup dekat. Dari data yang ada, diketahui bahwa untuk sampel ini, retak pertama terjadi pada saat beban 17588 N, atau pada saat momen 6595,5 Nm. Pada kedua grafik di atas, awal mulanya terjadi retak ditunjukkan oleh garis kurva linier yang mulai berbelok.

Pada percobaan ini, pengujian memang tidak dapat dilakukan hingga pelat runtuh untuk mendapatkan data mengenai daktilitas dari struktur pelat yang diuji. Oleh karena itu, kurva pada semua grafik di atas berhenti di beban 32588 N. Pada beban maksimal ini, lendutan yang terjadi di titik 3, 4, dan 5 berturut adalah 8,68 mm, 8,66 mm, dan 8,78 mm. Sedangkan untuk titik 1 dan 7, rotasi yang terjadi berturut-turut adalah 0,01667 rad dan 0,015053333 rad. Pola retak pada pelat ini menunjukkan bahwa retak lentur mendominasi keruntuhan yang terjadi, namun hal ini akan dibahas lebih lanjut pada subbab berikutnya.

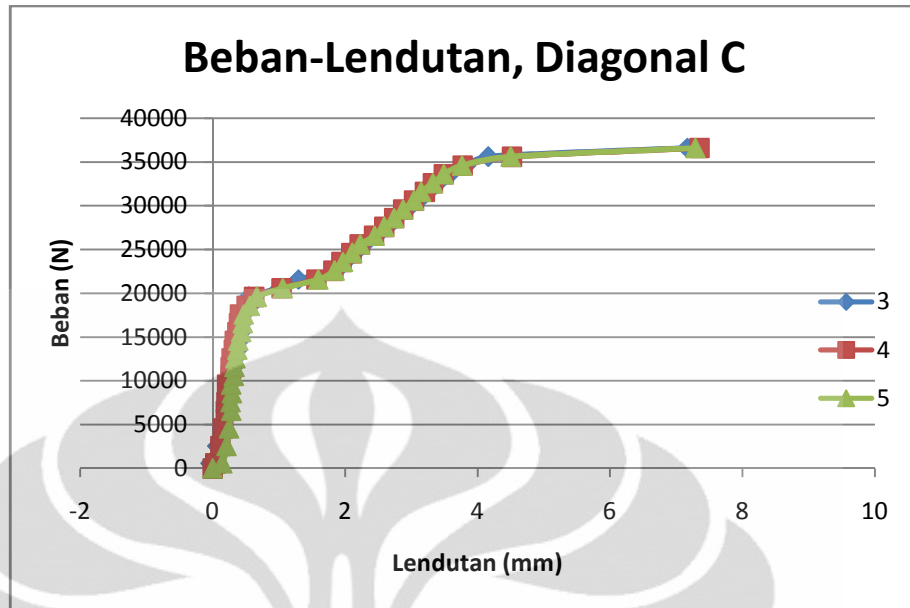
4.2.2.3 HCS Sengkang Diagonal C

HCS Sengkang Diagonal C merupakan sampel ketiga dari variasi HCS yang diperkuat dengan menambahkan sengkang diagonal pada bagian tertentu. Sampel ini dicor merupakan bagian dari pengecoran gelombang kedua dan memiliki mutu beton yang lebih tinggi dibandingkan dengan 2 sampel sebelumnya. Data-data umum untuk sampel ini dapat dilihat pada tabel di bawah :

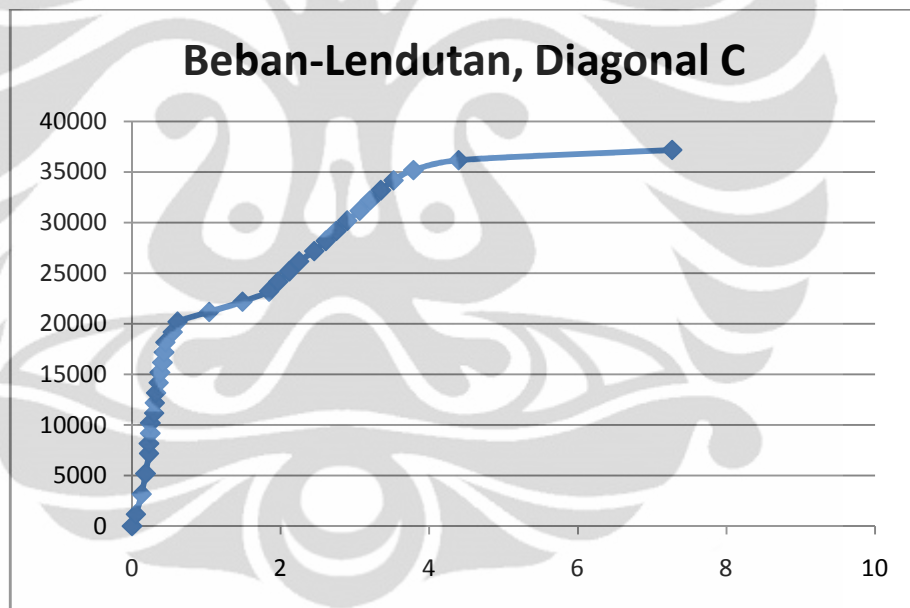
Tabel 4.4 – Data Umum HCS Sengkang Diagonal C

Panjang		Lebar (cm)		Tebal					
1	2	A	B	A1	B1	C1	A2	B2	C2
175	175	60	60	153,2	153,3	152,4	151	149,6	151,9

Dari 7 buah *dial* yang digunakan saat pengujian, dial 2 dan 6 ditujukan untuk mengetahui apakah terjadi penurunan pada perletakan. Pada pelat yang mengalami penurunan pada perletakan, terlebih dahulu dilakukan koreksi data terhadap pembacaan dial 1, 3, 4, 5, dan 7 sebelum diolah menjadi grafik. Pembacaan dial 3, 4, dan 5 yang telah dikoreksi kemudian diproyeksikan pada sebuah grafik yang menunjukkan hubungan beban-lendutan. Grafik yang dimaksud dapat dilihat di bawah ini :

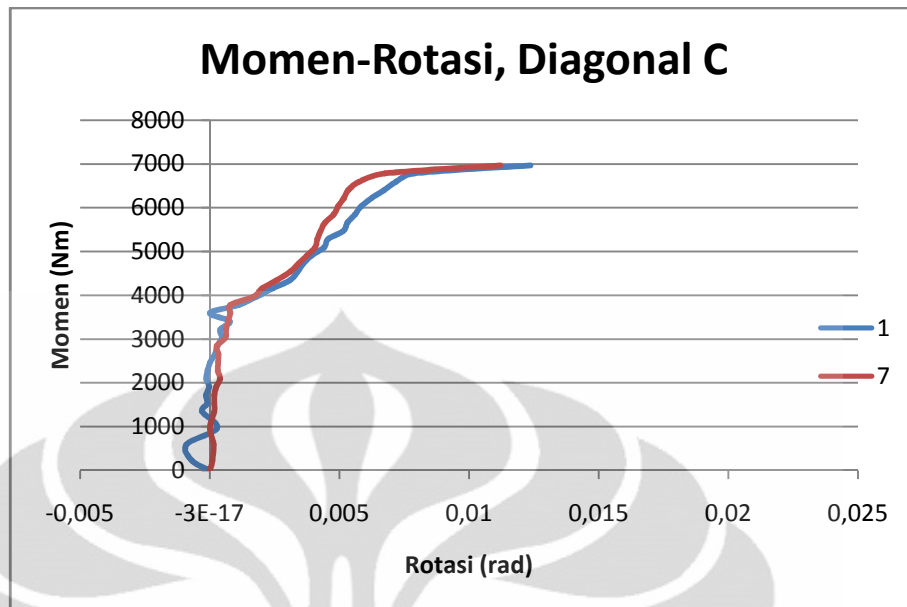


Gambar 4.21 – Grafik Beban-Lendutan HCS Diagonal C

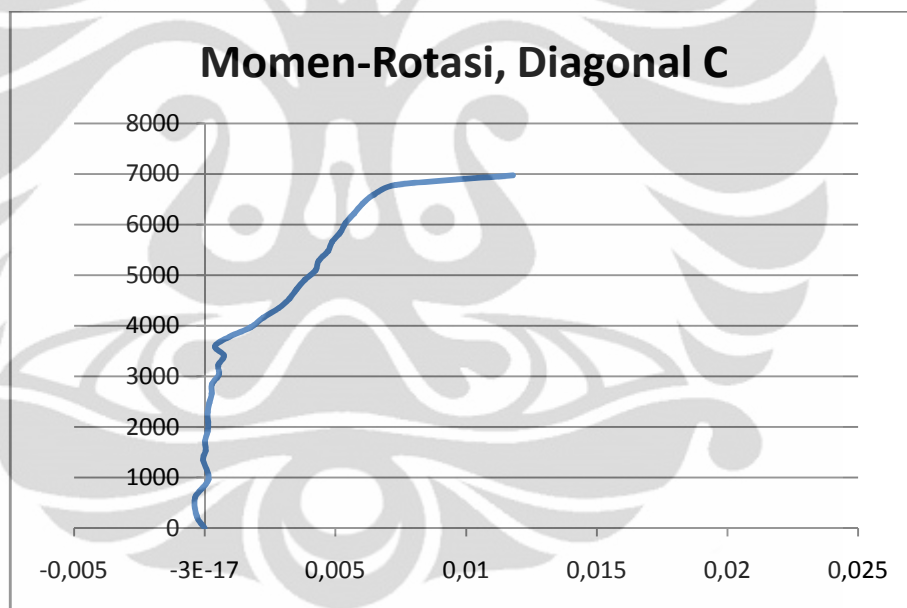


Gambar 4.22 – Grafik Beban-Lendutan Rata-rata HCS Diagonal C

Untuk dial 1 dan 7, pembacaan yang telah dikoreksi kemudian diproyeksikan pada sebuah grafik yang menunjukkan hubungan momen-rotasi. Nilai rotasi diperoleh dengan memperhitungkan posisi titik dial yang berada 12,5 cm jauhnya dari titik perletakan. Berikut adalah grafik momen-rotasi dari dial 1 dan 7.



Gambar 4.23. – Grafik Momen-Rotasi HCS Diagonal C



Gambar 4.24. – Grafik Momen-Rotasi Rata-rata HCS Diagonal C

Dari grafik-grafik di atas, dapat dikatakan bahwa data yang diperoleh dari dial 1, 7, 3, 4, dan 5 pada sampel ini cukup baik karena kurva dari dial 3,4, dan 5 saling berhimpit, begitu juga untuk kurva dari dial 1 dan 7 yang walaupun tidak berhimpit tapi masih cukup dekat. Dari data yang ada, diketahui bahwa untuk sampel ini, retak pertama terjadi pada saat beban 19588 N, atau pada saat momen 7345,5 Nm. Pada kedua grafik di atas, awal mulanya terjadi retak ditunjukkan oleh garis kurva linier yang mulai berbelok.

Pada percobaan ini, pengujian memang tidak dapat dilakukan hingga pelat runtuh untuk mendapatkan data mengenai daktilitas dari struktur pelat yang diuji. Oleh karena itu, kurva pada semua grafik di atas berhenti di beban 36588 N. Pada beban maksimal ini, lendutan yang terjadi di titik 3, 4, dan 5 berturut adalah 7,17 mm, 7,35 mm, dan 7,29 mm. Sedangkan untuk titik 1 dan 7, rotasi yang terjadi berturut-turut adalah 0,0127 rad dan 0,01121 rad. Pola retak pada pelat ini menunjukkan bahwa retak lentur mendominasi keruntuhan yang terjadi, namun hal ini akan dibahas lebih lanjut pada subbab berikutnya.

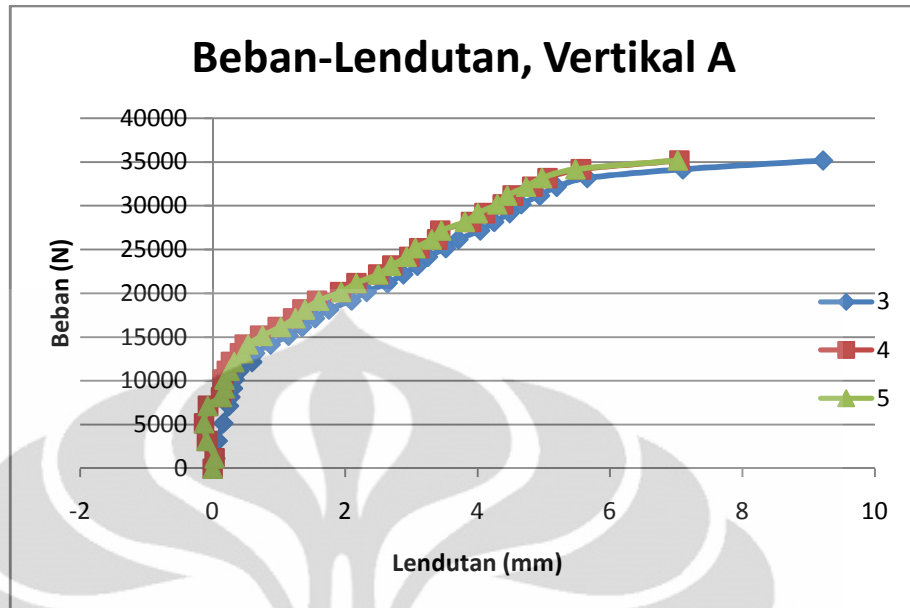
4.2.2.4 HCS Senggang Vertikal A

HCS Senggang Vertikal A merupakan sampel pertama dari variasi HCS yang diperkuat dengan menambahkan senggang vertikal pada bagian tertentu. Data-data umum untuk sampel ini dapat dilihat pada tabel di bawah :

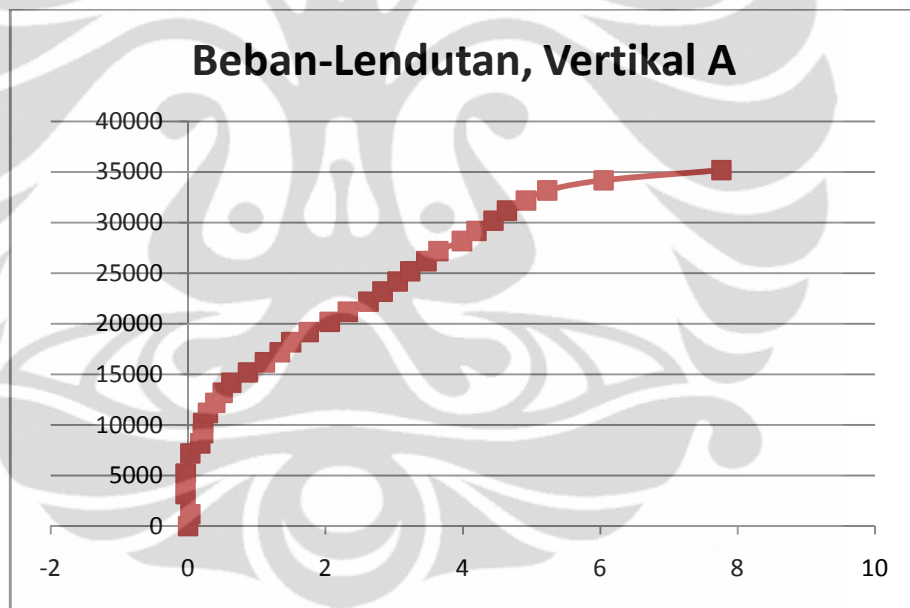
Tabel 4.5 – Data Umum HCS Senggang Vertikal A

