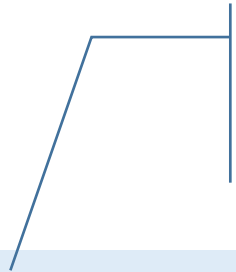


# RETROFIT DAN METODE REHABILITASI STRUKTUR PASKA KEBAKARAN

Oleh: Prof. Dr. Ir. Antonius, MT



Jurusan Teknik Sipil  
Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA)  
Semarang



## Mengapa perilaku bahan dan struktur bangunan paska kebakaran perlu dipelajari?

Pada bangunan gedung yang mengalami kebakaran, Efek kebakaran akan menyebabkan penurunan mutu bahan pada struktur gedung.

Pada bangunan struktur beton , kebakaran akan menyebabkan stabilitas ikatan jel semen pada beton menjadi hilang, pemuaian butiran kerikil (agregat), lepasnya ikatan semen dan pemuaian pada butiran, hal ini akan menyebabkan penurunan stabilitas kesatuan beton itu sendiri, sehingga kuat beton menurun.

bila struktur beton bertulang mendapat pemanasan (kebakaran) pada bagian permukaan, maka resiko pemanasan akan berdampak juga pada tulangan baja. Keadaan ini terjadi akibat proses perambatan panas pada saat berlangsungnya proses kebakaran.

Kebakaran juga dapat berpengaruh pada degedrasi kekuatan lekatan antara baja tulangan dan beton.

Penurunan kekuatan bangunan akibat kebakaran akan berpengaruh pada kemampuan layan struktur bangunan gedung tersebut, yang dapat berakibat pada perubahan fungsi strktur bangunan.

## Pasar Bitingan – Kudus, 2007



Beton mengelupas (Spalling)

Baja melengkung



## Pasar Kliwon – Kudus, 2010



Beton  
mengelupas  
(Spalling)



# Pasar Kliwon – Kudus, 2010

Beton  
mengelupas  
(Spalling)



Beton  
mengelupas  
(Spalling)



# Pasar Johar – Semarang, 2015

Beton  
mengelupas  
(Spalling)



Baja leleh dan  
melengkung



## Pasar Johar – Semarang, 2015

Beton mengelupas  
(Spalling) dan  
menghitam

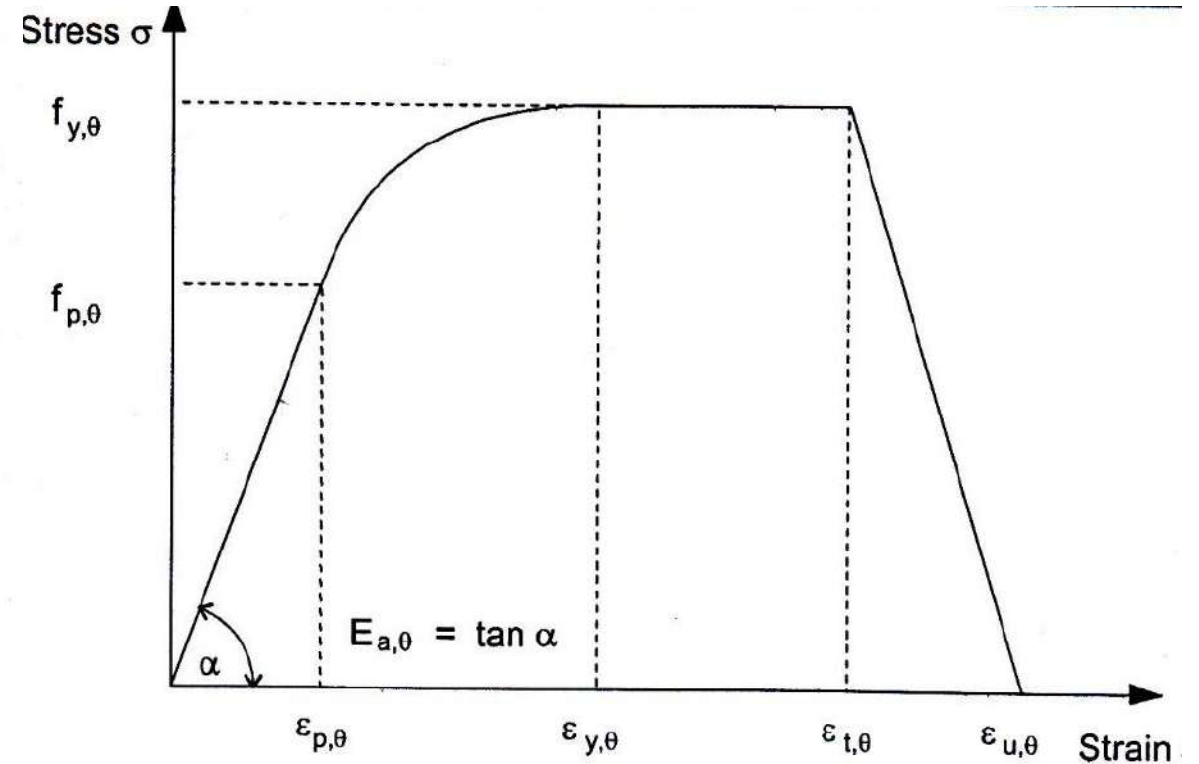
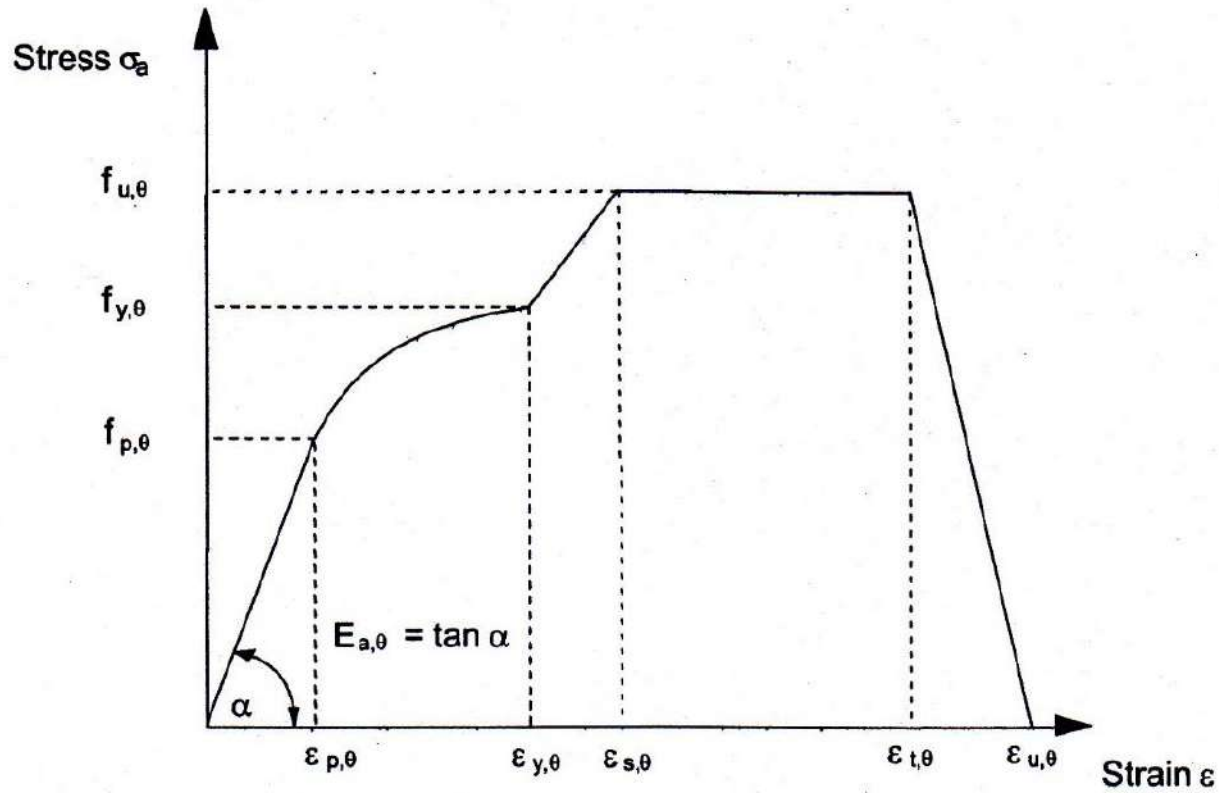


Beton  
mengelupas  
(Spalling)



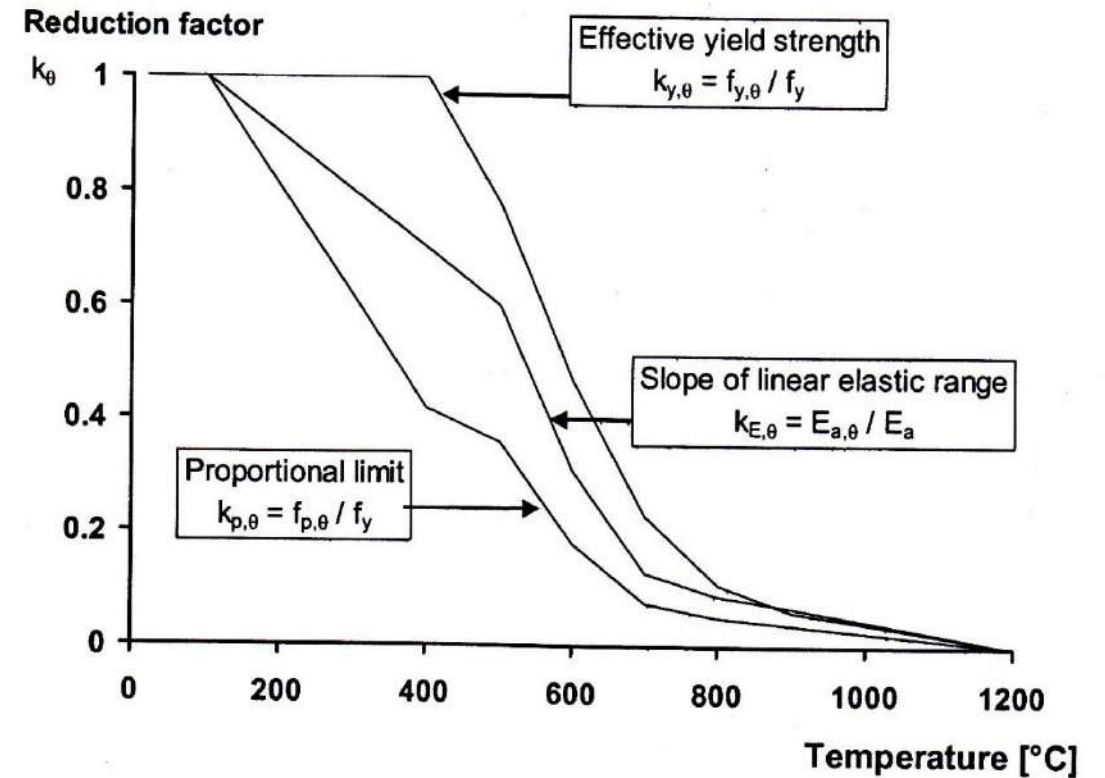
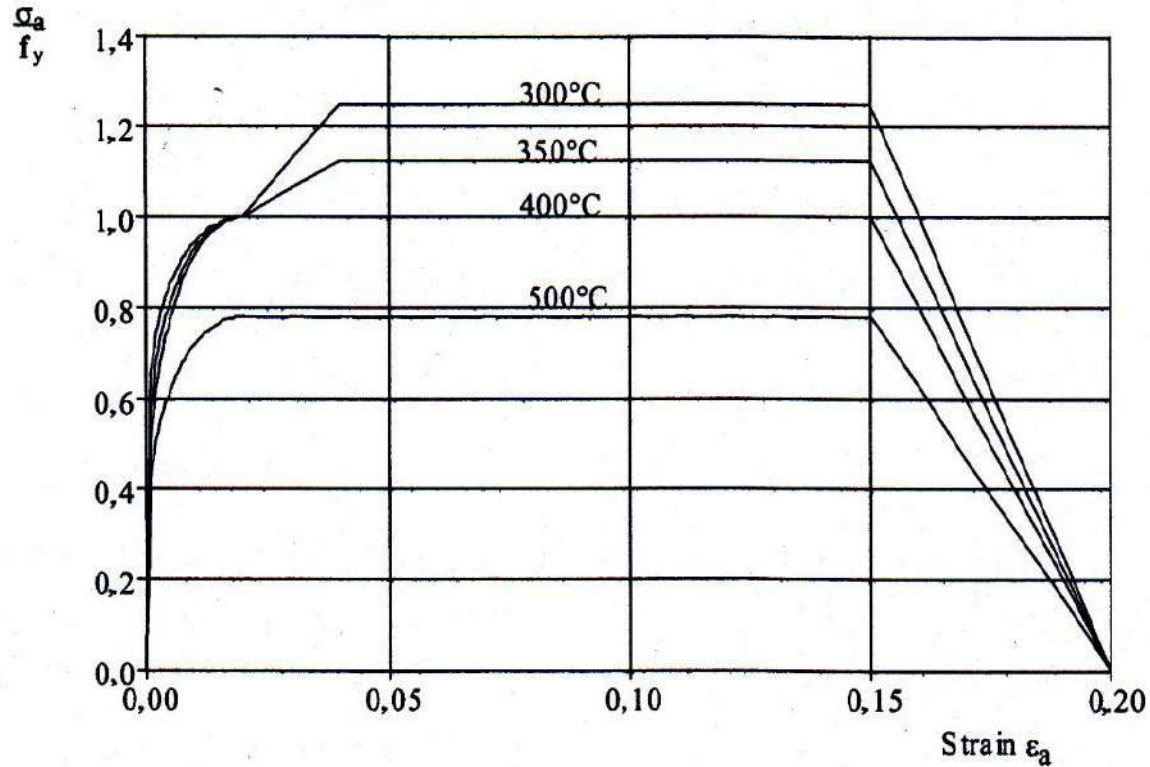
# SIFAT-SIFAT BAJA

## Perilaku Tegangan-Regangan





## Sifat mekanis baja pada berbagai suhu



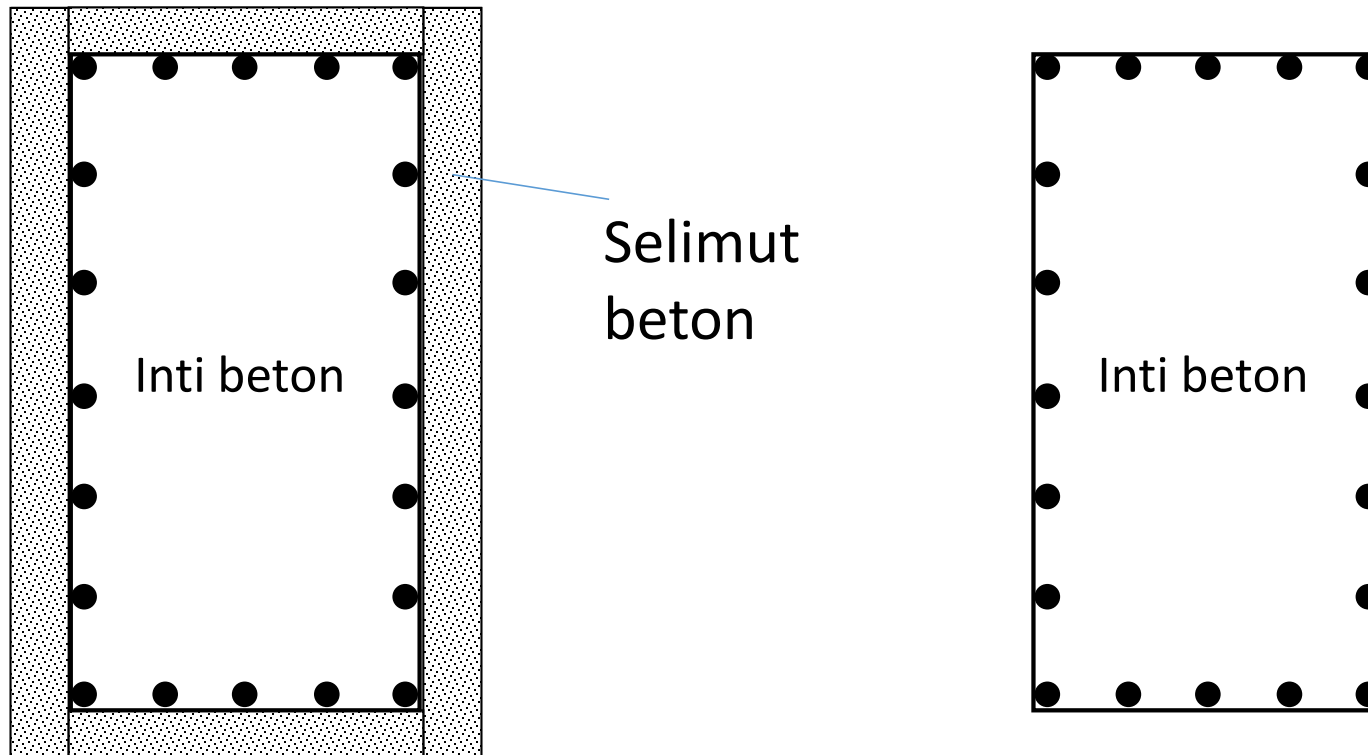
## Sifat Beton untuk Berbagai Temperatur

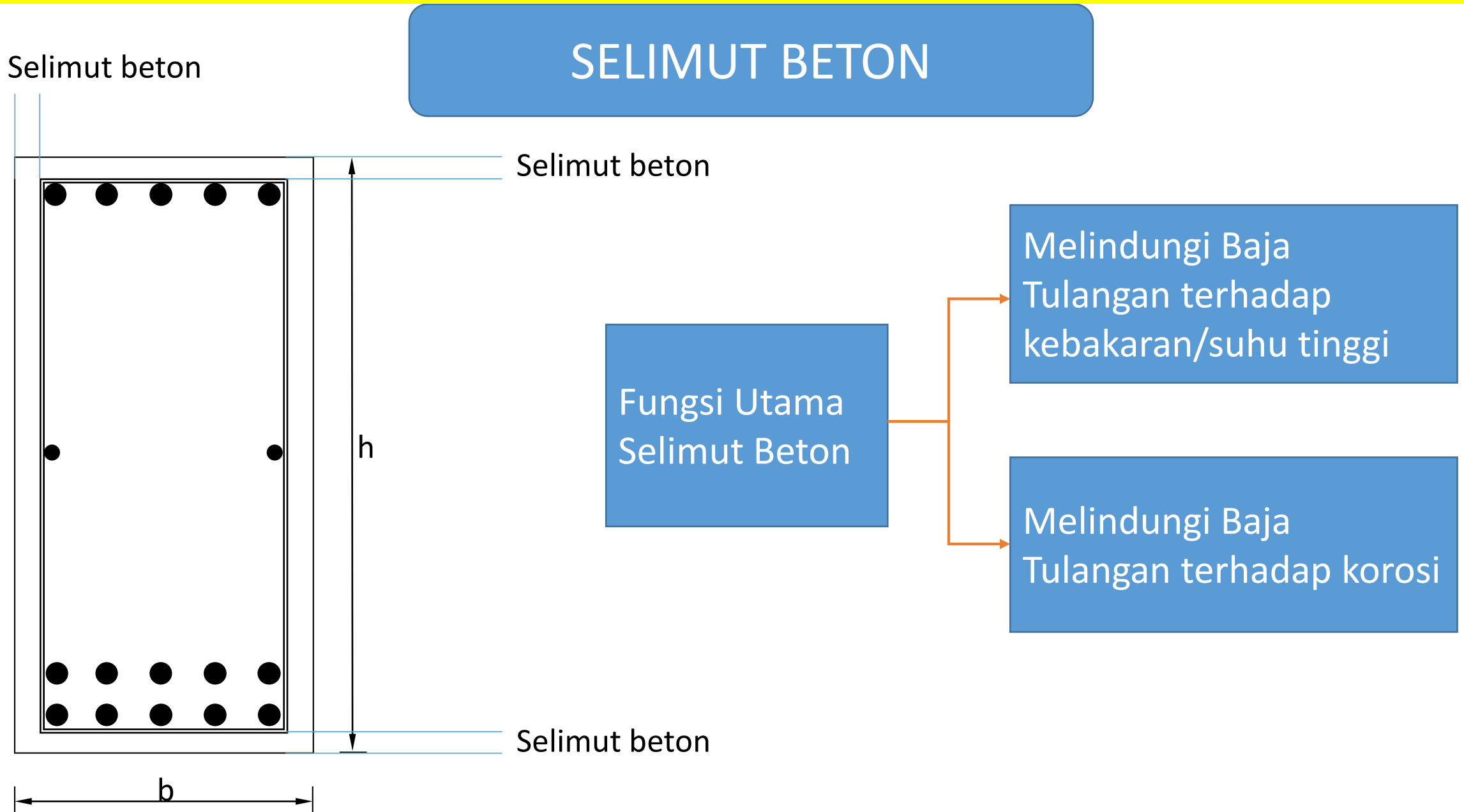
Temperatur	Kekuatan Beton	Kekakuan Beton
28°C (suhu ruang)	100%	100%
200°C	95%	90%
400°C	60%	55%
600°C	20%	35%

## Estimasi Suhu yang Dialami dari Pengamatan Warna

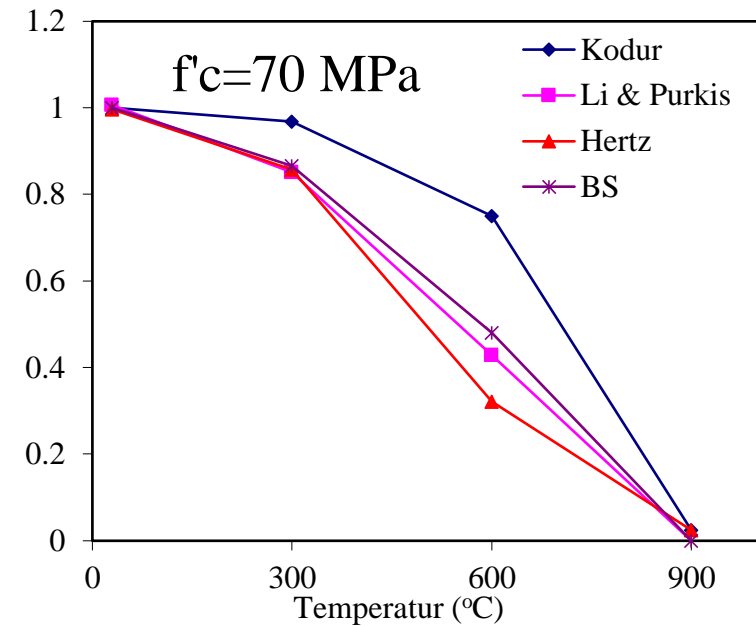
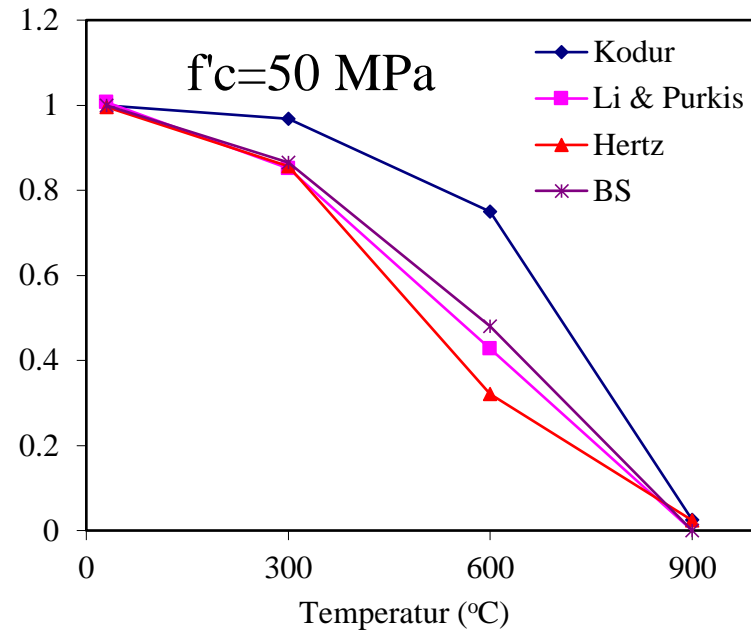
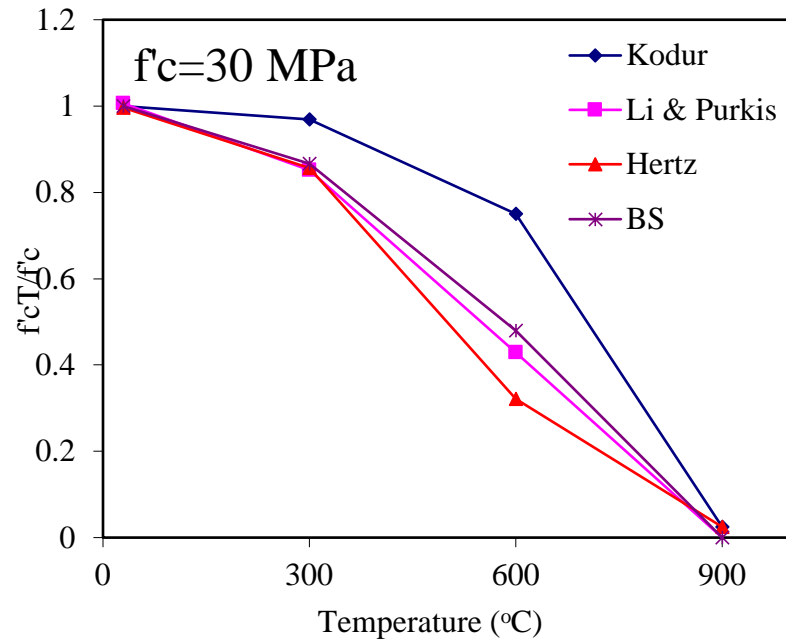
Temperatur	Kondisi	Warna Beton
0°C	Normal	Normal
400°C	Sedikit retak rambut	Coklat muda
600°C	Retak rambut	Merah-coklat
800°C	Retak besar	Putih keabu-abuan
1000°C	Spalling (mengelupas)	Putih kecoklatan