Panjang		Lebar (cm)		Tebal					
1	2	A	B	A1	B1	C1	A2	B2	C2
174,8	174,8	59,7	59,7	151,45	151,6	153,5	149,6	150,7	151,5

Dari 7 buah *dial* yang digunakan saat pengujian, dial 2 dan 6 ditujukan untuk mengetahui apakah terjadi penurunan pada perletakan. Pada pelat yang mengalami penurunan pada perletakan, terlebih dahulu dilakukan koreksi data terhadap pembacaan dial 1, 3, 4, 5, dan 7 sebelum diolah menjadi grafik. Pembacaan dial 3, 4, dan 5 yang telah dikoreksi kemudian diproyeksikan pada sebuah grafik yang menunjukkan hubungan beban-lendutan. Grafik yang dimaksud dapat dilihat di bawah ini :

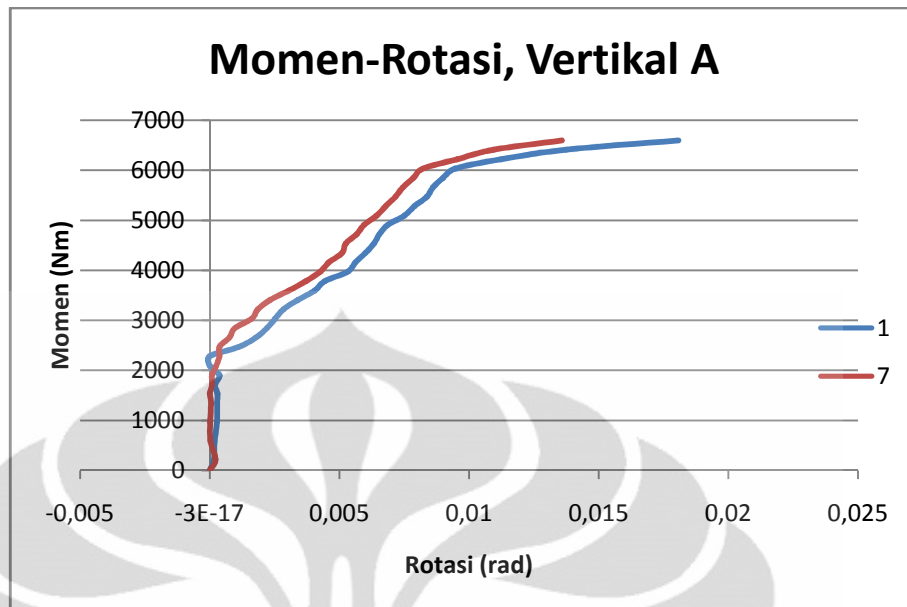


Gambar 4.25. – Grafik Beban-Lendutan HCS Vertikal A

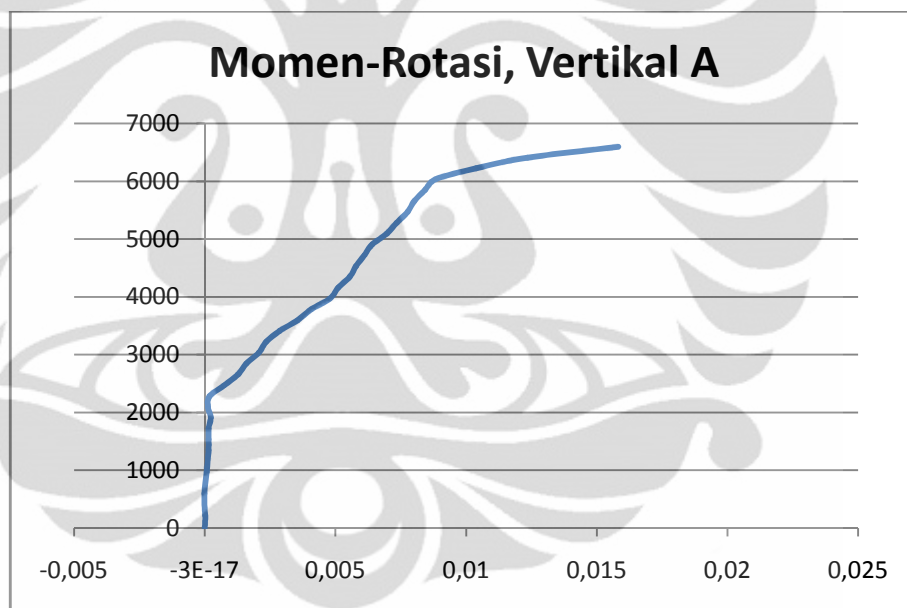


Gambar 4.26. – Grafik Beban-Lendutan Rata-rata HCS Vertikal A

Untuk dial 1 dan 7, pembacaan yang telah dikoreksi kemudian diproyeksikan pada sebuah grafik yang menunjukkan hubungan momen-rotasi. Nilai rotasi diperoleh dengan memperhitungkan posisi titik dial yang berada 12,5 cm jauhnya dari titik perletakan. Berikut adalah grafik momen-rotasi dari dial 1 dan 7.



Gambar 4.27. – Grafik Momen-Rotasi HCS Vertikal A



Gambar 4.28. – Grafik Momen-Rotasi Rata-rata HCS Vertikal A

Dari grafik-grafik di atas, dapat dikatakan bahwa data yang diperoleh dari dial 1, 7, 3, 4, dan 5 pada sampel ini cukup baik karena kurva dari dial 3,4, dan 5 saling berhimpit, begitu juga untuk kurva dari dial 1 dan 7 yang walaupun tidak berhimpit tapi masih cukup dekat. Dari data yang ada, diketahui bahwa untuk sampel ini, retak pertama terjadi pada saat beban 13588 N, atau pada saat momen 5095,5 Nm. Pada kedua grafik di atas, awal mulanya terjadi retak ditunjukkan oleh garis kurva linier yang mulai berbelok.

Pada percobaan ini, pengujian memang tidak dapat dilakukan hingga pelat runtuh untuk mendapatkan data mengenai daktilitas dari struktur pelat yang diuji. Oleh karena itu, kurva pada semua grafik di atas berhenti di beban 34588 N. Pada beban maksimal ini, lendutan yang terjadi di titik 3, 4, dan 5 berturut adalah 9,215 mm, 7,045 mm, dan 7,025 mm. Sedangkan untuk titik 1 dan 7, rotasi yang terjadi berturut-turut adalah 0,018067 rad dan 0,01358 rad. Pola retak pada pelat ini menunjukkan bahwa retak lentur mendominasi keruntuhan yang terjadi, namun hal ini akan dibahas lebih lanjut pada subbab berikutnya.

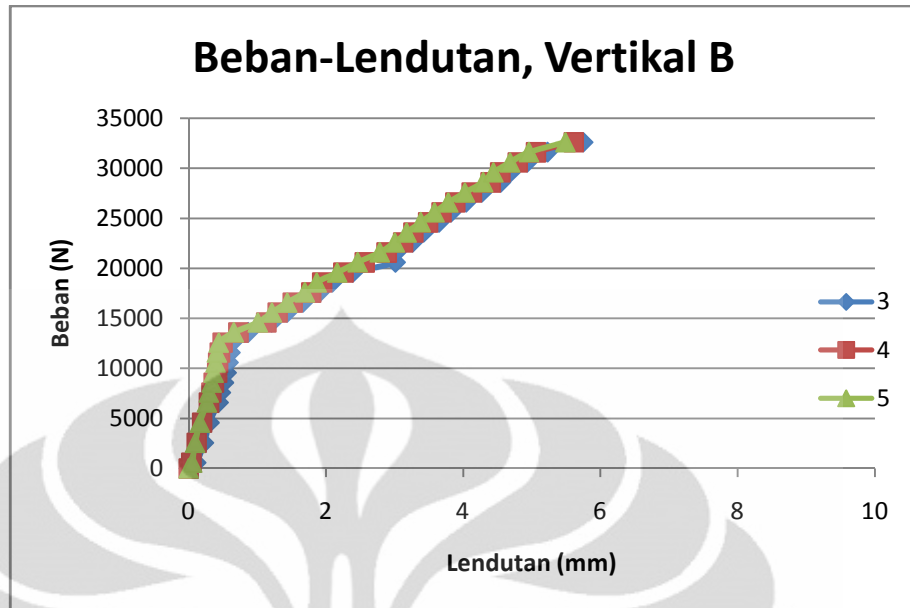
4.2.2.5 HCS Senggang Vertikal B

HCS Senggang Vertikal B merupakan sampel kedua dari variasi HCS yang diperkuat dengan menambahkan senggang vertikal pada bagian tertentu. Data-data umum untuk sampel ini dapat dilihat pada tabel di bawah :

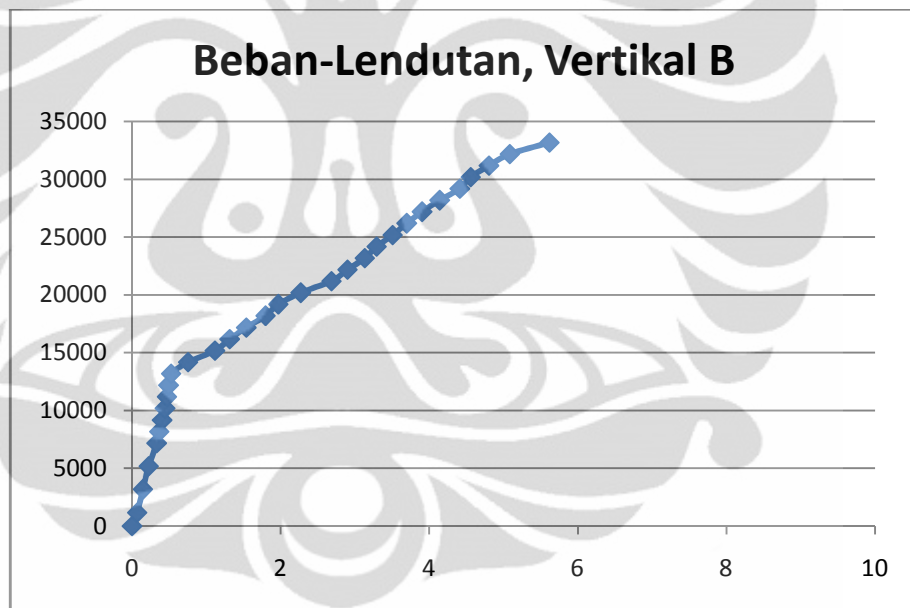
Tabel 4.6 – Data Umum HCS Senggang Vertikal B

Panjang		Lebar (cm)		Tebal					
1	2	A	B	A1	B1	C1	A2	B2	C2
174,8	174,8	60	60	149,9	153,6	153,9	154,4	149,3	154,6

Dari 7 buah *dial* yang digunakan saat pengujian, dial 2 dan 6 ditujukan untuk mengetahui apakah terjadi penurunan pada perletakan. Pada pelat yang mengalami penurunan pada perletakan, terlebih dahulu dilakukan koreksi data terhadap pembacaan dial 1, 3, 4, 5, dan 7 sebelum diolah menjadi grafik. Pembacaan dial 3, 4, dan 5 yang telah dikoreksi kemudian diproyeksikan pada sebuah grafik yang menunjukkan hubungan beban-lendutan. Grafik yang dimaksud dapat dilihat di bawah ini :

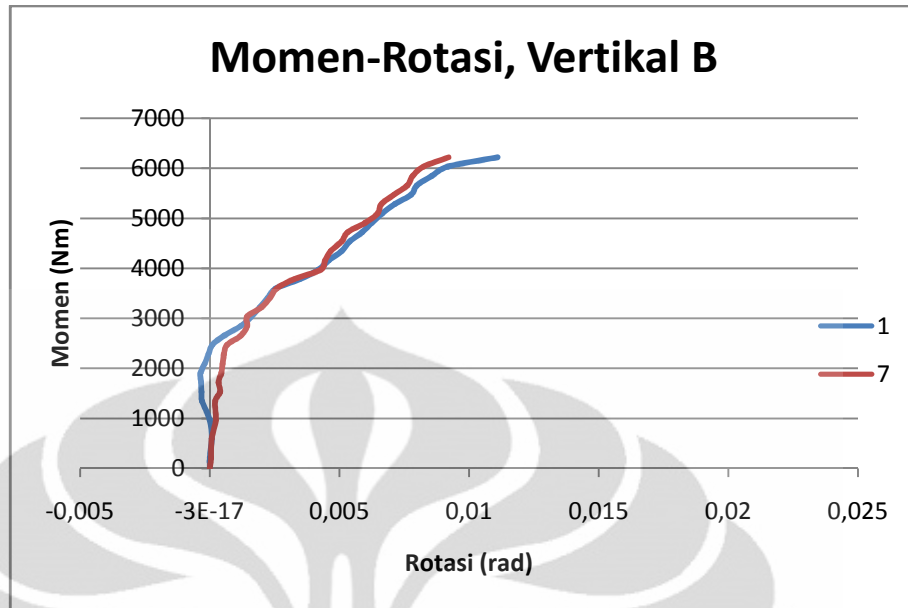


Gambar 4.29. – Grafik Beban-Lendutan HCS Vertikal B

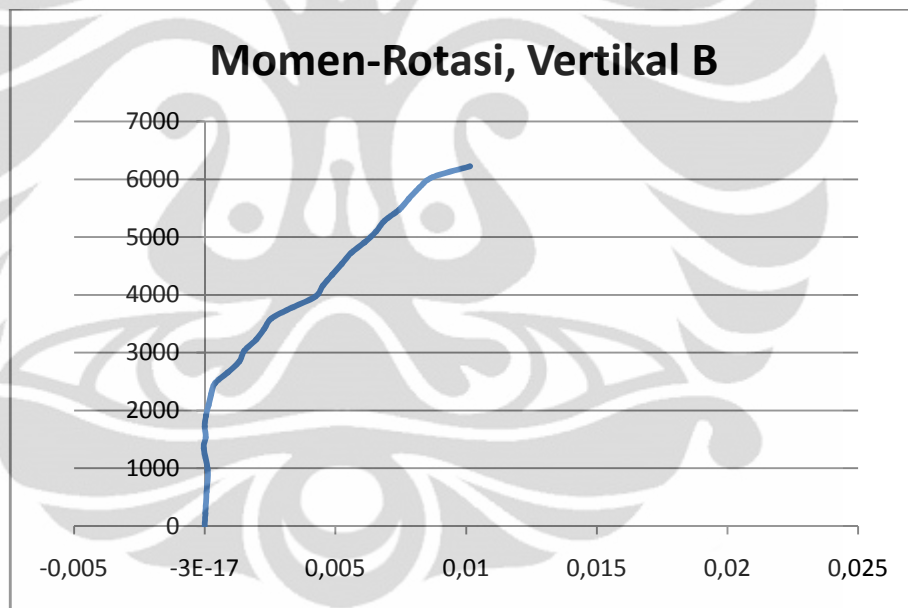


Gambar 4.30 – Grafik Beban-Lendutan Rata-rata HCS Vertikal B

Untuk dial 1 dan 7, pembacaan yang telah dikoreksi kemudian diproyeksikan pada sebuah grafik yang menunjukkan hubungan momen-rotasi. Nilai rotasi diperoleh dengan memperhitungkan posisi titik dial yang berada 12,5 cm jauhnya dari titik perletakan. Berikut adalah grafik momen-rotasi dari dial 1 dan 7.