## Penampang Beton

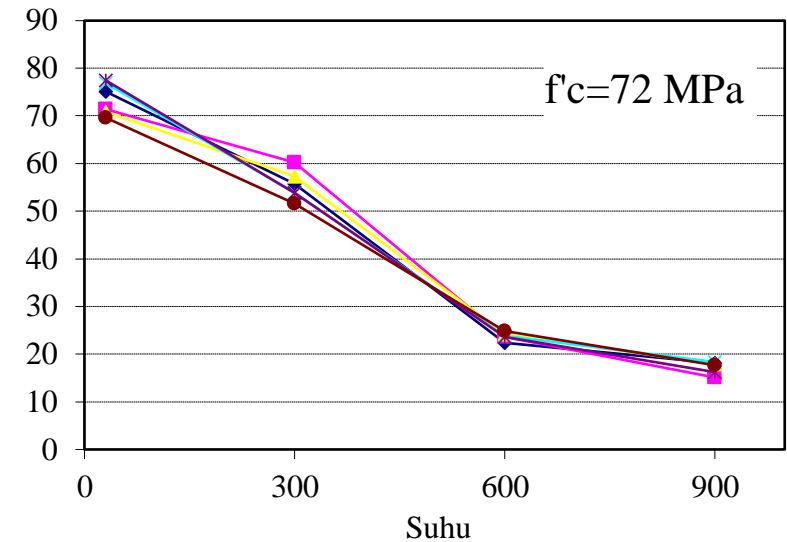
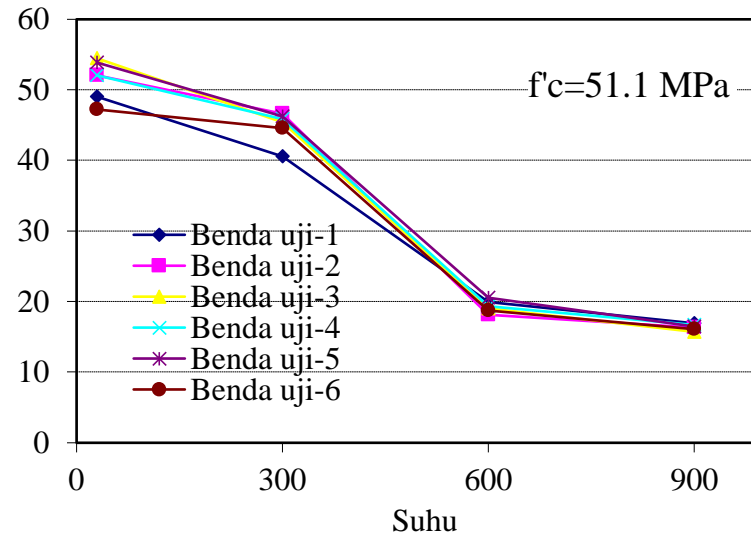
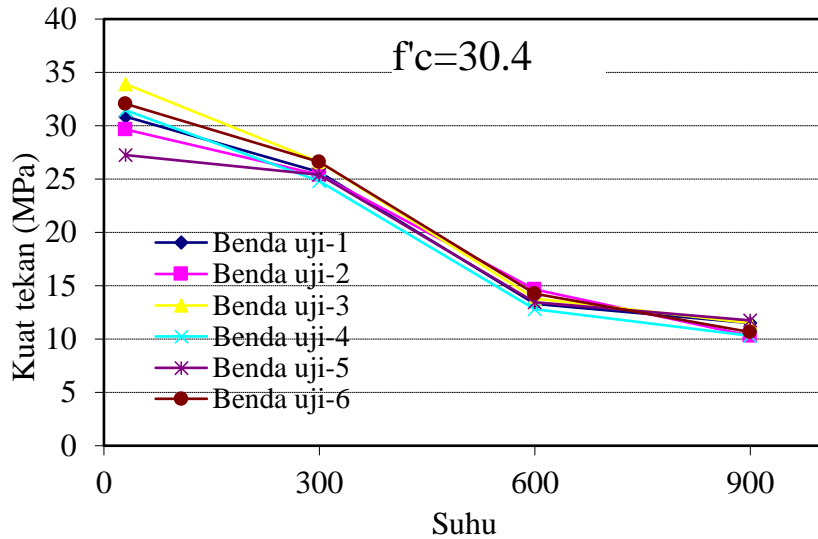




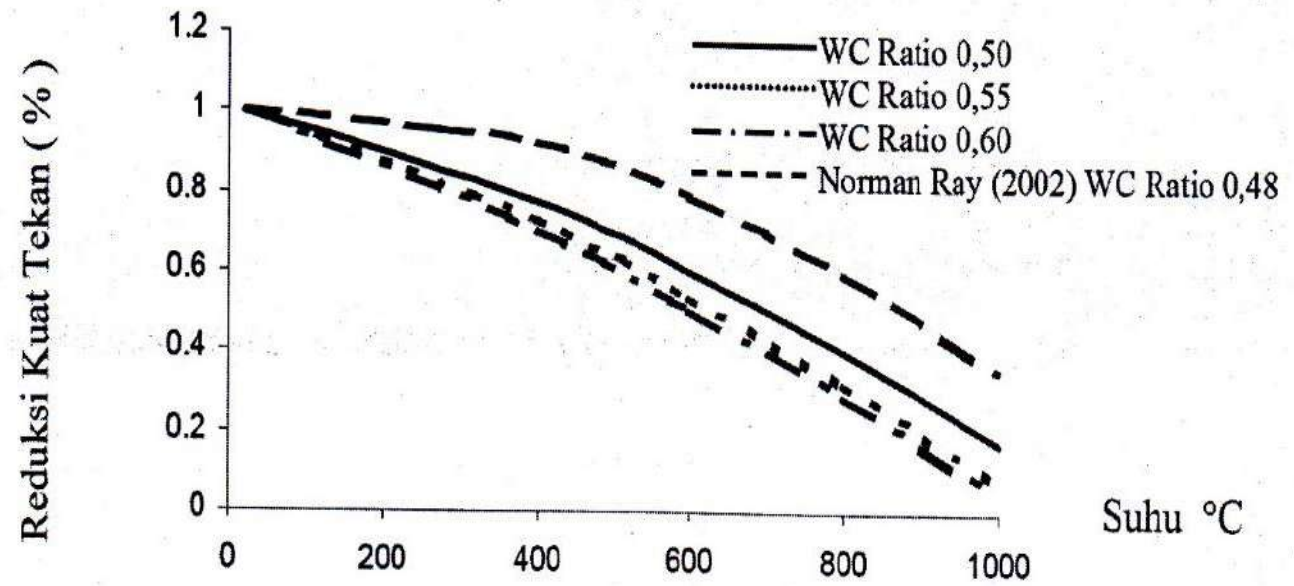
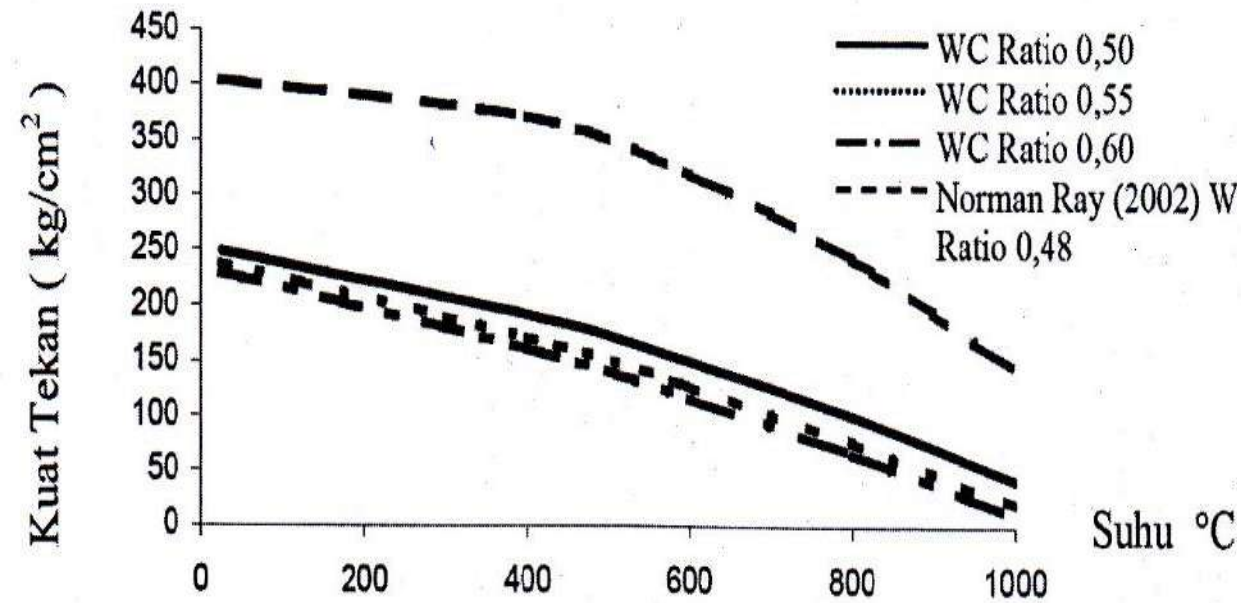
## Hubungan kuat tekan beton terhadap suhu



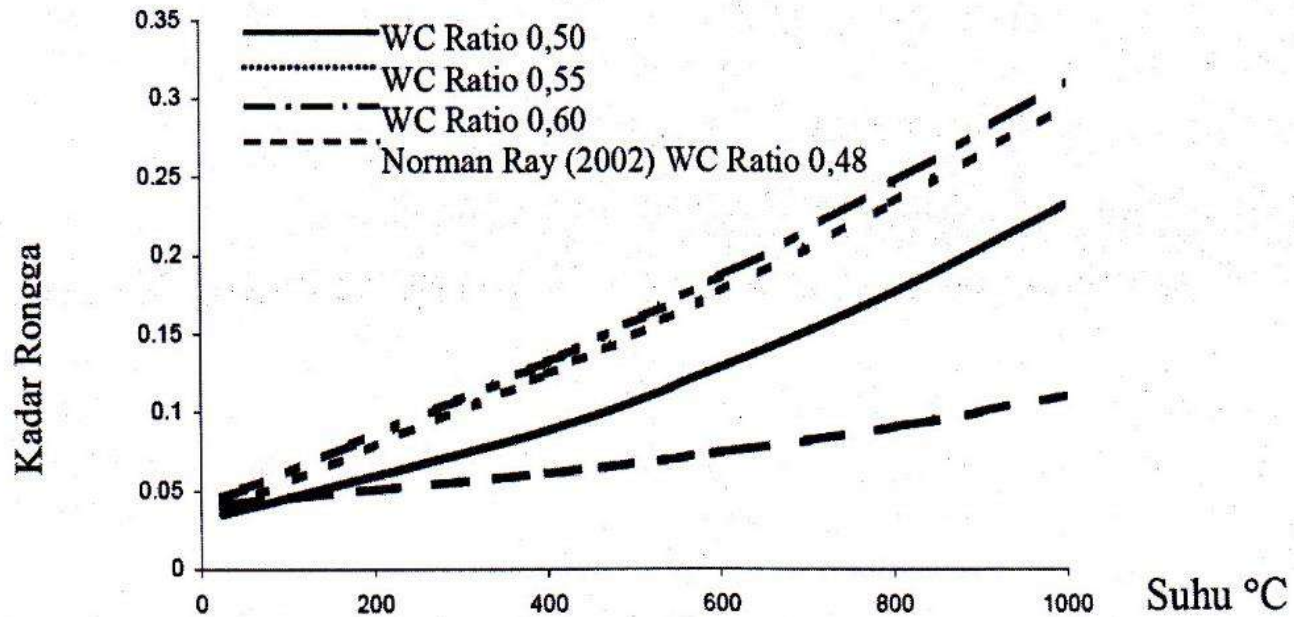
# Hubungan kuat tekan beton berserat kawat baja terhadap suhu [Antonius dkk., 2014]