Gambar 4.31 – Grafik Momen-Rotasi HCS Vertikal B



Gambar 4.32 – Grafik Momen-Rotasi Rata-rata HCS Vertikal B

Dari kedua grafik di atas, dapat dikatakan bahwa data yang diperoleh dari dial 1, 7, 3, 4, dan 5 pada sampel ini cukup baik karena kurva dari dial 3,4, dan 5 saling berhimpit, begitu juga untuk kurva dari dial 1 dan 7 yang walaupun tidak berhimpit tapi masih cukup dekat. Dari data yang ada, diketahui bahwa untuk sampel ini, retak pertama terjadi pada saat beban 13588 N, atau pada saat momen 5095,5 Nm. Pada kedua grafik di atas, awal mulanya terjadi retak ditunjukkan oleh garis kurva linier yang mulai berbelok.

Pada percobaan ini, pengujian memang tidak dapat dilakukan hingga pelat runtuh untuk mendapatkan data mengenai daktilitas dari struktur pelat yang diuji. Oleh karena itu, kurva pada semua grafik di atas berhenti di beban 32588 N. Pada beban maksimal ini, lendutan yang terjadi di titik 3, 4, dan 5 berturut adalah 5,75 mm, 5,61 mm, dan 5,49 mm. Sedangkan untuk titik 1 dan 7, rotasi yang terjadi berturut-turut adalah 0,011313 rad dan 0,00992 rad. Pola retak pada pelat ini menunjukkan bahwa retak lentur mendominasi keruntuhan yang terjadi, namun hal ini akan dibahas lebih lanjut pada subbab berikutnya.

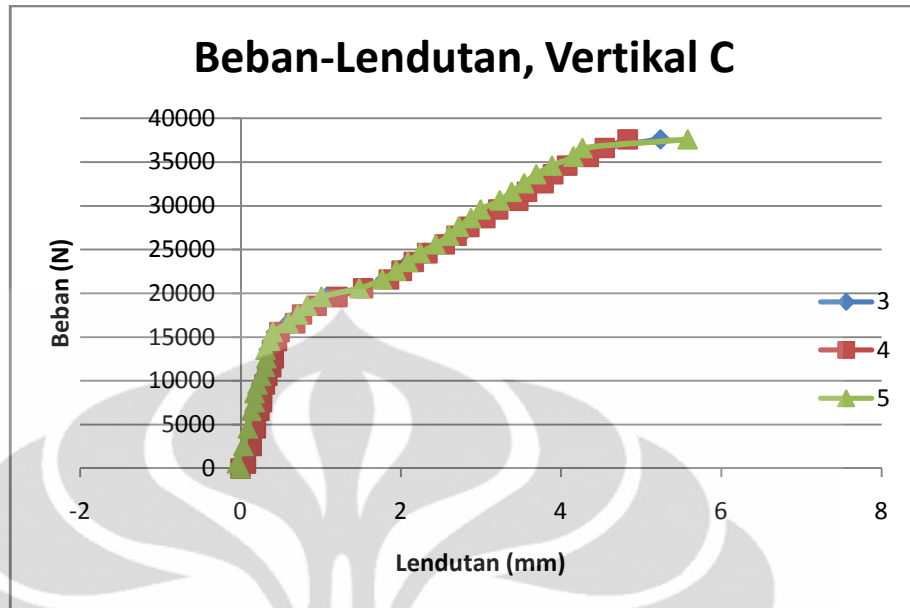
4.2.2.6 HCS Senggang Vertikal C

HCS Senggang Vertikal C merupakan sampel ketiga dari variasi HCS yang diperkuat dengan menambahkan sengkang vertikal pada bagian tertentu. Sampel ini dicor merupakan bagian dari pengecoran gelombang kedua dan memiliki mutu beton yang lebih tinggi dibandingkan dengan 2 sampel sebelumnya. Data-data umum untuk sampel ini dapat dilihat pada tabel di bawah :

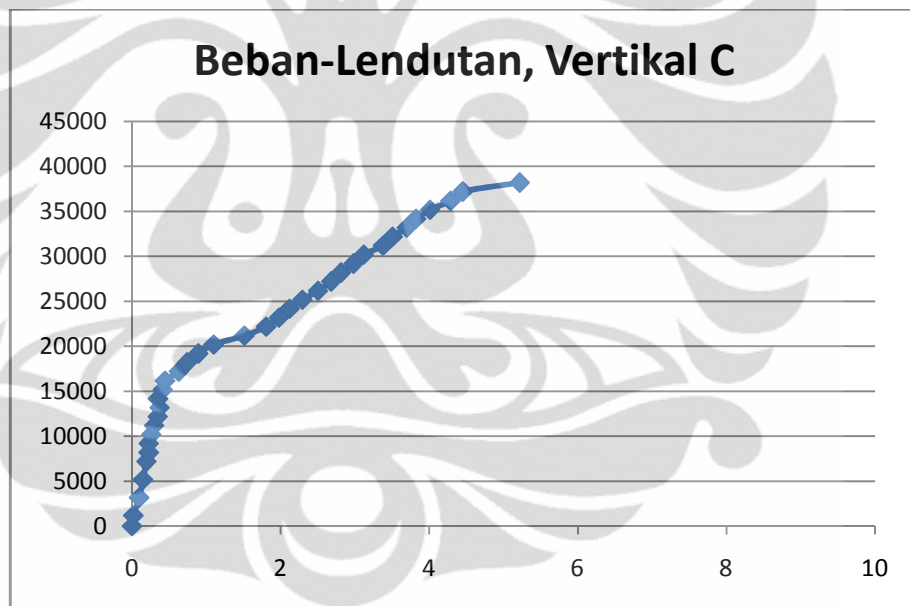
Tabel 4.7 – Data Umum HCS Senggang Diagonal C

Panjang		Lebar (cm)		Tebal					
1	2	A	B	A1	B1	C1	A2	B2	C2
175	175	60	60	152,1	153,9	149,1	150,9	153,35	151,1

Dari 7 buah *dial* yang digunakan saat pengujian, dial 2 dan 6 ditujukan untuk mengetahui apakah terjadi penurunan pada perletakan. Pada pelat yang mengalami penurunan pada perletakan, terlebih dahulu dilakukan koreksi data terhadap pembacaan dial 1, 3, 4, 5, dan 7 sebelum diolah menjadi grafik. Pembacaan dial 3, 4, dan 5 yang telah dikoreksi kemudian diproyeksikan pada sebuah grafik yang menunjukkan hubungan beban-lendutan. Grafik yang dimaksud dapat dilihat di bawah ini :

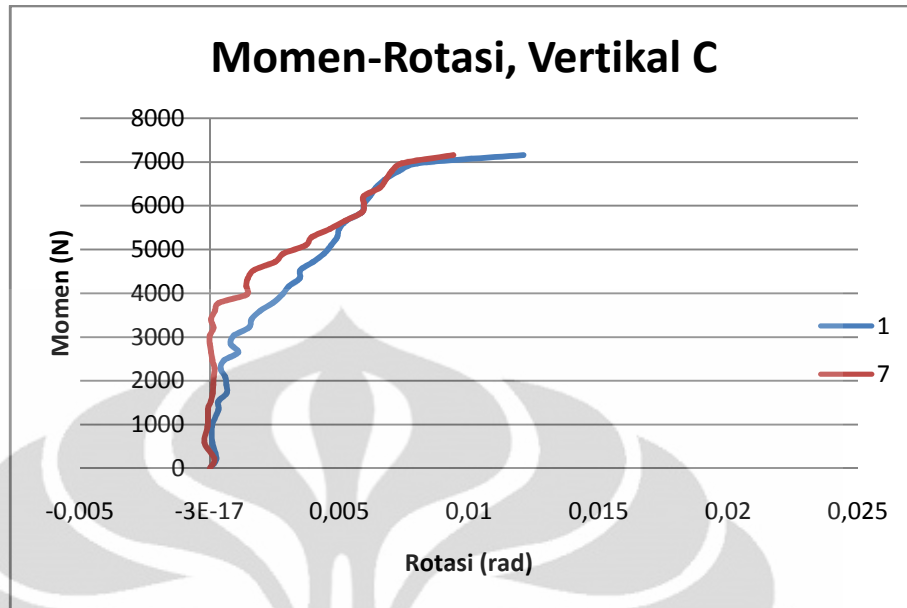


Gambar 4.33. – Grafik Beban-Lendutan HCS Vertikal C

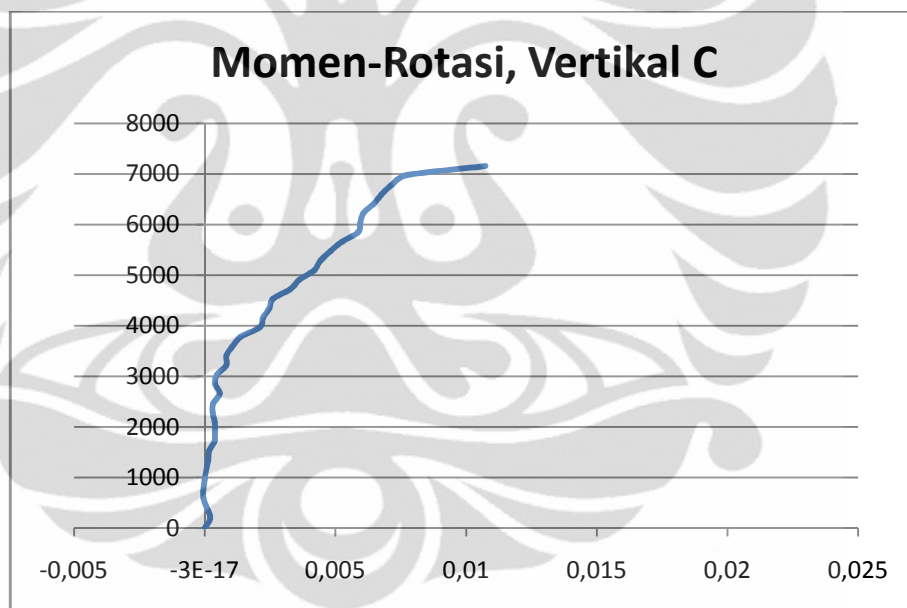


Gambar 4.34. – Grafik Beban-Lendutan Rata-rata HCS Vertikal C

Untuk dial 1 dan 7, pembacaan yang telah dikoreksi kemudian diproyeksikan pada sebuah grafik yang menunjukkan hubungan momen-rotasi. Nilai rotasi diperoleh dengan memperhitungkan posisi titik dial yang berada 12,5 cm jauhnya dari titik perletakan. Berikut adalah grafik momen-rotasi dari dial 1 dan 7.



Gambar 4.35. – Grafik Momen-Rotasi HCS Vertikal C



Gambar 4.36. – Grafik Momen-Rotasi Rata-rata HCS Vertikal C




Dari grafik-grafik di atas, dapat dikatakan bahwa data yang diperoleh dari dial 1, 7, 3, 4, dan 5 pada sampel ini cukup baik karena kurva dari dial 3,4, dan 5 saling berhimpit, begitu juga untuk kurva dari dial 1 dan 7 yang walaupun tidak berhimpit tapi masih cukup dekat. Dari data yang ada, diketahui bahwa untuk sampel ini, retak pertama terjadi pada saat beban 15588 N, atau pada saat momen 5845,5 Nm. Pada kedua grafik di atas, awal mulanya terjadi retak ditunjukkan oleh garis kurva linier yang mulai berbelok.

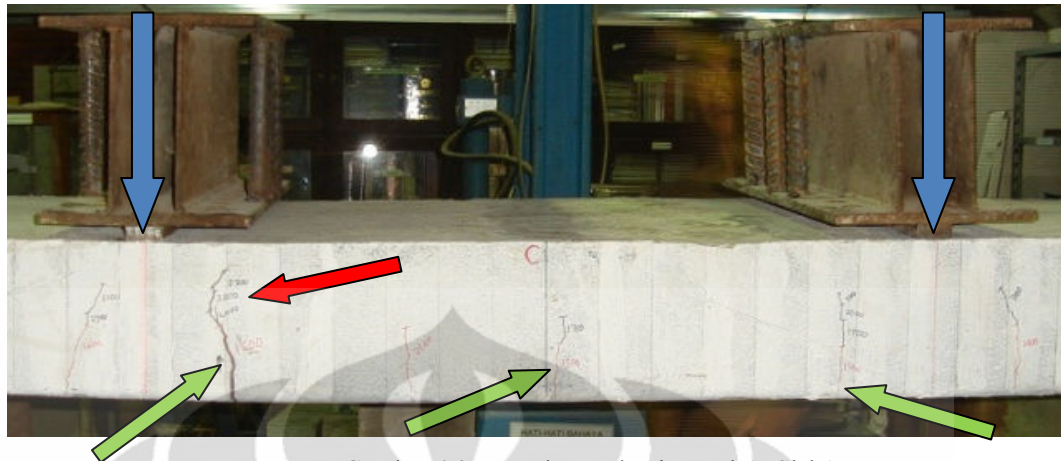
Pada percobaan ini, pengujian memang tidak dapat dilakukan hingga pelat runtuh untuk mendapatkan data mengenai daktilitas dari struktur pelat yang diuji. Oleh karena itu, kurva pada semua grafik di atas berhenti di beban 37588 N. Pada beban maksimal ini, lendutan yang terjadi di titik 3, 4, dan 5 berturut adalah 5,24 mm, 4,83 mm, dan 5,58 mm. Sedangkan untuk titik 1 dan 7, rotasi yang terjadi berturut-turut adalah 0,012093 rad dan 0,00944 rad. Pola retak pada pelat ini menunjukkan bahwa retak lentur mendominasi keruntuhan yang terjadi, namun hal ini akan dibahas lebih lanjut pada subbab berikutnya.