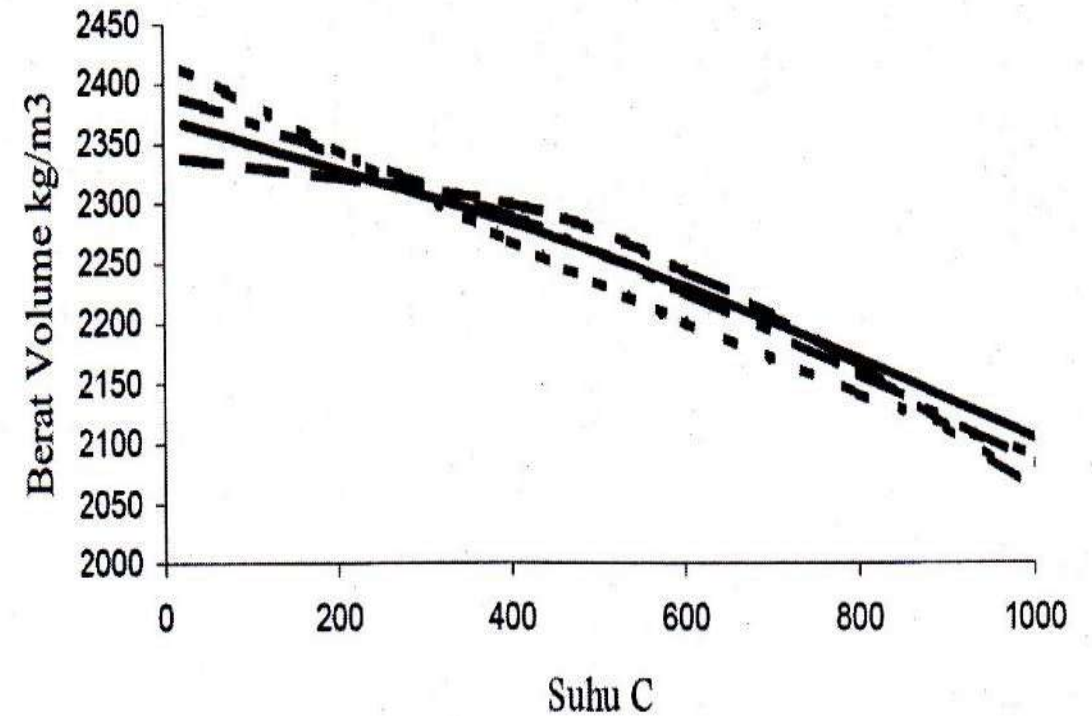
## Pengaruh w/c ratio terhadap kuat tekan beton pada berbagai suhu




## Pengaruh w/c ratio terhadap porositas beton pada berbagai suhu



## Berat volume beton pada berbagai suhu







Tebal selimut  
beton untuk  
Beton Bertulang  
SNI 2847

	Tebal selimut minimum (mm)
a) Beton yang dicor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah	75
b) Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca:	
Batang D-19 sampai batang D-56	50
Batang D-16, jarring kawat polos P16 atau ulir D16 dan yang lebih kecil	40
c) Beton yang tidak langsung berhubungan dengan cuaca atau beton tidak langsung berhubungan dengan tanah:	
<u>Pelat, dinding, pelat berusuk:</u>	
Batang D-44 dan batang D-56	40
Batang D-36 dan batng yang lebih kecil	20
<u>Balok, kolom</u>	
Tulangan utama, pengikat, sengkang, lilitan spiral	40
<u>Komponen struktur Cangkang, Plat lipat</u>	
Batang D-19 dan batang yang lebih besar	20
Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau kawat ulir D16 dan yang lebih kecil	15

Tebal selimut  
beton untuk  
Beton Pracetak  
SNI 2847

	Tebal selimut minimum (mm)
a) Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca	
<u>Panel Dinding:</u>	
Batang D-44 dan batang D-56	40
Batang D-36 dan batang yang lebih kecil	20
<u>Komponen struktur lainnya:</u>	
Batang D-44 dan batang D-56	50
Batang D-19 sampai batang D-36	40
Batang D-16, jarring kawat polos P16 atau ulir D16 dan yang lebih kecil	30
b) Beton yang tidak langsung berhubungan dengan cuaca atau tanah	
Pelat, dinding, pelat berusuk:	
Batang D-44 dan batang D-56	30
Batang D-36 dan batng yang lebih kecil	15
<u>Balok, kolom</u>	
Tulangan utama	a
Sengkang pengikat, sengkang, lilitan spiral	10
<u>Komponen Cangkang, Plat lipat</u>	
Batang D-19 dan batang yang lebih besar	15
Batang D-16, jarring kawat polos P16 atau kawat ulir D16 dan yang lebih kecil	10

<sup>a</sup>  $d_b$  (tetapi tidak kurang dari 15 dan tidak perlu lebih dari 40 mm)

Tebal selimut  
beton untuk  
Beton Prategang  
SNI 2847

	Tebal selimut minimum (mm)
a) Beton yang berhubungan dengan tanah dan selalu berhubungan dengan tanah	75
b) Beton yang berhubungan dengan tanah atau berhubungan dengan cuaca:	
- Dinding panel, slab, balok berusuk	25
- Komponen struktur lain	40
c) Beton yang tidak langsung berhubungan dengan tanah atau tidak langsung berhubungan dengan cuaca:	
- Plat, dinding, plat berusuk	20
Balok, Kolom:	
Tulangan utama	40
Sengkang pengikat, sengkang, lilitan spiral	25
Komponen struktur cangkang, plat lipat:	
Batang D-16, jarring kawat polos P16 atau ulir D16 dan yang lebih kecil	10
Tulangan lainnya	b

<sup>b</sup>  $d_b$  (tetapi tidak kurang dari 20 mm)

# PERKUATAN STRUKTUR

## KONDISI EKSTING





## Strengthening Techniques

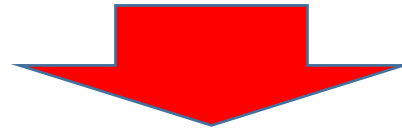




## Strengthening Techniques

## Flexural Upgrade

# ACI440/RSNI FRP



(ACI 440.1R-15):

Guide for the design and construction of structural concrete reinforced with fiber-reinforced polymer (FRP) bars

**Karakteristik FRP, sifat mekanis, kuat Tarik, tekan, geser, lekatan. Perilaku time-dependent, rangkai, fatik, durabilitas. Desain terhadap lentur, geser, kemampuan layan, sambungan dan contoh desain. Total 11 bab.**

(ACI 440.2R-17) :

Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures

**Sistem FRP, material, sifat mekanik, thermal, cara penanganan dan penerapan. Desain lentur, geser, filosofi, pola keruntuhan. Perancangan beton prategang. Metode lilitan, komponen tekan (kolom), confinement, perkuatan seismic. Kekangan dengan FRP, perkuatan dinding geser, detailing, contoh desain. Total 16 bab.**

(ACI 440.3R-12):

Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Composites for Reinforcing or Strengthening Concrete and Masonry Structures **Metode uji, sifat penampang, Tarik, lekat, geser, bengkok. Peralatan uji dan persyaratan. Total 3 bab.**

(ACI 440.4R-04) :

Prestressing Concrete Structures with FRP Tendons

Tendon FRP, metode pengangkutan. Desain lentur, geser, kemampuan layan, lekatan. Tendon tidak terlekat, prategang eksternal. Total 10 bab.

(ACI 440.5M-08) :

Specification for Construction with Fiber-Reinforced Polymer Reinforcing Bars /  
Spesifikasi, standar penerimaan, pengiriman material, penyimpanan, penanganan, produksi, fabrikasi, eksekusi. Total 3 bab.

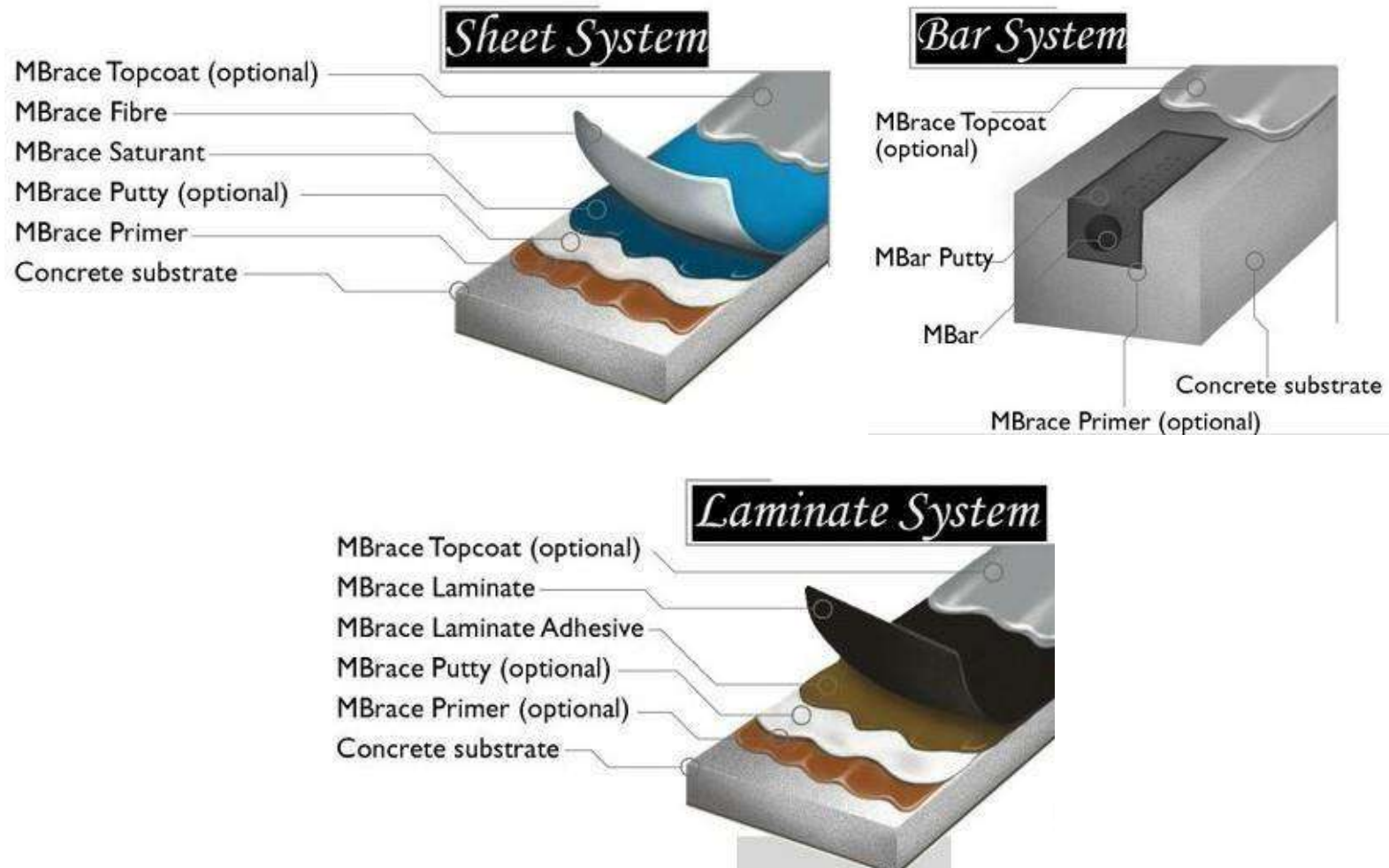
(ACI 440.6M-08):

Specification for carbon and glass fiber-reinforced polymer bar materials for concrete reinforcement

Sifat mekanis, durabilitas. Sampling material, kriteria penolakan, sertifikasi produk, penandaan.