4.3 Analisa Hasil

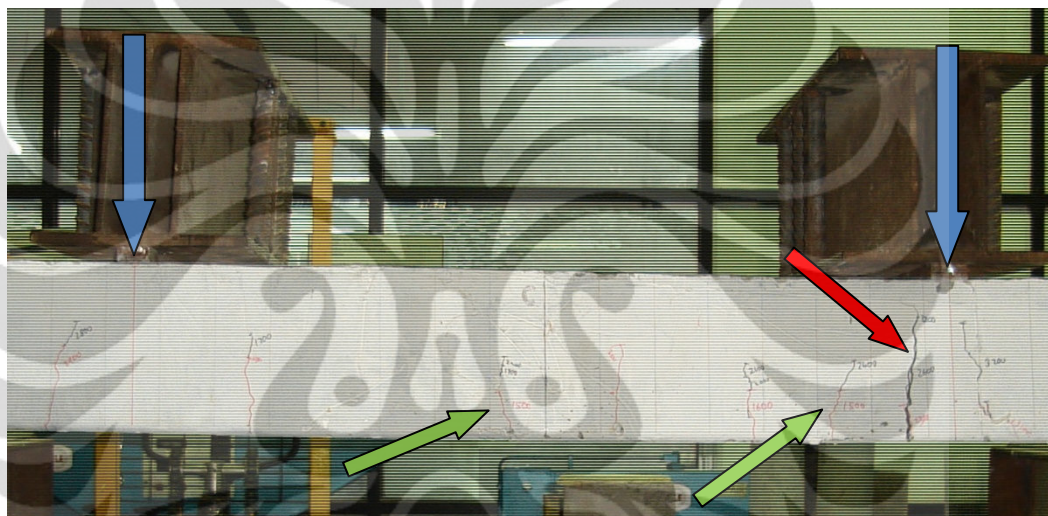
4.3.1 Analisa Pola Retak

Tujuan dari analisa pola retak ini adalah untuk mengetahui bagaimana perilaku dan mode keruntuhan yang terjadi pada HCS yang diberi perkuatan sengkang, baik itu sengkang diagonal maupun sengkang vertikal. Analisa yang dilakukan akan didasarkan pada observasi terhadap retak yang terjadi di kedua sisi pelat di semua sampel yang diuji. Pada sub-bab ini, analisa pola retak akan dilakukan satu persatu pada masing-masing varian, untuk kemudian dibandingkan satu sama lain, termasuk terhadap HCS 5-Void yang menjadi referensi pada penelitian ini. Untuk memudahkan penafsiran gambar, berikut adalah tanda-tanda yang akan digunakan pada gambar-gambar pola retak yang ada di sub-bab ini :

-  Panah Biru : Posisi Beban
-  Panah Hijau : *First Crack*
-  Panah Merah : *Final Crack*



Gambar 4.37. – Pola Retak Diagonal A, Sisi 1



Gambar 4.38. – Pola Retak Diagonal A, Sisi 2

Dari kedua gambar di atas ini dapat dilihat bahwa pada HCS Senggang Diagonal A, retak yang terjadi pertama kali berada di area yang murni dipengaruhi oleh lentur. Sedangkan retak akhir yang cukup besar berada di area dekat titik beban yang masih dipengaruhi oleh lentur murni. Retak-retak yang terjadi pada sampel ini semuanya membentuk garis vertikal memanjang ke atas, yang berarti bahwa retak yang terjadi adalah retak lentur. Dari sejumlah retak yang ada, dapat dilihat juga bahwa ada beberapa retak yang terjadi di area yang dipengaruhi oleh lentur dan geser. Namun secara keseluruhan, retak lentur tetap merupakan pola retak dominan yang terjadi pada sampel ini.

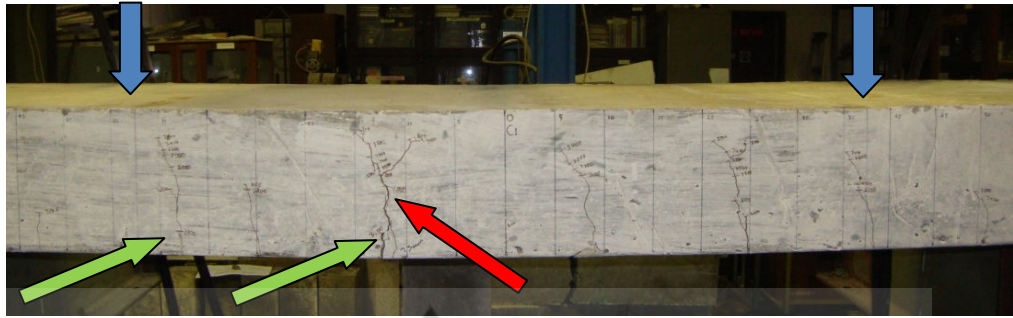


Gambar 4.39. – Pola Retak Diagonal B, Sisi 1

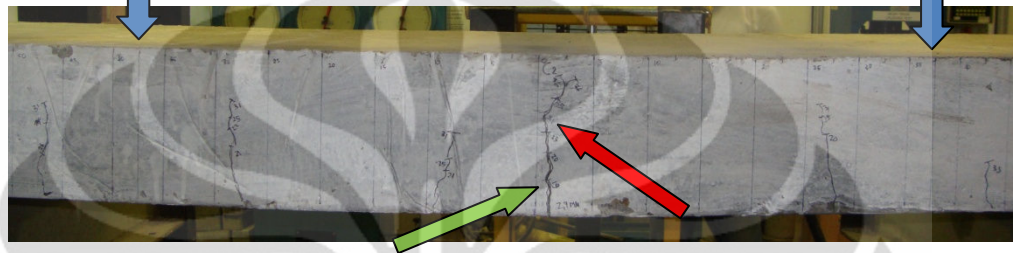


Gambar 4.40. – Pola Retak Diagonal B, Sisi 2

Pada HCS Senggang Diagonal B, retak pertama kali berada di area lentur murni. Sedangkan retak akhir yang cukup besar berada di area dekat titik beban yang masih dipengaruhi oleh lentur murni. Retak-retak yang terjadi pada sampel ini semuanya membentuk garis vertikal memanjang ke atas, yang berarti bahwa retak yang terjadi adalah retak lentur. Dari sejumlah retak yang ada, dapat dilihat juga bahwa ada beberapa retak yang terjadi di area yang dipengaruhi oleh lentur dan geser. Namun secara keseluruhan, retak lentur tetap merupakan pola retak dominan yang terjadi pada sampel ini.



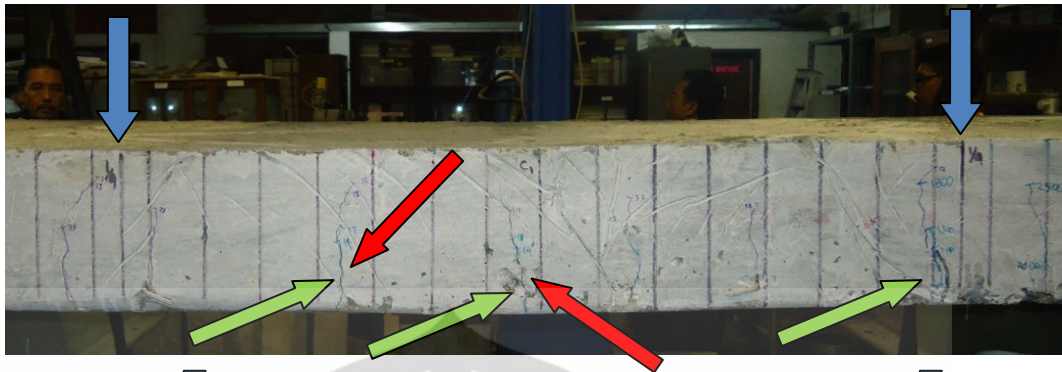
Gambar 4.41. – Pola Retak Diagonal C, Sisi 1



Gambar 4.42. – Pola Retak Diagonal C, Sisi 2

Pada HCS Sengkang Diagonal C, pola retak yang terjadi masih sama. Retak pertama kali berada di area lentur murni. Retak akhir yang cukup besar juga berada area lentur murni. Hanya saja, pada sampel ini lokasi retak akhir yang cukup besar sedikit bergeser dan cenderung lebih ke tengah. Retak-retak yang terjadi pada sampel ini semuanya membentuk garis vertikal memanjang ke atas, yang berarti bahwa retak yang terjadi adalah retak lentur. Dari sejumlah retak yang ada, dapat dilihat juga bahwa ada beberapa retak yang terjadi di area yang dipengaruhi oleh lentur dan geser. Namun secara keseluruhan, retak lentur tetap merupakan pola retak dominan yang terjadi pada sampel ini.

Pada ketiga sampel HCS Sengkang Diagonal, kita dapat melihat bahwa pola retak yang terjadi didominasi oleh retak lentur. Hal ini dapat dilihat dari bentuk retak yang cenderung vertikal dan posisi retak yang mayoritas berada di area lentur murni. Semua *first crack* juga terjadi pada area lentur murni, dan semua kegagalan pada pelat yang ditandai oleh retak yang cukup besar terjadi di area lentur murni. Retak di area yang dipengaruhi lentur dan geser juga terjadi pada ketiga sampel, walaupun kecil dan hanya terjadi di satu atau dua titik. Selanjutnya, pola retak pada sampel-sampel HCS Sengkang vertikal akan dibahas di bawah ini.



Gambar 4.43. – Pola Retak Vertikal A, Sisi 1

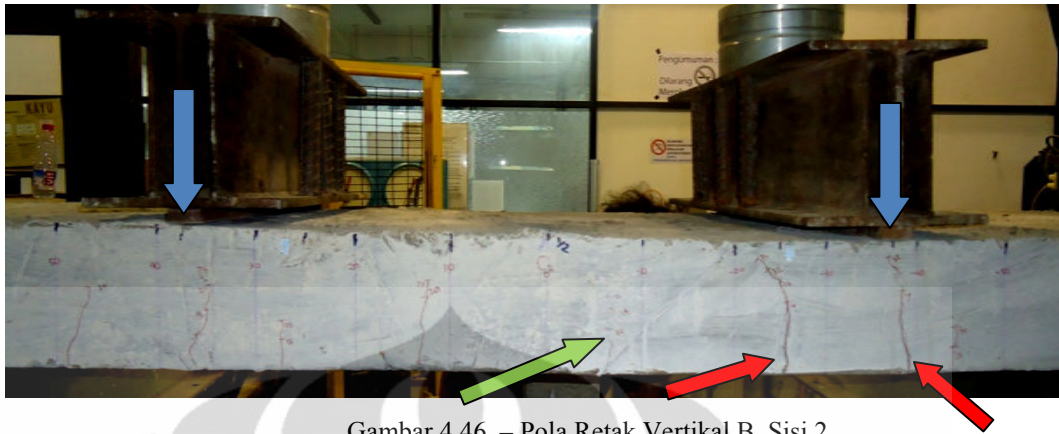


Gambar 4.44. – Pola Retak Vertikal A, Sisi 2

Dari kedua gambar di atas ini dapat dilihat bahwa pada HCS Senggang Vertikal A, retak yang terjadi pertama kali berada di area yang murni dipengaruhi oleh lentur. Sedangkan retak akhir yang cukup besar juga berada di area yang masih dipengaruhi oleh lentur murni. Retak-retak yang terjadi pada sampel ini semuanya membentuk garis vertikal memanjang ke atas, yang berarti bahwa retak yang terjadi adalah retak lentur. Dari sejumlah retak yang ada, dapat dilihat juga bahwa ada beberapa retak yang terjadi di area yang dipengaruhi oleh lentur dan geser. Namun secara keseluruhan, retak lentur tetap merupakan pola retak dominan yang terjadi pada sampel ini.



Gambar 4.45. – Pola Retak Vertikal B, Sisi 1



Gambar 4.46. – Pola Retak Vertikal B, Sisi 2

Pada HCS Senggang Vertikal B, retak pertama kali berada di area lentur murni. Sedangkan retak akhir yang cukup besar dan berada di area dekat titik beban, ada yang masih dipengaruhi oleh lentur murni ada yang berada di area yang dipengaruhi oleh lentur dan geser. Retak-retak yang terjadi pada sampel ini hampir semuanya membentuk garis vertikal memanjang ke atas, yang berarti bahwa retak yang terjadi adalah retak lentur. Dari sejumlah retak yang ada, dapat dilihat juga bahwa ada beberapa retak yang terjadi di area yang dipengaruhi oleh lentur dan geser. Namun secara keseluruhan, retak lentur tetap merupakan pola retak dominan yang terjadi pada sampel ini.



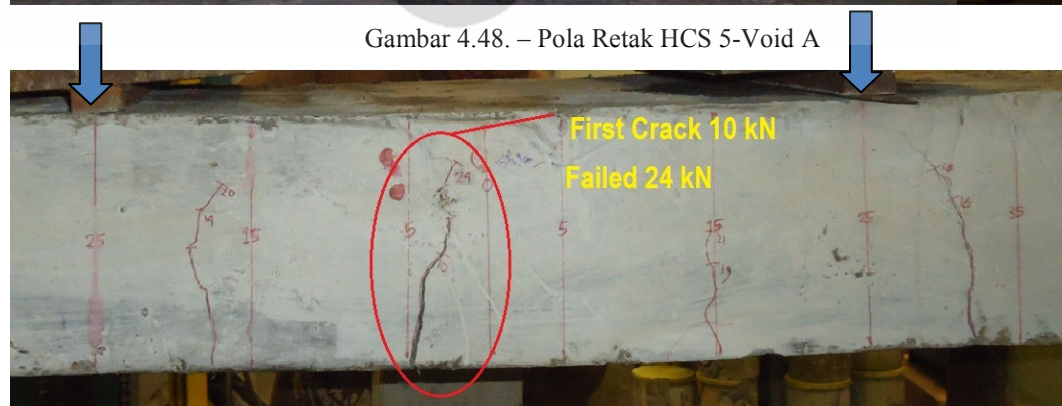
Gambar 4.47 – Pola Retak Vertikal C, Sisi 2

Pada HCS Senggang Vertikal C, ada kesalahan saat pengambilan gambar sehingga pada analisa hanya dapat diperlihatkan pola retak yang terjadi pada salah satu sisi. Namun dari catatan pengujian, diketahui bahwa pola retak yang terjadi masih sama, dimana retak lentur mendominasi pola retak yang terjadi. Retak akhir yang cukup besar berada di area dekat titik beban yang masih dipengaruhi oleh lentur murni. Dari sejumlah retak yang ada, dapat dilihat juga bahwa ada beberapa retak yang terjadi di area yang dipengaruhi oleh lentur dan geser.