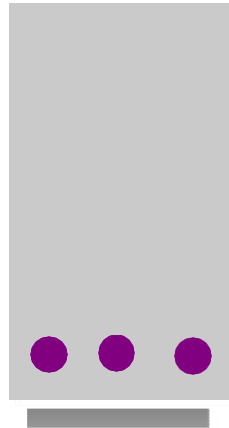
# FRP Strengthening System



# FRP vs.

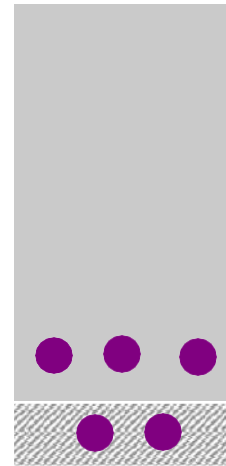
## Conventional Upgrade

Simply supported beam; 35% upgrade in live load



Bonded Steel Plate

- ◆ 0.5 cm bolted plate
- ◆ 110 kg dead load
- ◆ Placed by lift truck



Member Enlargement

- ◆ 2 #20 rebar, 10 cm grout
- ◆ 1,125 kg dead load
- ◆ Formed and cured



FRP Sheet

- ◆ 1 layer resin bonded
- ◆ 2.7 kg dead load
- ◆ Placed by hand

# Perbandingan metode perkuatan



**Steel-plate Bonding**



**Jacketing**



**FRP System**

# Characteristics of FRP

- Increases flexural capacity of flexural elements
- Increases shear capacity of beams, columns and walls
- Increases vertical load-bearing capacity of columns
- Increases ductility under cyclic loadings
- Increases seismic resistance
- Resistance against corrosion
- Resistance to crack propagation
- Resistance to bomb blast

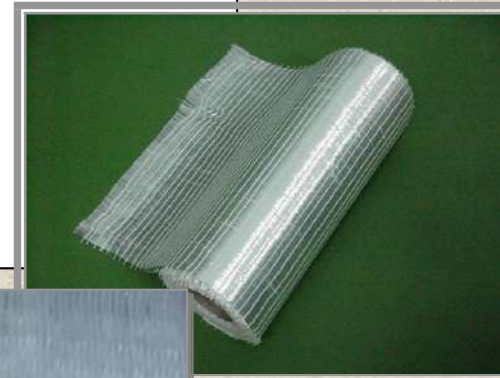
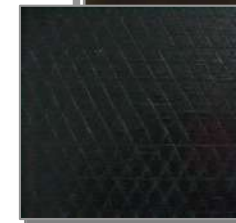


# Advantages of FRP

- High Strength-to-Weight Ratio
- Easy to install and non-destructive
- Low labour and less downtime
- Does not require heavy and special equipment
- Can be used in space-constrained areas
- Flexible and able to adapt to various shapes
- No off-setting from original alignment
- Durable, non-corrosive and able to resist corrosion
- No maintenance



***Carbon Fibre***



***E-Glass Fibre***



## Massa jenis material FRP, g/cm<sup>3</sup>

RSNI2: Panduan perancangan dan pelaksanaan sistem lembaran serat berpolimer terlekat eksternal untuk perkuatan struktur beton

Pasal 4.2.1:

Baja	Gelas (GFRP)	Karbon (CFRP)	Aramid (AFRP)
7,85	1,2 s/d 2,1	1,5 s/d 1,6	1,2 s/d 1,5



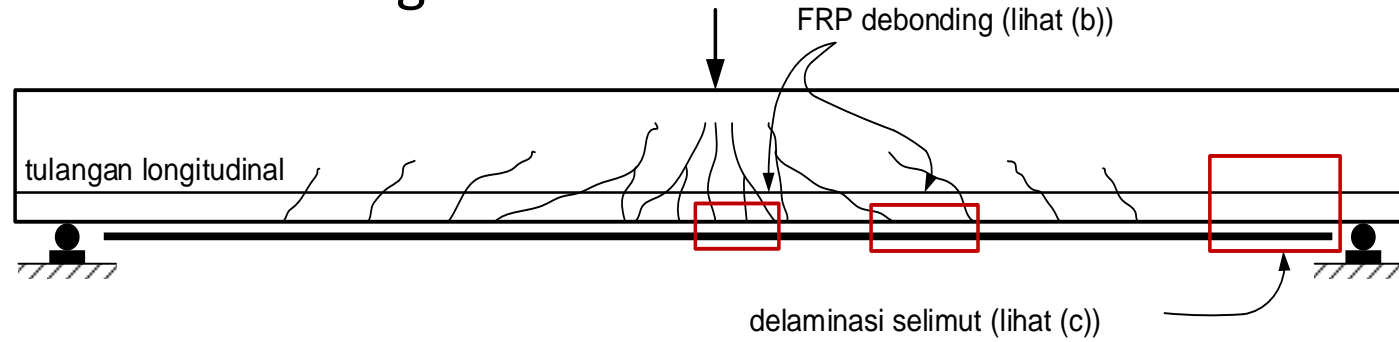
Material FRP memiliki **massa jenis** masa jenis yang berkisar antara 1,2 hingga 2,1 g/cm<sup>3</sup>, empat hingga enam kali lebih rendah daripada baja

# POLA KERUNTUHAN

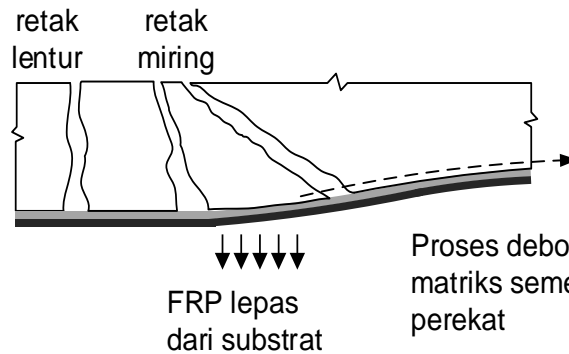
RSNI2: Panduan perancangan dan pelaksanaan sistem lembaran serat berpolimer terlekak eksternal untuk perkuatan struktur beton

Pasal 10.1.1:

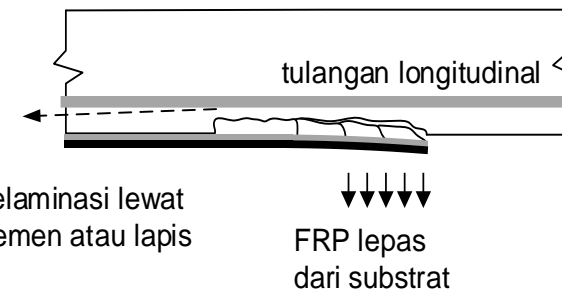
## Proses debonding dan delaminasi sistem FRP eksternal



(a) Perilaku batang lentur dengan tulangan ikatan pada soffit

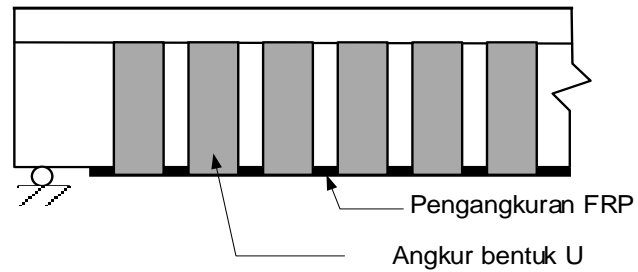


(b) Debonding yang diinisiasi oleh retak lentur atau geser

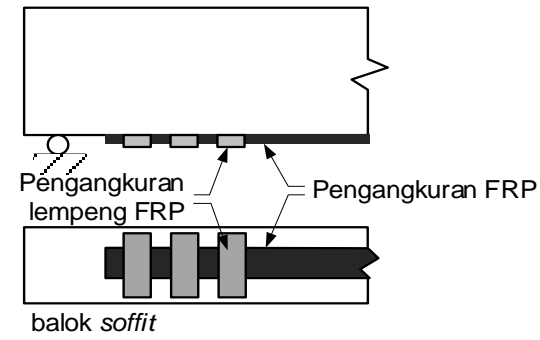


(c) Delaminasi yang diinisiasi oleh lekukan tulangan FRP

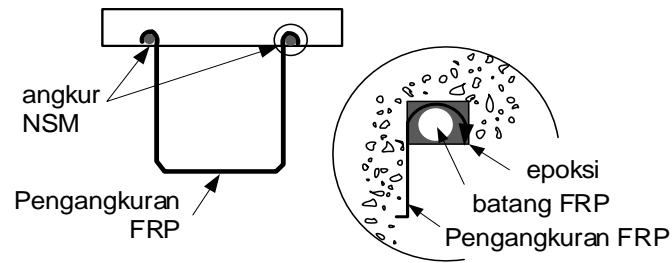
## Sistem angkur FRP



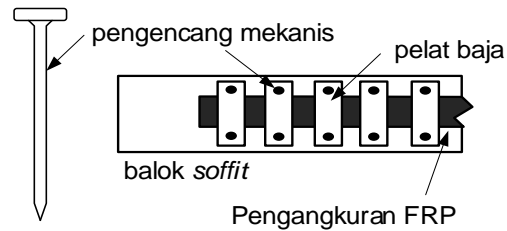
(a) U-wrap



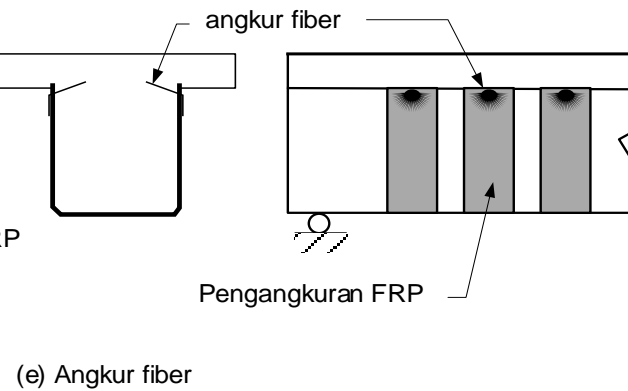
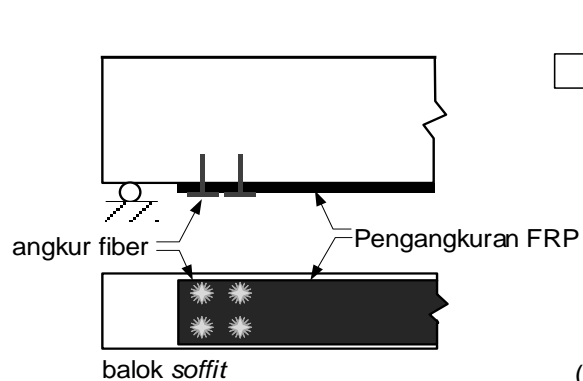
(b) Lempengan FRP



(c) Angkur NSM



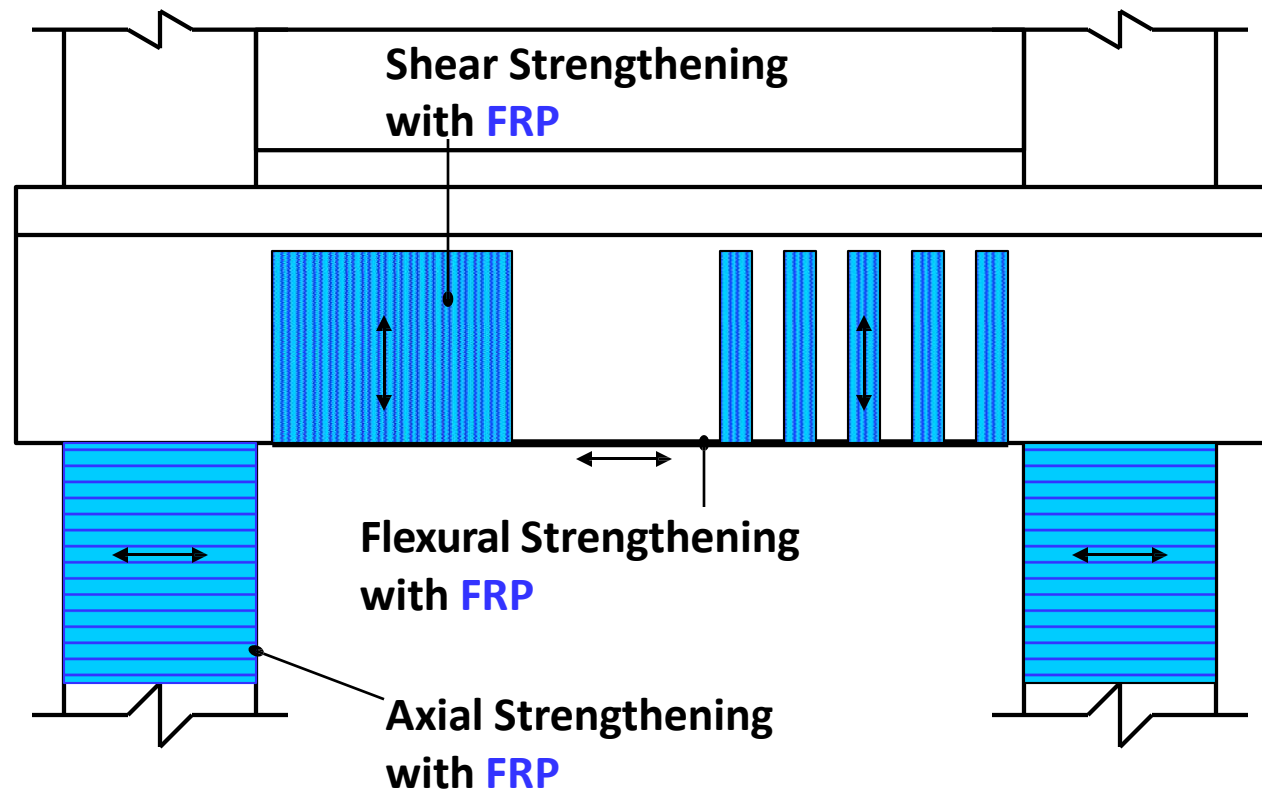
(d) Pengencang mekanis



(e) Angkur fiber



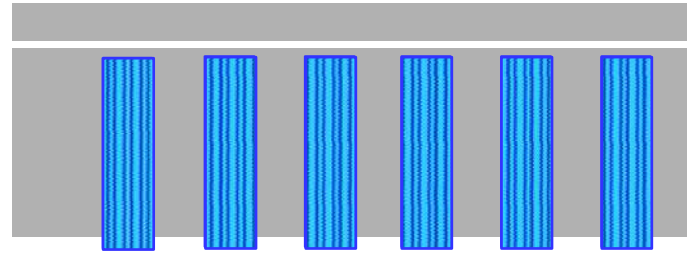
# Typical FRP Detailing



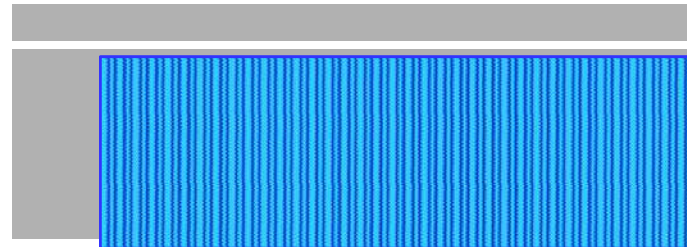
# Shear Strengthening Design

- Shear Detailing - Various Configurations

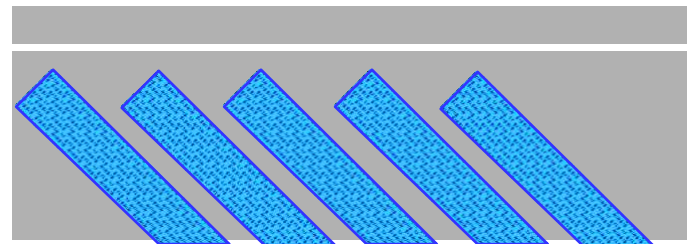
– **Strips**



– **Continuous**

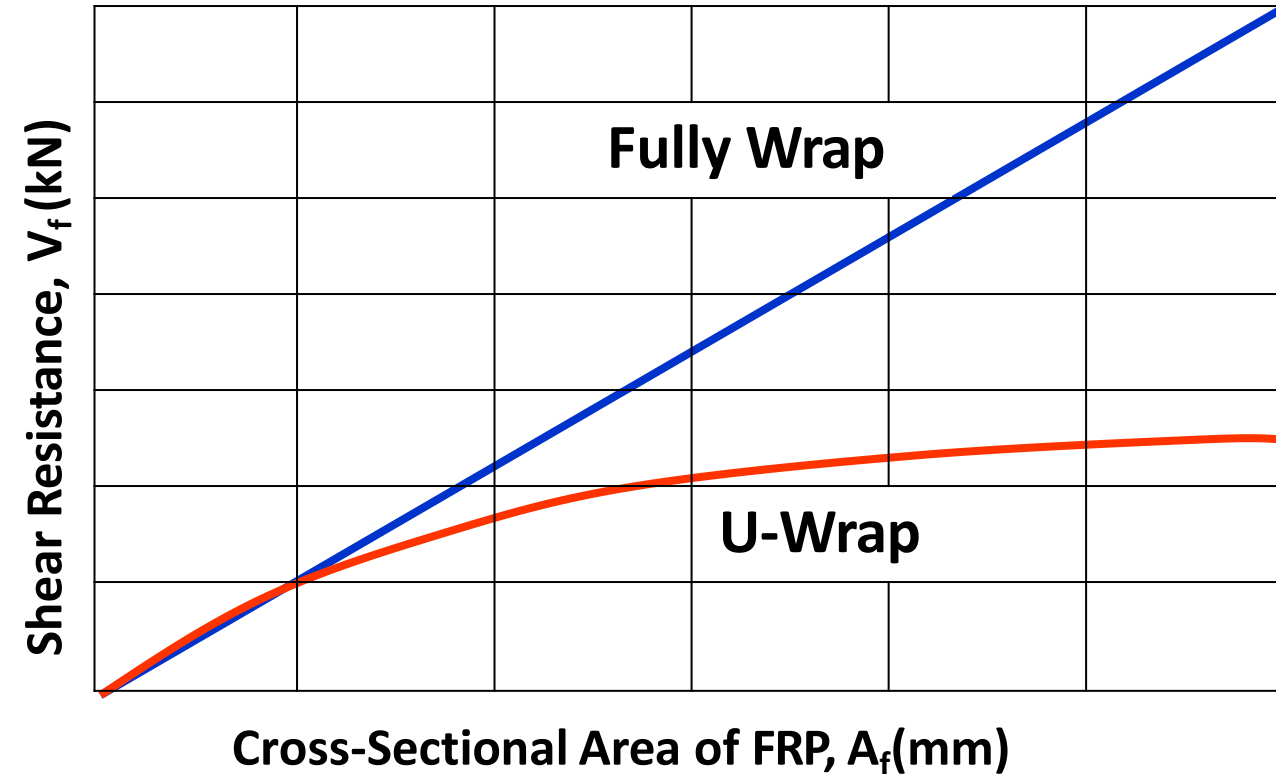
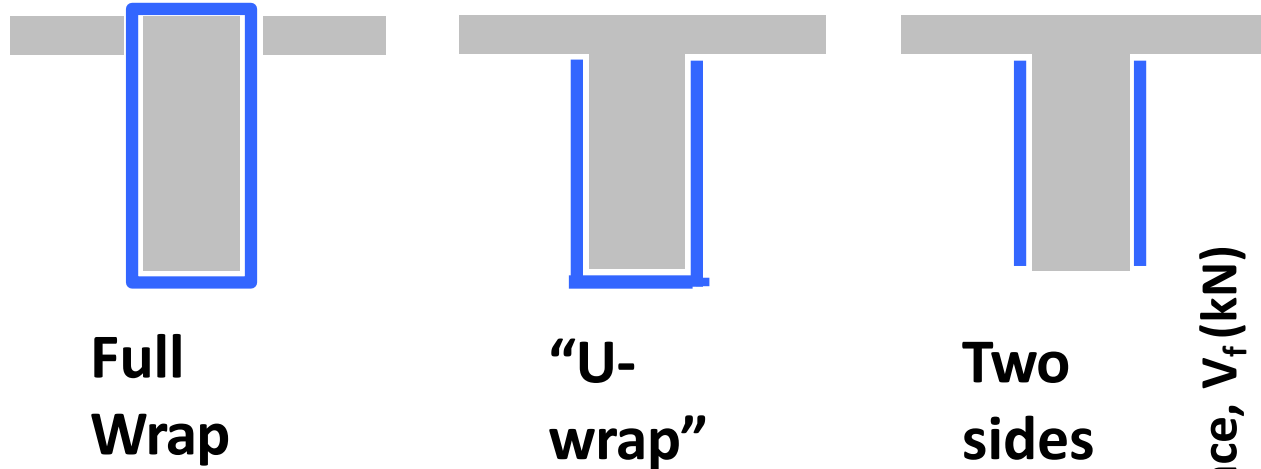