Pada ketiga sampel HCS Senggang Vertikal di atas, pola retak yang terjadi tidaklah berbeda dengan pola retak yang terjadi pada ketiga sampel HCS Senggang Diagonal. Retak yang terjadi didominasi oleh retak lentur dengan bentuk vertikal yang mayoritas berada di area lentur murni, dan retak pertama juga selalu terjadi di area lentur murni. Retak di area yang dipengaruhi lentur dan geser juga terjadi pada ketiga sampel, walaupun kecil dan hanya terjadi di satu atau dua titik. Untuk membandingkan pola retak yang terjadi pada HCS dengan perkuatan sengkang dengan HCS tanpa perkuatan apapun, di bawah ini akan ditampilkan gambar pola retak yang terjadi pada kedua sampel HCS 5-Void.



Gambar 4.48. – Pola Retak HCS 5-Void A

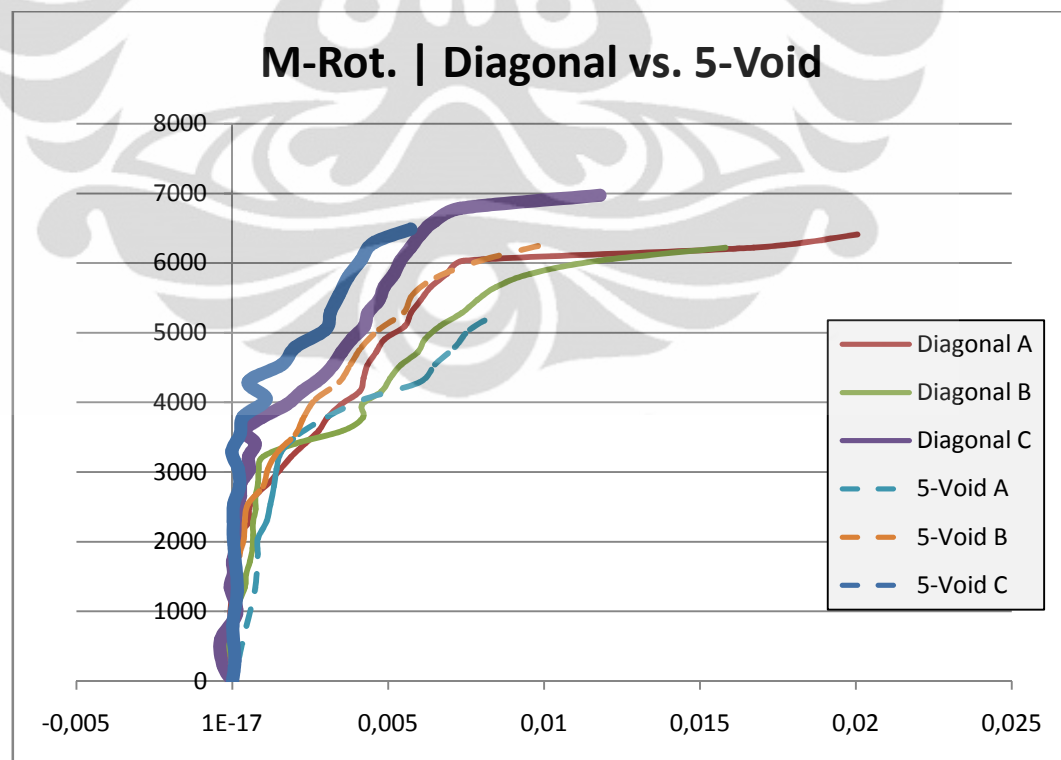


Gambar 4.49. – Pola Retak HCS 5-Void B

Dari kedua gambar di atas, dapat dilihat bahwa pola pada retak di HCS 5-Void juga terjadi di HCS Senggang Diagonal maupun HCS Senggang Vertikal. *First Crack* terjadi di area lentur murni, ada satu atau dua retak yang terjadi di area yang dipengaruhi lentur dan geser, dan retak yang terjadi didominasi oleh retak lentur yang ditunjukkan oleh bentuk retak vertikal. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penambahan sengkang pada HCS tidak mempengaruhi pola retak dan mode keruntuhan yang terjadi.

4.3.2 Analisa Grafik Momen-Rotasi

Selain dari pola retak yang terjadi, perilaku HCS dengan perkuatan sengkang dan pengaruh dari sengkang itu sendiri dapat dipelajari dari grafik momen-rotasi. Pada sub-bab ini akan dibandingkan satu persatu, antara kurva momen-rotasi HCS Senggang Diagonal dengan HCS 5-Void, HCS Senggang Vertikal dengan HCS 5-Void, dan HCS Senggang Diagonal dengan HCS Senggang Vertikal. Berikut adalah grafik perbandingan momen-rotasi yang pertama :

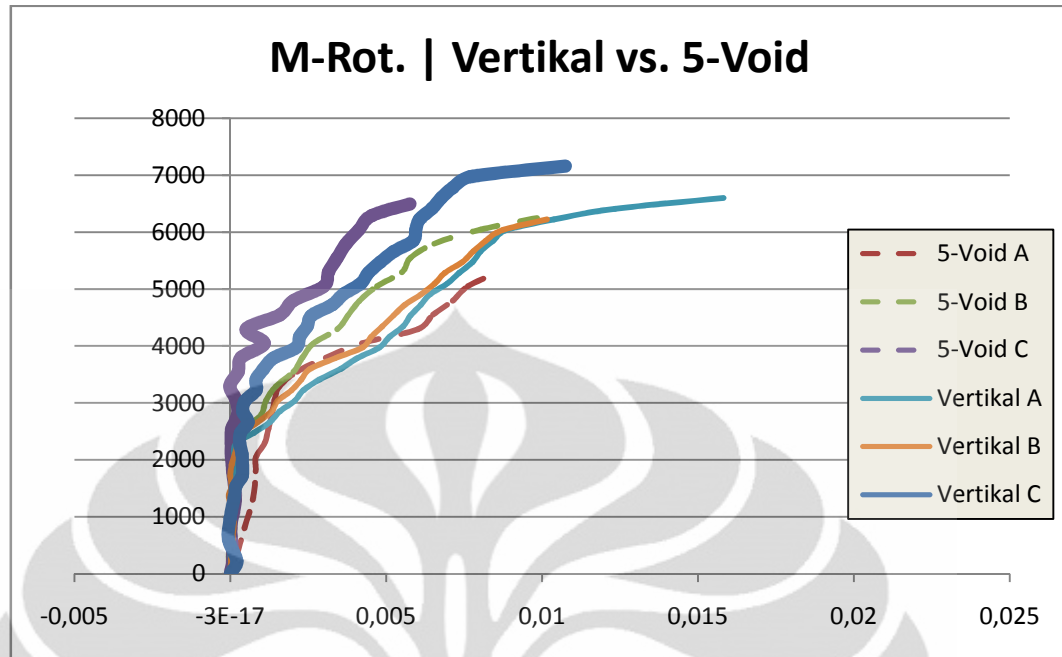


Gambar 4.50 – Grafik Perbandingan Momen-Rotasi Diagonal vs. 5-Void

Kurva A dan B merupakan kurva dari sampel-sampel yang dicor pada gelombang pertama dan memiliki $f_c' = 27$ MPa. Sedangkan Kurva C merupakan kurva dari sampel-sampel yang dicor pada gelombang kedua dan memiliki $f_c' = 34$ MPa. Oleh karena hasil pengujian dari sampel-sampel gelombang kedua secara konsisten menunjukkan kekuatan yang lebih tinggi, pada analisa ini sampel C akan dianalisis secara terpisah dari sampel A dan B.

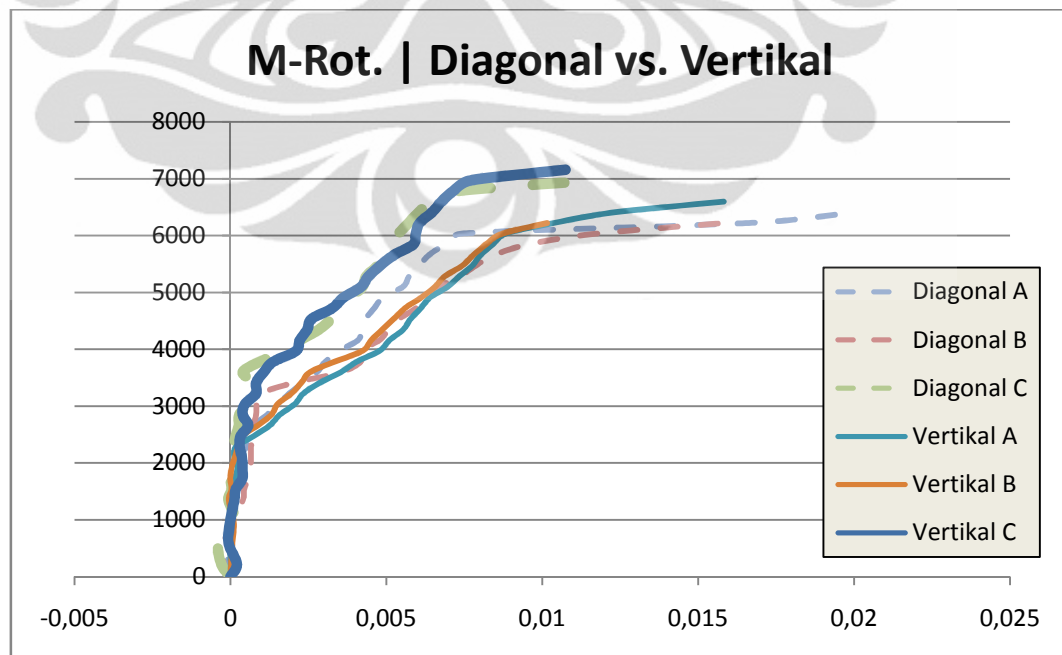
Pada awal pembebanan, kurva akan meningkat secara linier. Pola ini menandakan bahwa beton masih bersifat elastis dan belum ada retak yang terjadi pada beton. Titik dimana kurva mulai berbelok menandakan terjadinya retak pertama pada beton. Dari sejak titik retak pertama ini, struktur beton bertulang tidak lagi bersifat elastis. Sesuai dengan teori balok beton bertulang, setelah retak pertama terjadi pada beton, peran beton untuk menahan tegangan tarik yang terjadi pada sisi bawah pelat menjadi tidak ada dan tegangan tarik yang terjadi akan sepenuhnya ditahan oleh tulangan baja.

Pada grafik di atas, dapat dilihat baik pada kurva A dan B maupun kurva C, bahwa HCS Senggang Diagonal dapat menerima beban maksimum yang kurang lebih sama dengan HCS 5-Void. Apabila kita memperhatikan kurva HCS 5-Void A, memang secara jelas terlihat bahwa beban maksimal yang diterima oleh sampel ini lebih rendah dari sampel lainnya. Berdasarkan analisa penulis, hal ini dikarenakan kerusakan yang dialami sampel ini cukup signifikan sehingga mempengaruhi hasil pengujian. Oleh karena itu, penulis memilih untuk mengesampingkan hasil pengujian yang diperoleh dari sampel ini.



Gambar 4.51 – Grafik Perbandingan Momen-Rotasi Vertikal vs. 5-Void

Pada grafik di atas, dapat dilihat baik pada kurva A dan B maupun kurva C, bahwa HCS Senggang Vertikal dapat menerima beban maksimum yang sedikit lebih besar jika dibandingkan dengan HCS 5-Void. Pada grafik di bawah ini, akan dibandingkan kurva momen-rotasi HCS Senggang Diagonal dengan HCS Senggang Vertikal untuk memperjelas perbandingan kedua varian ini.



Gambar 4.52 – Grafik Perbandingan Momen-Rotasi Diagonal vs. Vertikal

Dapat dilihat bahwa pada beberapa kurva, HCS Sengkang Vertikal memperlihatkan nilai beban maksimum yang sedikit lebih besar dibandingkan dengan HCS Sengkang Diagonal. Untuk memperjelas, di bawah ini akan ditampilkan perbandingan nilai momen maksimum yang terjadi pada masing-masing sampel.

Tabel 4.8. – Perbandingan Nilai Momen Maksimum

Kode Sampel	M-Max (Nm)	Average	Persentase	Deviasi Standar
5-Void A	10294	11794	100,00%	1322,88
5-Void B	12294			
5-Void C	12794			
Diagonal A	12595,5	12845,5	108,92%	780,62
Diagonal B	12220,5			
Diagonal C	13720,5			
Vertikal A	12970,5	13095,5	111,04%	943,73
Vertikal B	12220,5			
Vertikal C	14095,5			

Apabila disajikan dalam bentuk tabel seperti di atas, dapat dilihat secara rata-rata, bahwa beban maksimal yang dapat diterima oleh HCS Sengkang Diagonal lebih besar 8,92% dibandingkan dengan HCS 5-Void. Sedangkan untuk HCS Sengkang Vertikal, beban maksimal yang dapat diterima lebih besar 11,04% dibandingkan dengan HCS 5-Void. Secara teori, hal ini seharusnya tidak mungkin terjadi, karena adanya tulangan geser pada HCS Sengkang Diagonal dan HCS Sengkang Vertikal tidak akan memberikan kontribusi apapun kepada kekuatan lenturnya. Dari hasil ini pun, sulit untuk menyimpulkan bahwa peningkatan kekuatan pada kedua variasi HCS dengan perkuatan sengkang ini, terutama pada HCS Sengkang vertikal, merupakan efek dari penambahan sengkang. Persentase peningkatan kekuatan yang tidak cukup besar dan banyaknya faktor yang menentukan dalam perhitungan kekuatan struktur pelat beton bertulang, mengharuskan adanya penelitian lebih lanjut mengenai hal ini dengan jumlah sampel yang lebih banyak dan representatif.

Secara umum, dapat dilihat bahwa mode keruntuhan yang terjadi pada semua sampel HCS Sengkang Diagonal dan HCS Sengkang Vertikal adalah mode keruntuhan daktail, sama seperti yang terjadi pada semua sampel HCS 5-Void.

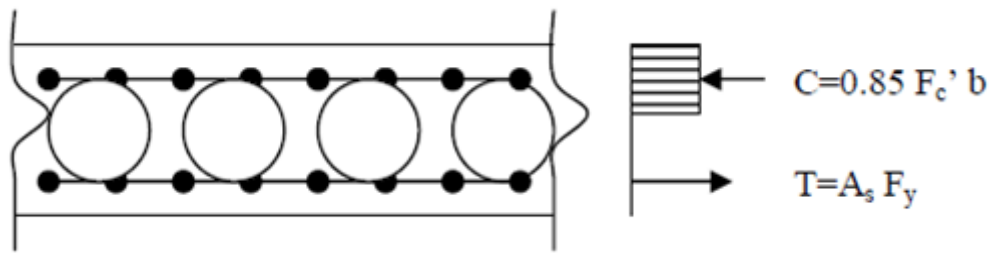
Hal ini menunjukkan bahwa penambahan sengkang pada HCS tidak akan mempengaruhi mode keruntuhan yang terjadi. Adapun untuk mengetahui tingkat daktilitas dari HCS yang diberi perkuatan sengkang, harus dilakukan penelitian lebih lanjut. Pada penelitian ini, pengujian yang dilakukan berhenti ketika beban maksimal yang dapat diterima pelat telah tercapai, sehingga kurva momen-rotasi yang didapat tidak berlanjut hingga tulangan baja putus dan analisis mengenai daktilitas secara utuh tidak dapat dilakukan.