– **Inclined**



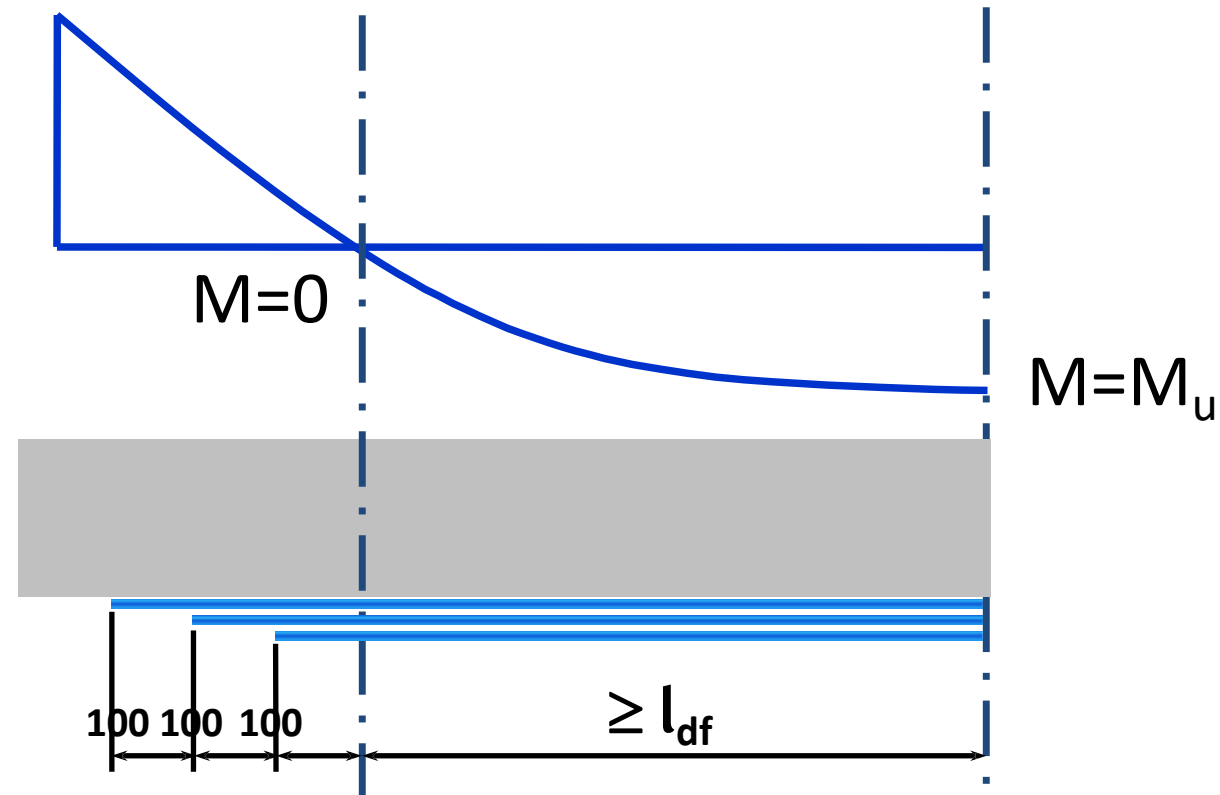
# Standard Detailing of FRP

- Shear Detailing - Wrapping Schemes



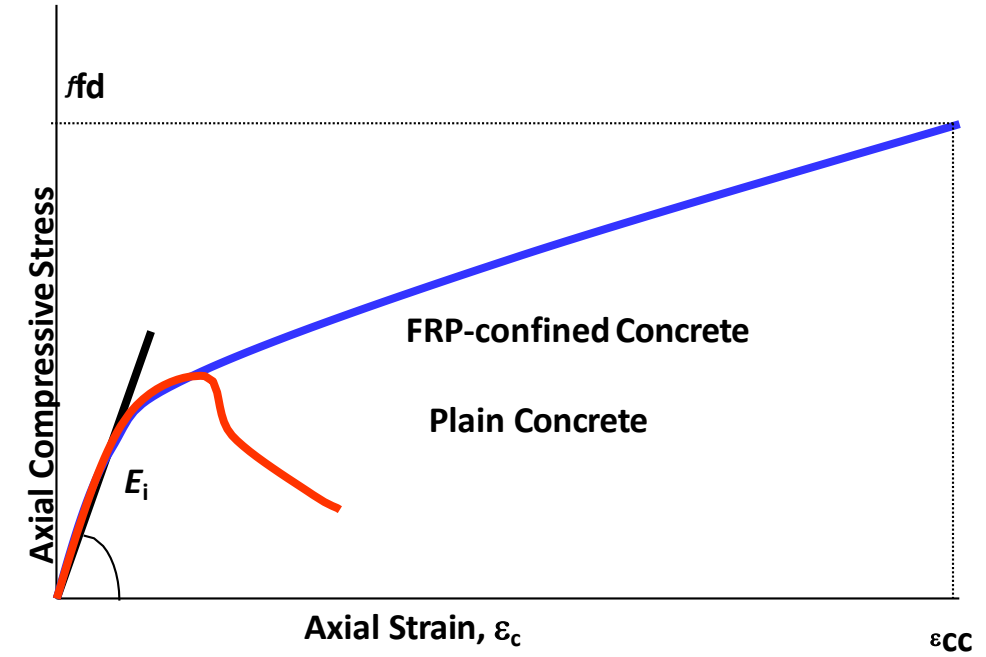
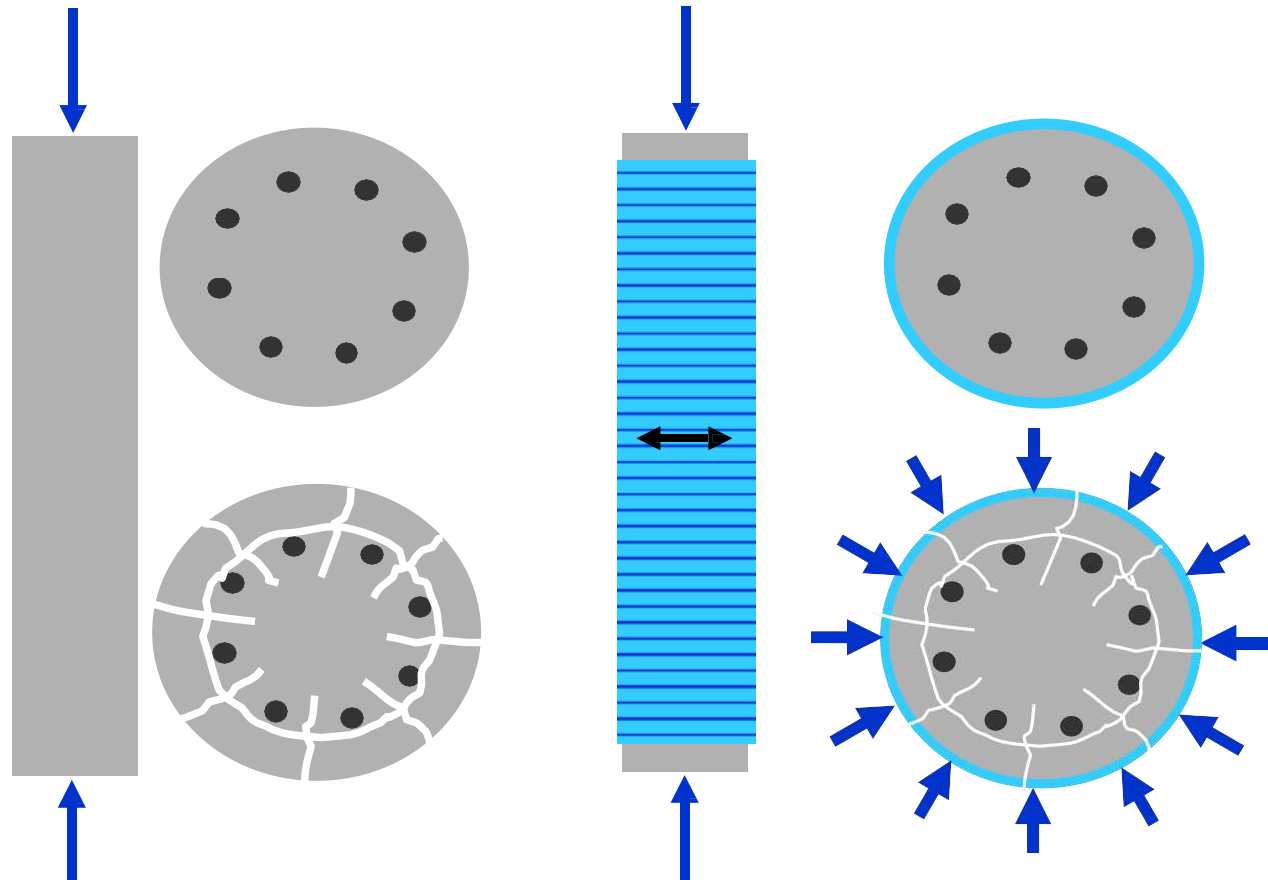
# Standard Detailing of FRP