Selain dari grafik momen-rotasi yang dianalisis pada sub-bab ini, penelitian ini juga menghasilkan grafik beban-lendutan untuk dial 3, 4, dan 5 dari masing-masing sampel yang diuji. Namun, besarnya lendutan yang terjadi tidak dapat dibandingkan dan dianalisis mengingat titik penempatan beban yang berbeda pada pengujian HCS dengan perkuatan sengkang dan HCS 5-Void. Pada dasarnya, pola yang terjadi pada kurva beban-lendutan HCS Sengkang masih sama dengan pola pada kurva beban-lendutan HCS 5-Void secara umum. Selain itu, analisis mengenai besarnya lendutan yang terjadi pada HCS juga membutuhkan penelitian lebih lanjut. Hal ini dikarenakan sampel-sampel yang digunakan pada penelitian ini tidaklah sempurna, mengingat ketebalan sampel yang berbeda pada beberapa titik dan permukaan sampel yang tidak rata sempurna. Penelitian lebih lanjut mengenai lendutan yang terjadi pada HCS sebaiknya dilakukan menggunakan sampel yang lebih baik.

4.4 Analisis Kekuatan Teoritis

4.4.1 Analisis Kekuatan Lentur

Pada sub-bab ini, akan dipaparkan perhitungan kekuatan lentur yang dimiliki oleh pelat solid secara teoritis. Tujuannya adalah untuk memperlihatkan, seberapa besar perbedaan nilai momen maksimum pada HCS Sengkang Diagonal dan HCS Sengkang Vertikal yang diuji dengan nilai momen nominal teoritis untuk pelat solid. Berikut ini adalah perhitungan kekuatan lentur pelat solid secara teoritis :



Gambar 4.x – Pola Retak Vertikal C, Sisi 2

- $dia \ \phi = 7,5 \text{ mm}$
- $A_s = 6 \times \frac{1}{4} \pi 7,5^2 = 264,9375 \text{ mm}^2$
- $f'_c = 27 \text{ MPa}$ (Pengecoran Gelombang 1)
- $f'_c = 34 \text{ MPa}$ (Pengecoran Gelombang 2)
- $f_y = 240 \text{ MPa}$
- $b = 600 \text{ mm}$
- $h = 150 \text{ mm}$
- $d = 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 0,5 \times 7,5 \text{ mm} = 126,25 \text{ mm}$

Pengecoran Gelombang 1 :

- Kuat tarik baja tulangan
 $T = A_s \cdot f_y = 63585 \text{ N}$
- Dengan prinsip keseimbangan gaya, kuat tekan yang dihasilkan beton akan sama dengan kuat tarik yang dialami baja tulangan. Sehingga tinggi blok tekan beton dapat dihitung. Blok tekan dari pelat beton:

$$C = T = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \rightarrow a = \frac{63585}{0,85 \cdot 27 \cdot 600} = 4,62 \text{ mm}$$

- Maka momen yang dihasilkan kuat tarik baja tulangan ataupun kuat tekan beton adalah gaya tarik baja dikalikan lengan jarak dari titik gaya tarik ke gaya tekan pada blok tekan beton. Momen nominal :

$$Mn = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn = 7880799,706 \text{ Nmm}$$

$$\phi Mn = 6698,68 \text{ Nm}$$

$$\phi Pn = 35726,29 \text{ N}$$

Pengecoran Gelombang 2 :

- $T = A_s \cdot f_y = 63585 \text{ N}$
- $C = T = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \rightarrow a = \frac{63,585}{0,85 \cdot 34 \cdot 600} = 3,67 \text{ mm}$
- Momen nominal :

$$Mn = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn = 7911025 \text{ Nmm}$$

$$\phi Mn = 6724,37 \text{ Nm}$$

$$\phi Pn = 35863,31 \text{ N}$$

Berdasarkan penelitian pendahuluan yang dilakukan oleh Krisna Adi Surya dengan judul “Studi Eksperimental Pengaruh Volume Void terhadap Kekuatan *Hollow-Core Slab* Non-prategang *Cast In-Site*”, telah diperlihatkan bahwa terdapat perbedaan kekuatan antara sampel pelat solid yang dihitung secara teoritis dengan sampel HCS 5-Void. Pada penelitian tersebut, disebutkan bahwa kekuatan sampel HCS 5-Void adalah sebesar 90,1% dari kekuatan teoritis pelat solid. Sebagai catatan, kekuatan pelat solid yang digunakan pada penelitian ini tidaklah sama persis, melainkan sebesar 99,55% dari kekuatannya secara teoritis. Tabel di bawah ini akan menunjukkan seberapa besar perbedaan kekuatan lentur HCS Sengkang Diagonal dan HCS Sengkang Vertikal apabila dibandingkan dengan kekuatan lentur pelat solid secara teoritis yang telah dihitung di atas.

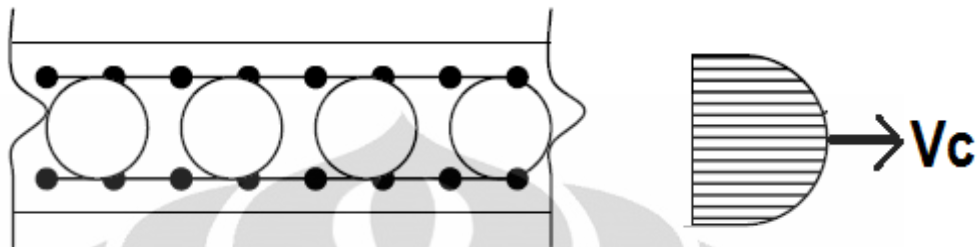
Tabel 4.9. – Perbandingan Kekuatan Lentur Teoritis

Sampel	Mu (Nm) - Average	%
HCS Sengkang Diagonal	6314,25	94%
HCS Sengkang Vertikal	6408	96%

4.4.2 Analisa Kekuatan Geser

Pada sub-bab ini, akan dipaparkan perhitungan kekuatan geser yang dimiliki oleh pelat solid dan HCS 5-Void secara teoritis. Tujuannya antara lain adalah untuk memperlihatkan bahwa penurunan kapasitas geser teoritis karena adanya void pada HCS 5-Void pada akhirnya tetap tidak akan menyebabkan kegagalan geser pada penelitian ini, seperti yang telah disebutkan sebelumnya pada bab awal laporan ini. Selain itu, pada sub-bab ini juga akan dipaparkan

perhitungan yang menggambarkan besarnya peningkatan kapasitas geser teoritis akibat penambahan tulangan geser. Berikut ini adalah hasil perhitungan untuk kekuatan geser nominal pelat solid dan HCS 5-Void:



- $f'_c = 27 \text{ MPa}$ (batch 1)
- $f'_c = 34 \text{ MPa}$ (batch 2)
- $b = 600 \text{ mm}$
- $h = 150 \text{ mm}$
- $d = 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 0,5 \times 7,5 \text{ mm} = 126,25 \text{ mm}$

- Kapasitas geser pelat solid :

$$V_n = V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b d$$

$$= 65731,8 \text{ N untuk batch pertama}$$

- Kapasitas geser HCS 5-Void :

Dengan menghitung luas efektif penampang yaitu luas penampang pelat dikurangi luas 5 kali diameter lubang, maka kekuatan geser pelat beton HCS 5-Void adalah:

$$V_n = V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b d$$

$$= 43972,9 \text{ N untuk batch pertama dan;}$$

$$= 49349,3 \text{ N untuk batch kedua}$$

Apabila kita bandingkan nilai ini dengan kapasitas nominal lentur, nilai kapasitas nominal lentur masih jauh lebih rendah dari ini, sehingga bentuk kegagalan yang diharapkan pada penelitian ini adalah bentuk kegagalan lentur.

Walaupun demikian, dari hasil pengujian didapatkan bahwa keretakan geser tetap terjadi baik untuk HCS 5-Void maupun HCS Sengkang. Penyebab terjadinya keretakan geser kemungkinan adalah akibat dari distribusi tegangan geser yang tidak merata akibat adanya lubang-lubang void pada penampang HCS. Namun hal ini masih membutuhkan penelitian lebih lanjut. Untuk HCS Sengkang, berikut ini adalah hasil perhitungan kekuatan geser nominalnya :

- $Av = 113,04 \text{ mm}^2$
- $s = 10 \text{ cm}$
- $fy = 240 \text{ MPa}$
- Kapasitas geser HCS Sengkang Diagonal :

$$Vs = Av \cdot fy \cdot \frac{d}{s} (\sin \alpha + \cos \alpha) = 48438,39 \text{ N}$$

$$Vn = Vc + Vs$$

$$= 92411,29 \text{ N} \text{ untuk batch pertama}$$

$$= 97787,69 \text{ N} \text{ untuk batch pertama}$$
- Kapasitas geser HCS Sengkang Vertikal :

$$Vs = Av \cdot fy \cdot \frac{d}{s} = 34251,12 \text{ N}$$

$$Vn = Vc + Vs$$

$$= 78224,02 \text{ N} \text{ untuk batch pertama}$$

$$= 83600,42 \text{ N} \text{ untuk batch pertama}$$

Pada akhirnya, setelah menganalisis hasil pengujian semua sampel HCS yang diperkuat dengan sengkang dan membandingkannya dengan referensi HCS 5-Void, disimpulkan bahwa tidak ada perubahan perilaku ataupun mode keruntuhan pada HCS Sengkang. Sesuai dengan yang telah disebutkan, kegagalan geser tidak terjadi pada sampel manapun. Retak di area yang dipengaruhi lentur dan geser yang terjadi pada HCS 5-Void juga masih terjadi pada HCS Sengkang, dan menunjukkan bahwa penambahan sengkang juga tidak mengubah hal ini. Signifikansi dari penambahan sengkang justru diperlihatkan pada proses pelaksanaan. Analisis mengenai hal ini akan dijelaskan pada sub-bab selanjutnya.

4.5 Analisa Percobaan

Seperti telah disebutkan pada bab pendahuluan dari laporan ini, salah satu tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui feasibilitas pembuatan HCS Non-prategang *Cast In-Site*. Variasi HCS Senggang ditujukan untuk mengetahui efek apa saja yang terjadi dari adanya tulangan geser ini. Selama pelaksanaan, ada pemahaman penting yang dipelajari dari HCS Senggang Diagonal dan HCS Senggang Vertikal.

Fabrikasi botol pada sampel-sampel penelitian ini membutuhkan waktu yang cukup banyak. Waktu terbanyak dibutuhkan untuk menyambung botol satu sama lain dan untuk memastikan bahwa botol terikat dengan baik ke tulangan tarik di bagian bawah pelat. Fakta yang ditemukan di lapangan adalah, bahwa pada variasi HCS Senggang fabrikasi botol ini menjadi lebih mudah. Adanya sengkang pada ujung kiri dan kanan pelat membuat botol yang sudah disambung panjang tidak perlu lagi diikat satu persatu ke tulangan tarik sehingga menghemat waktu. Botol panjang yang sudah disambung cukup di masukkan ke dalam rongga diantara tulangan atas dan bawah, dan dengan sendirinya botol tidak akan bergerak ke kiri ataupun ke kanan karena posisinya yang terjepit oleh tulangan atas bawah.



Gambar 4.53. – HCS tanpa Senggang



Gambar 4.54. – HCS dengan Senggang

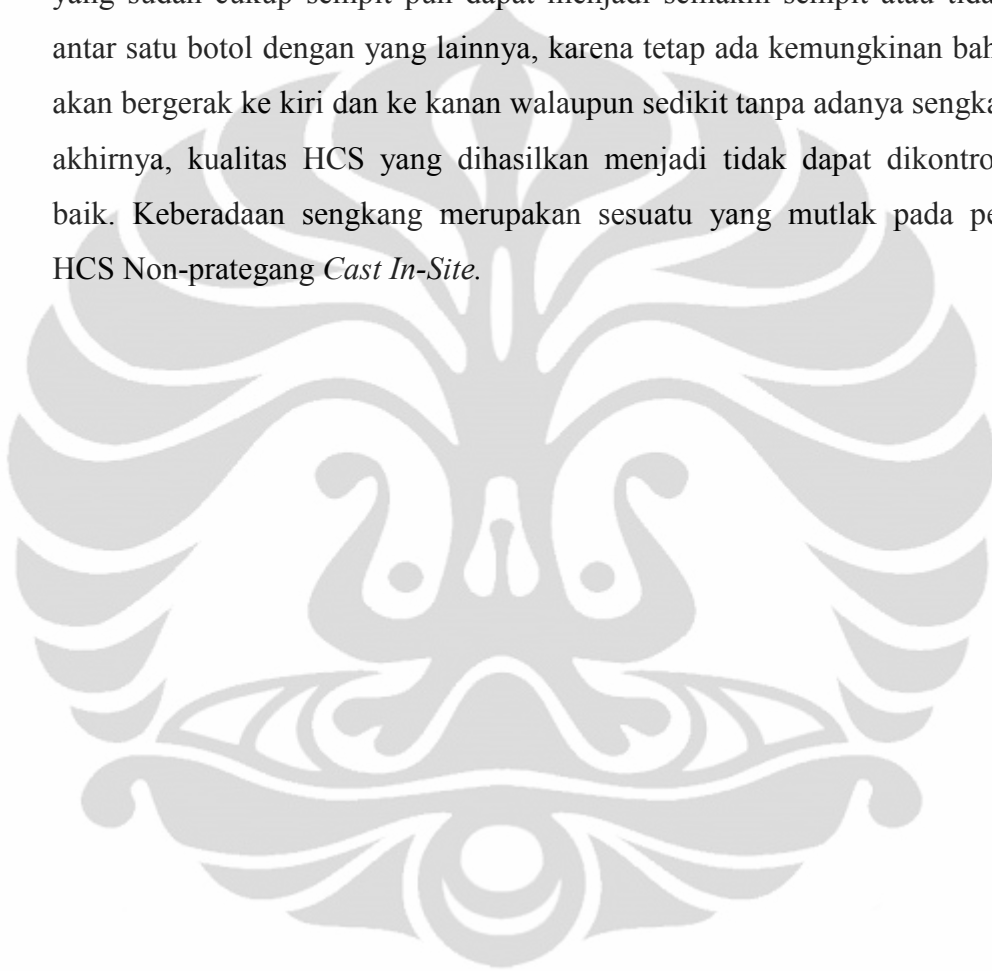
Setelah botol dipasang pada pelat dan dipastikan tidak bergerak ke kiri maupun ke kanan, selanjutnya perlu dipastikan bahwa botol juga tidak bergerak ke atas. Pada HCS Sengkang, ujung kiri dan ujung kanan bentang memberikan kepastian bahwa botol tidak akan bergerak naik karena adanya tulangan yang menjepit botol. Pada bagian tengah bentang yang tidak terdapat sengkang, hal ini perlu dipastikan dengan mengikat botol dengan menggunakan kawat ke tulangan tarik. Setelah langkah ini dilakukan, maka dapat dipastikan bahwa botol akan berada pada kondisi diam. Kepastian semacam ini tidak akan didapatkan pada sampel yang tidak menggunakan sengkang, karena satu-satunya hal yang akan menahan botol untuk tidak bergerak ke kanan, kiri, maupun ke atas hanyalah ikatan kawat yang jumlahnya cukup banyak. Sifat dari ikatan kawat yang mudah digoyang dan adanya kemungkinan ikatan yang tidak kuat menambah adanya ketidakpastian pada sampel HCS tanpa sengkang.

Ketika pengecoran dilakukan, hal yang tidak diinginkan terjadi pada HCS tanpa sengkang. Sebagian besar ikatan kawat yang pada saat proses fabrikasi dianggap sudah cukup kuat untuk menjaga botol agar diam ternyata terbukti sebaliknya. Sebagian besar ikatan kawat tidak cukup kuat untuk menahan botol agar tidak naik ke atas, sehingga seperti terlihat pada gambar di bawah ini, botol menjadi naik ke permukaan. Kejadian seperti ini ditemukan pada hampir semua HCS tanpa sengkang, namun tidak ditemukan pada HCS Sengkang manapun.



Gambar 4.53 – Botol Naik ke Permukaan pada HCS tanpa Sengkang

Berdasarkan pengalaman pada pelaksanaan pengecoran ini, keberadaan sengkang pada HCS Non-prategang *Cast In-Site* menjadi sangat penting, karena menyangkut kualitas dari struktur pelat itu sendiri. Selimut beton yang merupakan salah satu faktor penting pada struktur beton menjadi tidak pasti besarnya tanpa kehadiran sengkang untuk memastikan botol tidak bergerak. Spasi antar botol yang sudah cukup sempit pun dapat menjadi semakin sempit atau tidak merata antar satu botol dengan yang lainnya, karena tetap ada kemungkinan bahwa botol akan bergerak ke kiri dan ke kanan walaupun sedikit tanpa adanya sengkang. Pada akhirnya, kualitas HCS yang dihasilkan menjadi tidak dapat dikontrol dengan baik. Keberadaan sengkang merupakan sesuatu yang mutlak pada pembuatan HCS Non-prategang *Cast In-Site*.



BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini, ada beberapa kesimpulan yang diperoleh. Kesimpulan-kesimpulan ini antara lain adalah :

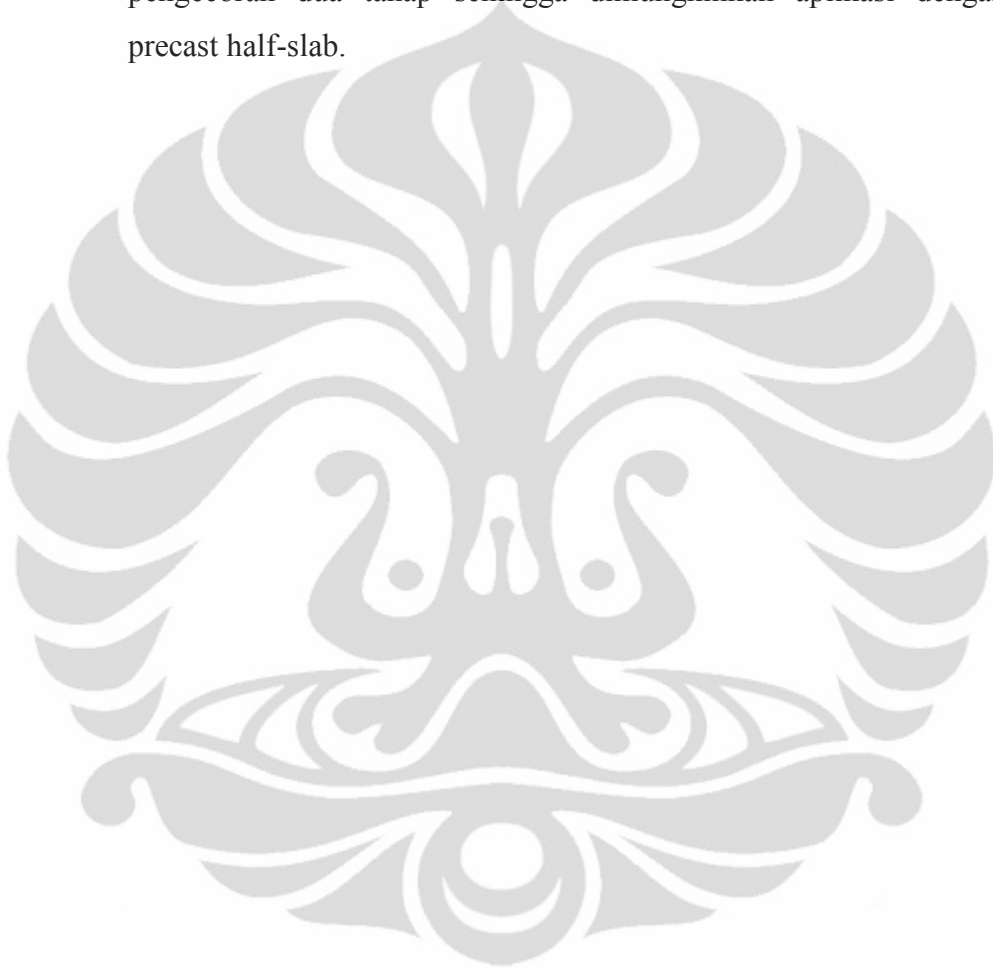
- HCS In-Situ Non-prategang dengan perkuatan sengkang lebih mudah untuk dibuat dibanding dengan variasi lainnya, karena pemasangan botol pada pelat terbantu dengan adanya sengkang yang menjepit sisi atas dan bawah botol.
- Kualitas dari HCS In-Situ Non-prategang yang dibuat dengan perkuatan sengkang lebih terkontrol, karena kepastian selimut beton dan spasi antar botol yang terbantu dengan adanya sengkang.
- Kegagalan yang terjadi pada benda uji HCS untuk seluruh variasi (sengkang diagonal dan sengkang vertikal) didominasi oleh kegagalan lentur. Walaupun demikian, pada beberapa benda uji ditemukan juga retak kombinasi lentur geser yang terjadi di sekitar daerah beban terpusat.
- Penggunaan sengkang, baik diagonal maupun vertikal, pada benda uji HCS dapat meningkatkan kapasitas lentur sebanyak 8 – 11 %.
- Dari hasil percobaan, diketahui bahwa benda uji HCS dengan sengkang diagonal ataupun vertikal mempunyai kapasitas yang relatif sama. Adapun HCS Sengkang Vertikal mempunyai kapasitas 1,95 % lebih besar dibandingkan dengan HCS Sengkang Diagonal.

5.2 Saran

Berdasarkan analisis dan pemahaman yang diperoleh dari penelitian ini, ada beberapa saran yang ingin disampaikan oleh penulis, antara lain adalah :

- Pembuatan HCS In-Situ Non-prategang dengan memanfaatkan limbah botol plastik sebagai pembuat lubang sebaiknya dilakukan dengan menggunakan perkuatan tulangan geser, untuk memudahkan pelaksanaan dan mendapatkan kualitas HCS yang terkontrol.

- Penelitian lebih lanjut mengenai perilaku tertentu dari HCS sebaiknya dilakukan menggunakan sampel yang lebih baik dan mendekati kondisi sempurna, karena ketidakrataan sedikit apapun pada permukaan sampel dapat mempengaruhi proses pengambilan data.
- Untuk mempermudah pelaksanaan, perlu dilakukan percobaan dengan pengecoran dua tahap sehingga dimungkinkan aplikasi dengan sistem precast half-slab.



DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. *Standar Nasional Indonesia: 03-2847-2002*. Semarang: Penerbit Institut Teknologi Semarang, 2002.
- Chopra, Anil K. *Dynamics of Structures*. New Jersey: Prentice-Hall, 1995.
- Hawkins dan Ghosh. “*Shear Strength of Hollow-Core Slabs*”. *Nama Jurnal* (2006)
- Helen, B., Lundgren, K., “Finite Element Analyses of Hollow Core Units Subjected to Shear and Torsion”, Report No. 02:17, Department of Structural Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden 2002, ISSN 1650-5166
- Hibbeler, R. C. *Mechanics of Materials, 6th Edition*. New Jersey: Pearson Prentice Hall. 2004
- Katili, Irwan. *Metode Elemen Hingga untuk Skeletal*. Jakarta: Rajawali Pers, 2008.
- MacGregor, James G., Wight, James K. *Reinforced Concrete : Mechanics and Design, Fourth Edition in SI Units*. Singapore: Prentice Hall. 2006
- Micallef. “*Assessment of Shear Capacity of Pre-stressed Hollow Core Floor Units in the Local Construction Industry*”. *Nama Jurnal* (2005)
- Neville, A. M. *Properties of Concrete*. London: Pitman Publishing Ltd., 1981.
- Pajari, Matti. “*Resistance of Prestressed Hollow Core Slabs Against Web Shear Failure*” VIT Research Notes (2005)
- Surya, Krisna Adi. *Studi Eksperimental Pengaruh Volume Void terhadap Kekuatan Hollow-Core Slab Non-prategan Cast In-Site*. Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Juni 2011



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Univesitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Telp. 787 4874 - 727 0029 (Ext. 110-111) - 727 0028 (Fax)

Nama Sampel : HCS Sengkang Diagonal A

Tanggal Pekerjaan : 8-April-2011

Dites Oleh : Apri S.

No	Beban (N)	Hasil Bacaan						
		1	2	3	4	5	6	7
1	0	15	16	18	11	15	11	16
2	1176	14,9	15,87	17,9	10,91	14,9	9,89	15,78
3	3176	14,78	15,78	17,72	10,77	14,8	9,75	15,65
4	5176	14,61	15,59	17,51	10,55	14,6	9,7	15,56
5	7176	14,42	15,43	17,3	10,33	14,365	9,56	15,44
6	8176	14,33	15,34	17,15	10,23	14,25	9,52	15,39
7	9176	14,28	15,26	17,13	10,15	14,18	9,48	15,34
8	10176	14,19	15,18	17,03	10,04	14,08	9,4	15,28
9	11176	14,12	15,1	16,91	9,915	13,95	9,34	15,19
10	12176	14,04	15,02	16,8	9,82	13,87	9,19	15,13
11	13176	13,97	14,94	16,7	9,7	13,75	9,12	15,05
12	14176	13,94	14,87	16,61	9,55	13,66	9,07	15,01
13	15176	13,9	14,77	16,15	9,2	13,34	8,99	14,98
14	16176	13,88	14,7	15,94	8,95	13,05	8,93	14,96
15	17176	13,86	14,63	15,54	8,57	12,63	8,89	14,96
16	18176	13,84	14,57	15,33	8,33	12,4	8,81	14,95
17	19176	13,81	14,48	15	8,05	12,13	8,73	14,92
18	20176	13,79	14,42	14,86	7,94	11,88	8,7	14,92
19	21176	13,77	14,33	14,43	7,55	11,47	8,63	14,89
20	22176	13,78	14,3	14,18	7,28	11,2	8,55	14,92
21	23176	13,77	14,25	13,94	7,03	10,95	8,55	14,91
22	24176	13,75	14,2	13,72	6,85	10,77	8,53	14,89
23	25176	13,74	14,14	13,48	6,6	10,51	8,49	14,87
24	26176	13,74	14,08	13,24	6,35	10,29	8,44	14,83
25	27176	13,77	14	12,89	6,03	9,98	8,39	14,83
26	28176	13,77	13,96	12,62	5,75	9,69	8,38	14,83
27	29176	13,77	13,92	12,38	5,52	9,44	8,34	14,83
28	30176	13,77	13,88	12,18	5,3	9,23	8,3	14,83
29	31176	13,76	13,81	11,8	4,87	8,95	8,2	14,8
30	32176	13,77	13,75	11,47	4,6	8,57	8,14	14,8
31	33176	14,82	13,65	10,78	4,13	8,06	8,01	15,85
32	34176	15,25	13,52	9,28	2,5	6,4	7,91	16,02



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Univesitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Telp. 787 4874 - 727 0029 (Ext. 110-111) - 727 0028 (Fax)

Nama Sampel : HCS Sengkang Diagonal B
Tanggal Pekerjaan : 4-Mei-2011
Dites Oleh : Apri S.

No	Beban (N)	Hasil Bacaan						
		1	2	3	4	5	6	7
1	0	15	15	20,5	19,5	18	15	14,5
2	1176	14,87	14,93	20,52	19,395	17,96	14,96	14,42
3	3176	14,77	14,88	20,31	19,21	17,77	14,88	14,315
4	5176	14,61	14,71	20,05	18,945	17,51	14,7	14,15
5	7176	14,45	14,48	19,79	18,66	17,24	14,49	13,955
6	8176	14,38	14,41	19,67	18,535	17,12	14,39	13,865
7	9176	14,32	14,33	19,58	18,44	17,03	14,31	13,795
8	10176	14,24	14,24	19,45	18,3	16,9	14,21	13,705
9	11176	14,18	14,17	19,35	18,185	16,79	14,12	13,61
10	12176	14,12	14,09	19,26	18,1	16,7	14,05	13,52
11	13176	14,05	14	19,15	17,99	16,58	13,98	13,45
12	14176	13,99	13,93	19,05	17,895	16,485	13,91	13,37
13	15176	13,92	13,85	18,95	17,79	16,385	13,83	13,3
14	16176	13,86	13,78	18,84	17,68	16,265	13,745	13,21
15	17176	13,8	13,69	18,73	17,58	16,16	13,68	13,15
16	18176	13,86	13,6	17,83	16,67	15,24	13,61	13,19
17	19176	14	13,48	17,13	15,91	14,47	13,56	13,26
18	20176	14,02	13,44	16,69	15,39	13,94	13,5	13,3
19	21176	13,95	13,4	16,38	15,04	13,58	13,425	13,25
20	22176	13,94	13,26	16,17	15,015	13,55	13,38	13,23
21	23176	13,91	13,2	15,88	14,77	13,28	13,3	13,19
22	24176	13,9	13,14	15,69	14,59	13,09	13,25	13,175
23	25176	13,9	13,06	15,43	14,35	12,85	13,145	13,125
24	26176	13,89	13	15,19	14,13	12,62	13,12	13,11
25	27176	13,88	12,92	14,9	13,85	12,33	13,05	13,09
26	28176	13,91	12,83	14,59	13,57	12,05	12,98	13,075
27	29176	13,91	12,78	14,2	13,2	11,67	12,9	13,07
28	30176	13,94	12,74	13,78	12,8	11,27	12,86	13,11
29	31176	14,01	12,69	13,16	12,22	10,68	12,795	13,2
30	32176	14,16	12,63	11,94	11,01	9,48	12,76	13,5
31	33176	14,55	12,59	9,49	8,51	6,89	12,75	14,08
32	#VALUE!	14,64	12,45				12,76	15,15
33	#VALUE!	15,15	12,35					



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Telp. 787 4874 - 727 0029 (Ext. 110-111) - 727 0028 (Fax)

Nama Sampel : HCS Sengkang Diagonal C
Tanggal Pekerjaan : 27-April-2011
Dites Oleh : Apri S.

No	Beban (N)	Hasil Bacaan						
		1	2	3	4	5	6	7
1	0	14	9	23	22,5	15,5	12	14
2	1176	13,85	8,93	22,9	22,325	15,22	11,8	13,8
3	3176	13,75	8,86	22,69	22,14	15,05	11,65	13,65
4	5176	13,68	8,65	22,39	21,88	14,79	11,42	13,4
5	7176	13,38	8,43	22,11	21,61	14,53	11,19	13,19
6	8176	13,31	8,34	22,01	21,515	14,45	11,1	13,1
7	9176	13,22	8,26	21,91	21,42	14,35	11,02	13,02
8	10176	13,12	8,15	21,79	21,32	14,255	10,92	12,93
9	11176	13,1	8,14	21,67	21,2	14,15	10,8	12,82
10	12176	13	8,04	21,57	21,11	14,05	10,72	12,73
11	13176	12,94	7,97	21,46	21,01	13,95	10,62	12,63
12	14176	12,89	7,9	21,34	20,9	13,85	10,54	12,55
13	15176	12,84	7,84	21,24	20,81	13,76	10,45	12,45
14	16176	12,79	7,77	21,13	20,69	13,63	10,35	12,39
15	17176	12,74	7,73	21,06	20,61	13,55	10,28	12,32
16	18176	12,69	7,64	20,96	20,51	13,45	10,2	12,25
17	19176	12,65	7,69	20,84	20,4	13,35	10,13	12,18
18	20176	12,6	7,51	20,74	20,16	13,12	10,06	12,12
19	21176	12,61	7,43	20,18	19,65	12,63	9,95	12,12
20	22176	12,67	7,41	19,86	19,09	12,06	9,9	12,11
21	23176	12,69	7,35	19,23	18,78	11,76	9,85	12,13
22	24176	12,7	7,32	19,06	18,61	11,59	9,79	12,13
23	25176	12,68	7,27	18,85	18,4	11,39	9,72	12,1
24	26176	12,67	7,22	18,65	18,22	11,21	9,66	12,08
25	27176	12,65	7,14	18,39	17,93	10,92	9,59	12,05
26	28176	12,64	7,11	18,19	17,74	10,74	9,55	12,02
27	29176	12,62	7,02	17,99	17,52	10,52	9,5	11,99
28	30176	12,61	6,99	17,79	17,35	10,35	9,46	11,97
29	31176	12,6	6,94	17,55	17,12	10,12	9,38	11,93
30	32176	12,59	6,9	17,36	16,91	9,97	9,33	11,9
31	33176	12,57	6,83	17,16	16,73	9,73	9,28	11,88
32	34176	12,59	6,79	16,93	16,52	9,52	9,23	11,85
33	35176	12,6	6,74	16,62	16,17	9,18	9,15	11,82
34	36176	12,64	6,69	16,21	15,35	8,37	9,05	11,84
35	37176	13,25	6,73	13,2	12,52	5,58	9,01	12,35
36	#VALUE!	13,97	6,69	8,92	8,41	1,51	8,99	13,09



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Telp. 787 4874 - 727 0029 (Ext. 110-111) - 727 0028 (Fax)

Nama Sampel : HCS Sengkang Vertikal A
Tanggal Pekerjaan : 10-Mei-2011
Dites Oleh : Apri S.

No	Beban (N)	Hasil Bacaan						
		1	2	3	4	5	6	7
1	0	18,01	16	18	15,99	18,02	23,04	13,98
2	1176	17,93	15,92	17,9	15,9	17,93	23	13,92
3	3176	17,8	15,79	17,76	15,91	17,95	22,92	13,82
4	5176	17,63	15,61	17,5	15,78	17,81	22,75	13,65
5	7176	17,43	15,41	17,22	15,525	17,56	22,56	13,465
6	8176	17,36	15,34	17,13	15,265	17,28	22,5	13,4
7	9176	17,3	15,29	17,04	15,17	17,18	22,44	13,35
8	10176	17,22	15,19	16,92	15,09	17,09	22,35	13,26
9	11176	17,17	15,18	16,8	14,98	16,97	22,27	13,195
10	12176	17,11	15,12	16,55	14,86	16,84	22,21	13,15
11	13176	17,07	14,95	16,39	14,61	16,59	22,155	13,105
12	14176	17,06	14,86	16,08	14,46	16,44	22,09	13,09
13	15176	17,01	14,76	15,73	14,15	16,14	22,03	13,06
14	16176	16,98	14,69	15,45	13,81	15,79	21,95	13,06
15	17176	16,96	14,63	15,2	13,52	15,515	21,9	13,04
16	18176	16,93	14,53	14,89	13,28	15,27	21,8	13
17	19176	16,92	14,44	14,46	12,97	14,97	21,71	13
18	20176	16,9	14,37	14,15	12,54	14,555	21,62	12,99
19	21176	16,94	14,3	13,77	12,23	14,26	21,56	13
20	22176	16,95	14,27	13,49	11,86	13,89	21,51	12,99
21	23176	16,95	14,22	13,21	11,58	13,625	21,42	12,96
22	24176	16,95	14,18	13,02	11,29	13,36	21,4	12,96
23	25176	16,95	14,15	12,7	11,09	13,18	21,33	12,94
24	26176	16,95	14,11	12,47	10,78	12,89	21,29	12,935
25	27176	16,95	14,03	12,06	10,655	12,665	21,21	12,915
26	28176	16,95	13,98	11,8	10,14	12,26	21,16	12,91
27	29176	16,95	13,92	11,5	9,87	12	21,09	12,885
28	30176	16,95	13,89	11,29	9,56	11,67	21,05	12,88
29	31176	16,96	13,85	10,96	9,36	11,47	20,99	12,87
30	32176	16,98	13,81	10,66	9,02	11,14	20,94	12,865
31	33176	17,13	13,74	10,13	8,72	10,83	20,87	12,96
32	34176	17,4	13,7	8,67	8,2	10,31	20,88	13,15
33	35176	17,92	13,68	6,54	6,7	8,75	20,87	13,47
34	#VALUE!	18,52	13,8	3,75	4,5	6,53	20,89	13,95
35	#VALUE!				1,79	3,73		



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Univesitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Telp. 787 4874 - 727 0029 (Ext. 110-111) - 727 0028 (Fax)

Nama Sampel : HCS Sengkang Vertikal B
Tanggal Pekerjaan : 11-Mei-2011
Dites Oleh : Apri S.

No	Beban (N)	Hasil Bacaan						
		1	2	3	4	5	6	7
1	0	19,7	11,9	26	20,97	21,16	19,58	21,13
2	1176	19,6	11,82	25,78	20,82	21	19,44	21,08
3	3176	19,49	11,72	25,55	20,63	20,84	19,31	20,95
4	5176	19,36	11,61	25,3	20,38	20,6	19,08	20,73
5	7176	19,19	11,49	25,01	20,12	20,34	18,88	20,52
6	8176	19,12	11,43	24,89	20	20,225	18,77	20,43
7	9176	19,08	11,4	24,8	19,92	20,14	18,71	20,36
8	10176	19	11,33	24,67	19,78	20,02	18,6	20,26
9	11176	18,94	11,26	24,57	19,69	19,92	18,52	20,185
10	12176	18,89	11,2	24,47	19,595	19,83	18,44	20,11
11	13176	18,82	11,12	24,36	19,47	19,715	18,35	20,035
12	14176	18,82	11,05	24,05	19,165	19,42	18,27	20,02
13	15176	18,83	10,98	23,64	18,69	19	18,2	19,98
14	16176	18,82	10,92	23,36	18,47	18,74	18,15	19,93
15	17176	18,81	10,87	23,08	18,2	18,47	18,1	19,95
16	18176	18,78	10,8	22,76	17,85	18,13	18,01	19,9
17	19176	18,78	10,76	22,52	17,64	17,91	17,95	19,87
18	20176	18,85	10,71	22,15	17,26	17,54	17,86	19,86
19	21176	18,85	10,62	21,44	16,86	17,15	17,77	19,9
20	22176	18,89	10,61	21,42	16,53	16,82	17,76	19,91
21	23176	18,88	10,54	21,12	16,23	16,54	17,71	19,89
22	24176	18,88	10,5	20,91	16,03	16,32	17,65	19,88
23	25176	18,88	10,44	20,63	15,76	16,06	17,6	19,86
24	26176	18,88	10,39	20,38	15,49	15,78	17,5	19,84
25	27176	18,88	10,34	20,11	15,24	15,53	17,45	19,85
26	28176	18,9	10,3	19,85	14,97	15,26	17,43	19,85
27	29176	18,91	10,23	19,5	14,62	14,92	17,35	19,83
28	30176	18,91	10,2	19,31	14,43	14,72	17,28	19,82
29	31176	18,92	10,14	19,02	14,13	14,43	17,25	19,82
30	32176	18,96	10,1	18,67	13,81	14,1	17,18	19,8
31	33176	19,15	10,05	18,1	13,21	13,52	17,13	19,87
32	#VALUE!	20,04	10,04	15,95	11,01	11,32	15	20,09
33	#VALUE!	20,87	10,03	13,52	8,6	8,92	15	20,44



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik

Universitas Indonesia

Kampus UI Depok 16424, Telp. 787 4874 - 727 0029 (Ext. 110-111) - 727 0028 (Fax)

Nama Sampel : HCS Sengkang Vertikal C
Tanggal Pekerjaan : 11-April-2011
Dites Oleh : Apri S.

No	Beban (N)	Hasil Bacaan						
		1	2	3	4	5	6	7
1	0	12	17	14,99	11	13	15	20
2	1176	11,92	16,89	14,85	10,83	12,94	14,9	19,92
3	3176	11,79	16,78	14,67	10,65	12,755	14,8	19,77
4	5176	11,65	16,64	14,47	10,45	12,55	14,64	19,62
5	7176	11,5	16,46	14,25	10,23	12,33	14,47	19,45
6	8176	11,44	16,4	14,15	10,13	12,22	14,39	19,38
7	9176	11,37	16,29	14,06	10,03	12,12	14,3	19,3
8	10176	11,3	16,22	13,95	9,92	12,01	14,22	19,22
9	11176	11,235	16,16	13,85	9,82	11,9	14,15	19,15
10	12176	11,18	16,125	13,75	9,72	11,8	14,08	19,08
11	13176	11,11	16,04	13,66	9,62	11,71	14,03	19,02
12	14176	11,03	15,9	13,58	9,55	11,63	13,98	18,97
13	15176	10,98	15,885	13,49	9,46	11,54	13,94	18,92
14	16176	10,93	15,82	13,4	9,37	11,45	13,89	18,87
15	17176	10,92	15,74	13,18	9,11	11,19	13,84	18,84
16	18176	10,89	15,7	13,02	9	11,05	13,83	18,82
17	19176	10,87	15,64	12,81	8,76	10,88	13,78	18,79
18	20176	10,87	15,58	12,57	8,45	10,65	13,74	18,77
19	21176	10,89	15,55	12,06	8,07	10,12	13,65	18,81
20	22176	10,9	15,53	11,78	7,74	9,82	13,65	18,81
21	23176	10,88	15,46	11,55	7,53	9,6	13,62	18,79
22	24176	10,865	15,44	11,39	7,35	9,42	13,58	18,78
23	25176	10,86	15,37	11,12	7,1	9,19	13,49	18,79
24	26176	10,85	15,31	10,84	6,83	8,94	13,44	18,78
25	27176	10,84	15,26	10,54	6,59	8,68	13,31	18,75
26	28176	10,84	15,23	10,39	6,4	8,53	13,28	18,75
27	29176	10,825	15,2	10,16	6,13	8,31	13,17	18,72
28	30176	10,815	15,15	9,96	5,9	8,12	13,08	18,7
29	31176	10,8	15,06	9,57	5,55	7,78	12,97	18,67
30	32176	10,79	15,04	9,42	5,42	7,61	12,95	18,66
31	33176	10,78	15	9,18	5,18	7,42	12,92	18,63
32	34176	10,77	14,96	9	4,99	7,2	12,82	18,6
33	35176	10,755	14,9	8,74	4,75	6,94	12,75	18,56
34	36176	10,78	14,86	8,42	4,45	6,64	12,73	18,57
35	37176	10,81	14,8	8,19	4,2	6,48	12,69	18,58
36	38176	11,3	14,78	7,48	3,9	5,15	12,68	18,82
37	#VALUE!	13,18	14,82	7,05			13,69	19,3
38	#VALUE!	14,95	14,88				12,62	19,71



LABORATORIUM STRUKTUR DAN MATERIAL

Departemen Sipil - Fakultas Teknik
Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok, Telp. 787 4878 - 727 0029 (Ext.110/111) - 727 0028 (Fax)

HASIL UJI KUAT BELAH BETON TEST RESULT OF SPLITTING TENSILE OF CONCRETE (ASTM C.496M-04)

No. Surat : /H/LAB./FTUI/CSI/...../2008.

Untuk :

Proyek :

Alamat :

No.	Tanggal		Umur (hari)	Kode	Bentuk Sampel	Tinggi (l) (cm)	Diameter (d) (cm)	Beban Maximum (P) (kg)	Kuat Belah (T) (kg/cm ²)	Keterangan
	Dicor	Dites								
1	6-2-2011	6-3-2011	28	B1-1	silinder	30	15	25000	31,1	T = 2.P/π.l.d
2	6-2-2011	6-3-2011	28	B1-2	silinder	30	15	24900	31	
3	6-2-2011	6-3-2011	28	B1-3	silinder	30	15	17000	23,5	
4	6-2-2011	6-3-2011	28	B1-4	silinder	30	15	20900	28,4	
5	6-2-2011	6-3-2011	28	B1-5	silinder	30	15	21000	29,1	
6	13-3-2011	10-4-2011	28	B2-1	silinder	30	15	26750	37,1	
7	13-3-2011	10-4-2011	28	B2-2	silinder	30	15	25000	34,7	
8	13-3-2011	10-4-2011	28	B2-3	silinder	30	15	27500	38,1	
9	13-3-2011	10-4-2011	28	B2-4	silinder	30	15	27500	38,1	
10	13-3-2011	10-4-2011	28	B2-5	silinder	30	15	23750	32,9	

Ditests oleh : MSN
Diperiksa oleh :

Depok, _____
Kepala Laboratorium,

Dr. Ir. Ely Tjahjono, DEA