- Flexure Detailing - Cutoff Points



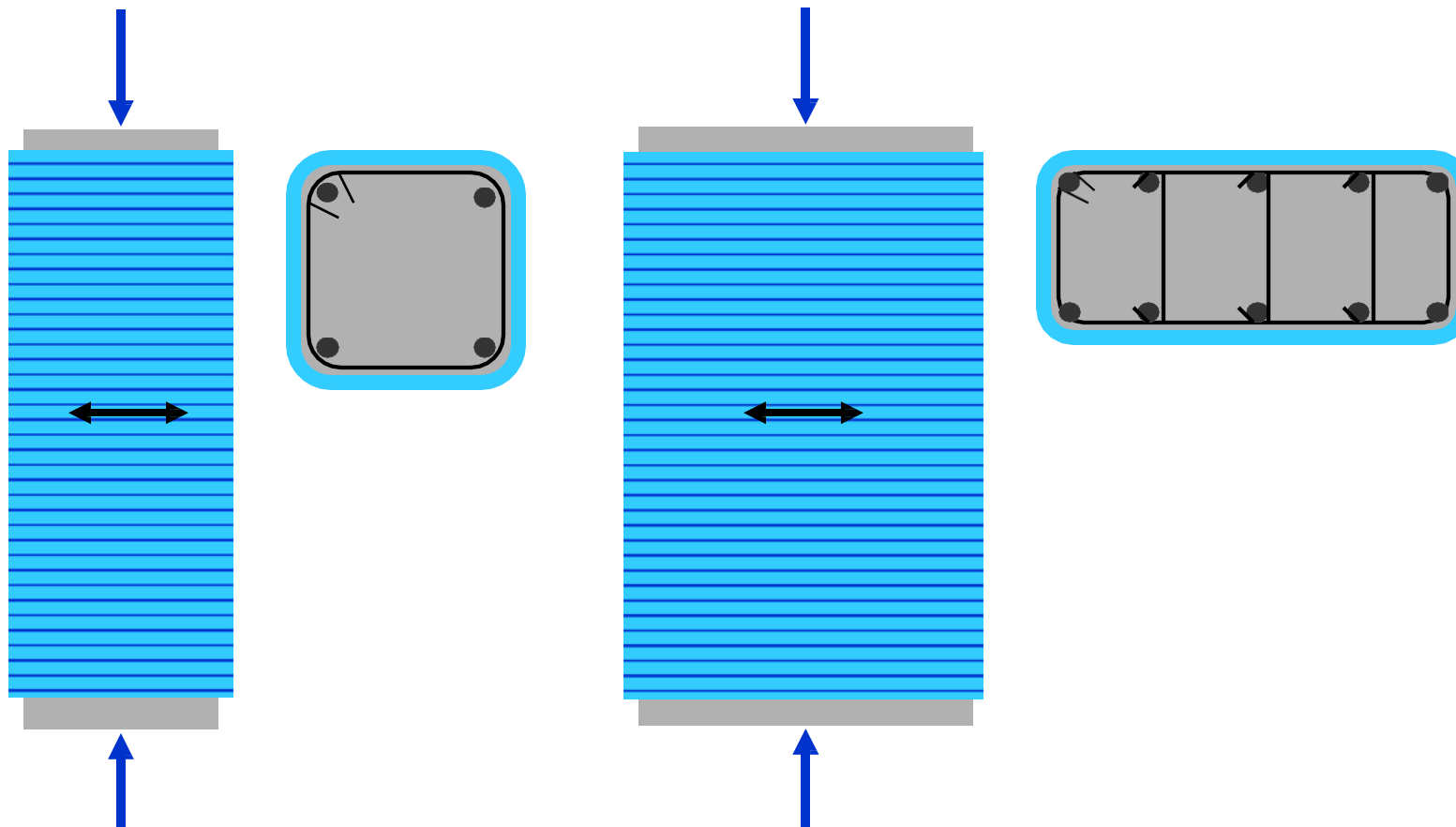
# Standard Detailing of FRP

- Confinement Detailing - Circular Column



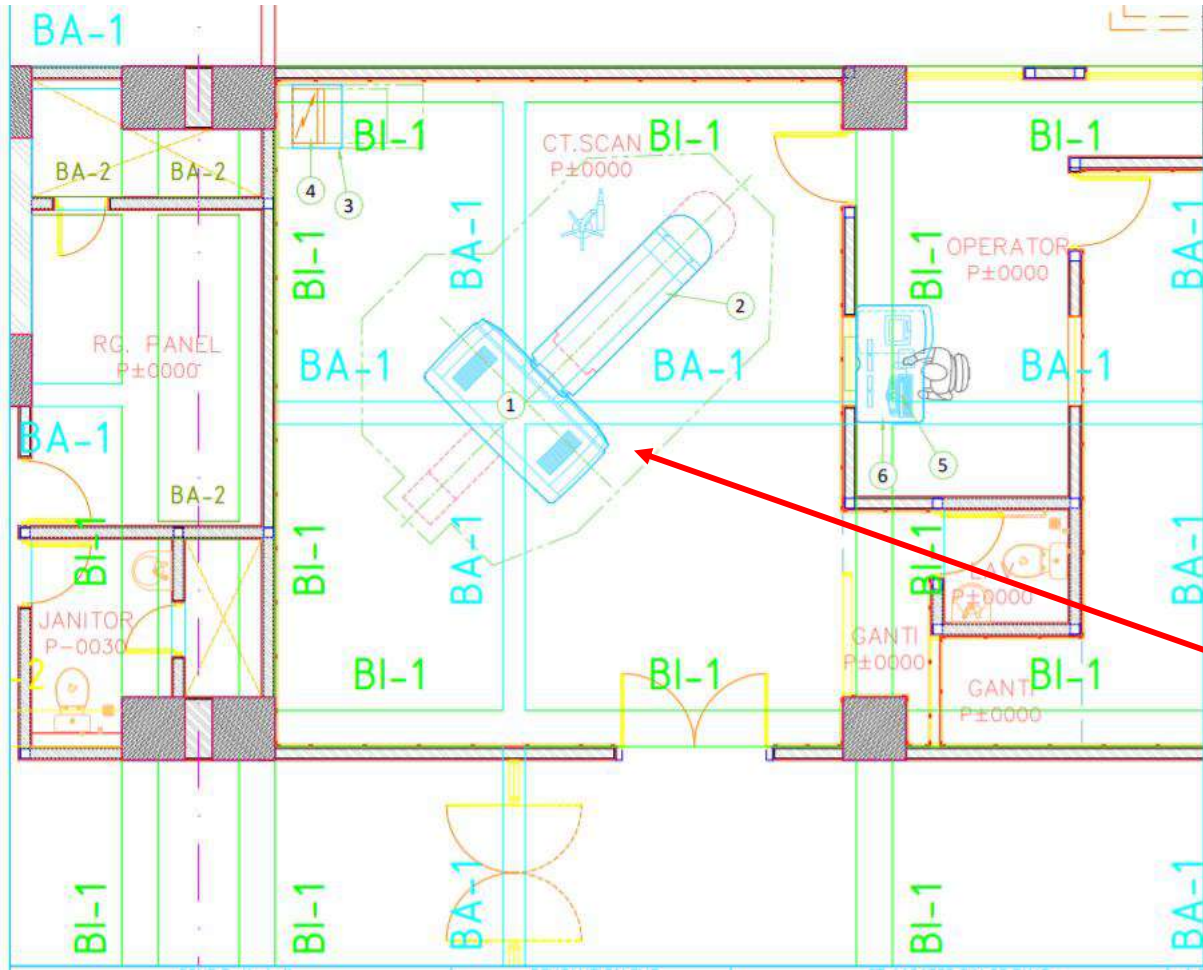
# Standard Detailing of FRP

- Confinement Detailing - Square & Rectangular Column





# RETROFIT STRUKTUR

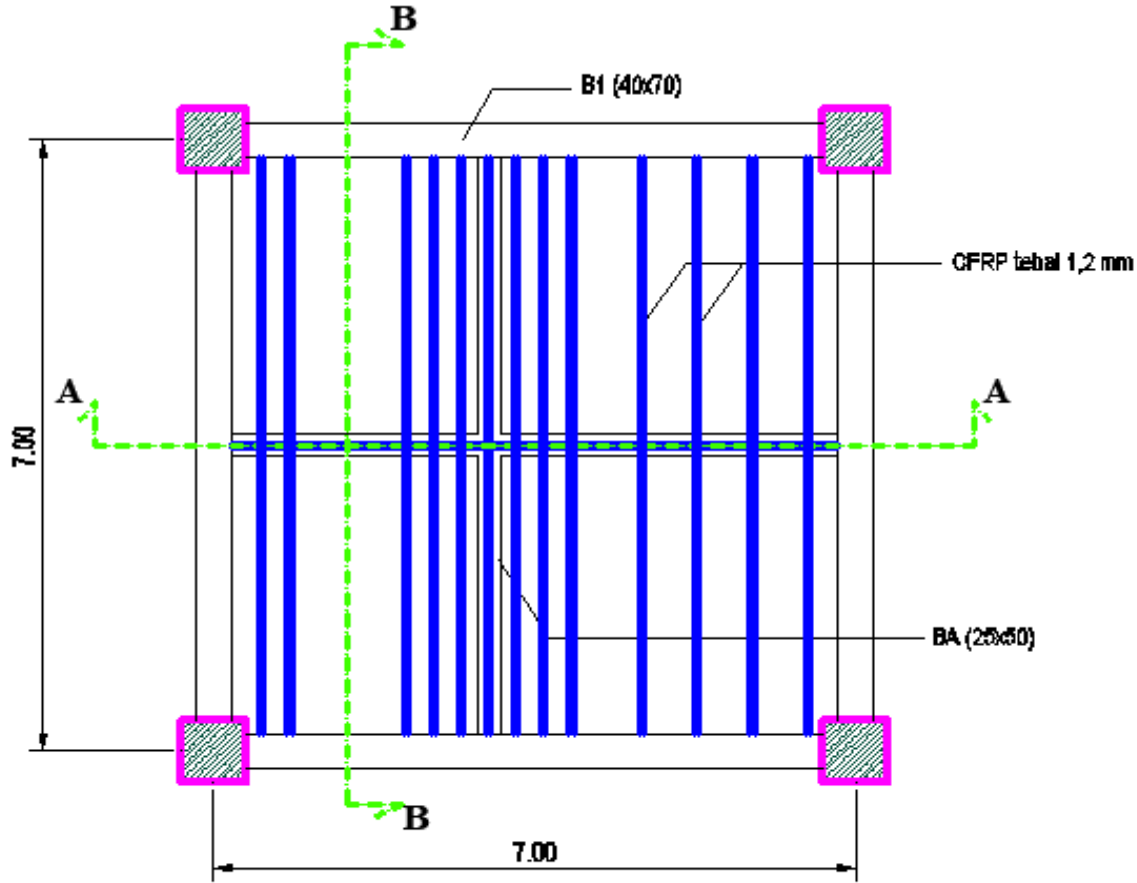


STRUKTUR DI BAWAHNYA

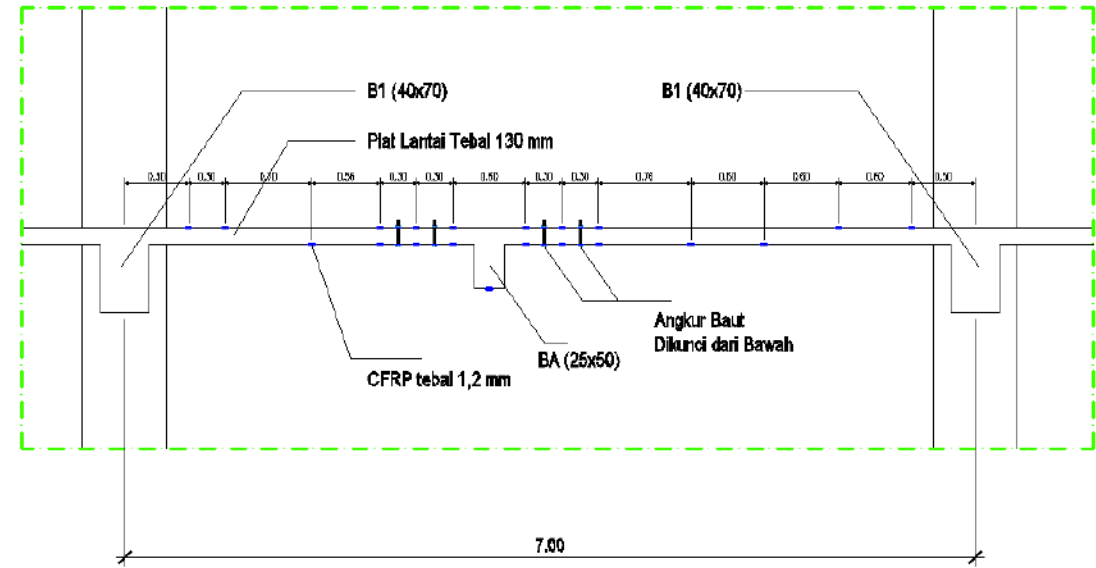
ALAT CT SCAN

DIMENSIONS OF DELIVERY WITH DOLLY TRANSPORT EQUIPMENT				
GANTRY	LENGTH	2810 mm [110.6 in]	2050 kg	4520 lbs
	WIDTH	1290 mm [50.8 in]		
	HEIGHT	2000 mm [78.7 in]		
VT1700 TABLE	LENGTH	2489 mm [98 in]	576 kg	1270 lbs
	WIDTH	762 mm [30 in]		
	HEIGHT	1143 mm [45 in]		

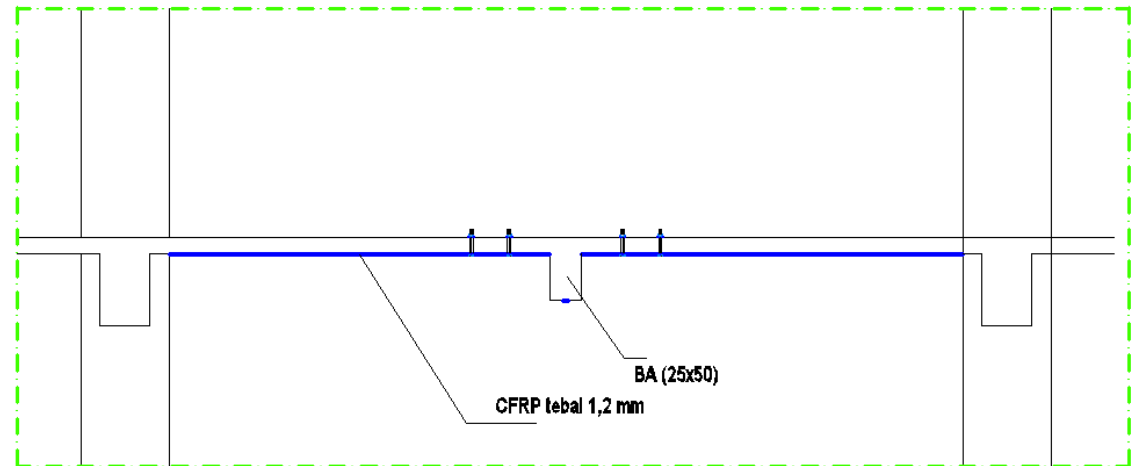




DENAH PERKUATAN CFRP



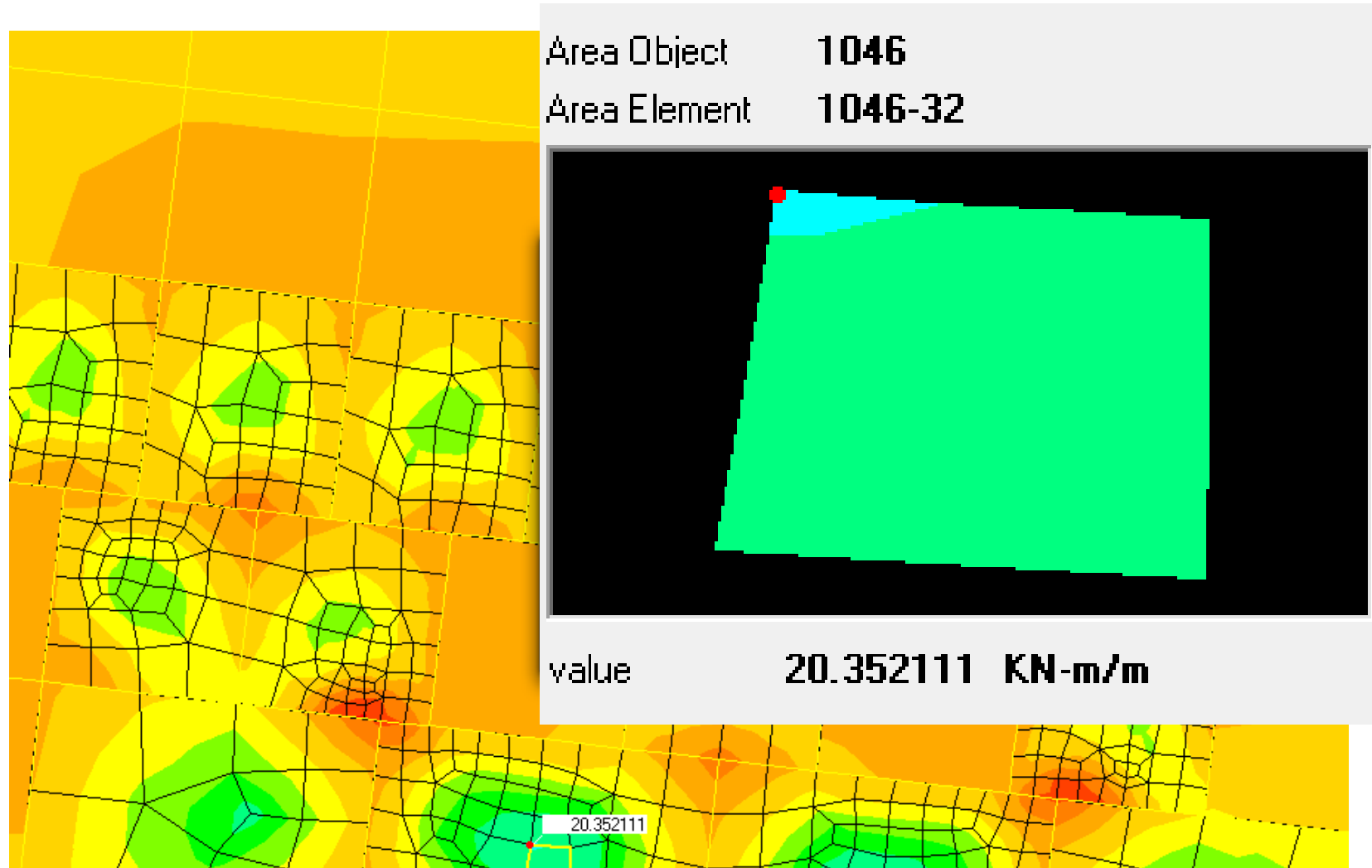
POTONGAN A-A



POTONGAN B-B

# PERKUATAN STRUKTUR PASKA KEBAKARAN

# PERKUATAN PLAT LANTAI

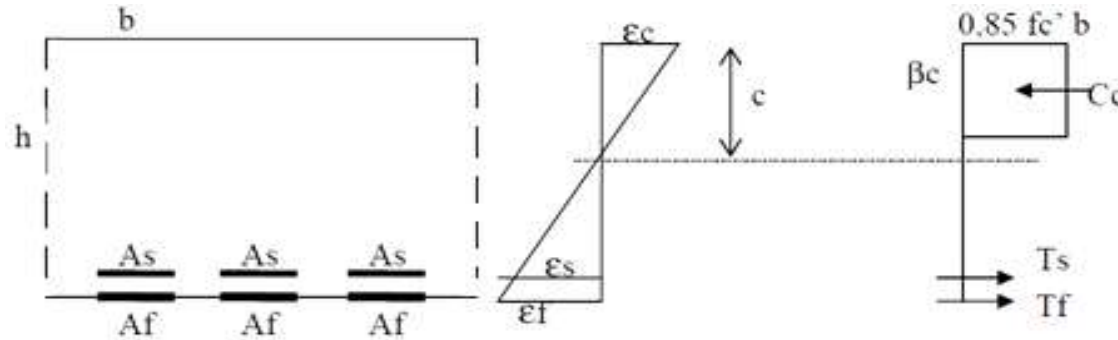


Material Pro Tensile Forces in ULS

**B. BAHAN** Reinforcement

**Mutu beton** Carbodur Plate  
**Kuat tekan** Jumlah Carbodure

**Mutu baja :**  
 Untuk baja  
 Tegangan l  
 Untuk baja  
 Tegangan l



$$Z_s = A_s * f_y = 108.52 \text{ kN}$$

$$n = 8$$

$$Z_L = A_s * E_l * (\epsilon_l / K_L) = 792 \text{ kN}$$

$$Z = 908.518 \text{ kN}$$

Momen nominal,  
 Jumlah Tul: "Kapasitas momen ultimit"

$$M_n = A_s * f_y * (d - a / 2) * 10^{-6} = 4.341 \text{ kNm}$$

$$\phi * M_n = 3.690 \text{ kNm}$$

$$> M_u \quad 20.352 \text{ kNm}$$

**Failure**

**Carbodur F**

Type Gaya internal tarik Sika Carbodur,

Cross Secti  
 Modulus  $E_k$   $\sum H = 0$   
 Tensile Stre  $\sum M = 0$   
 Ultilate Srai

$$T_f = \epsilon_l * E_f * A_f = 554400 \text{ N}$$

$$C_c = T_s + K_l * T_f = 496598.4 \text{ N}$$

$$M_{\text{Carbodure}} = K_l * T_f * (h - 0.5 * \beta_1 * c) = 20.76 \text{ kNm}$$

$$M_N = \phi * (M_n + M_{\text{carbodore}}) = 21.339 \text{ kNm}$$

$$> M_u \quad 20.35$$

**OK**

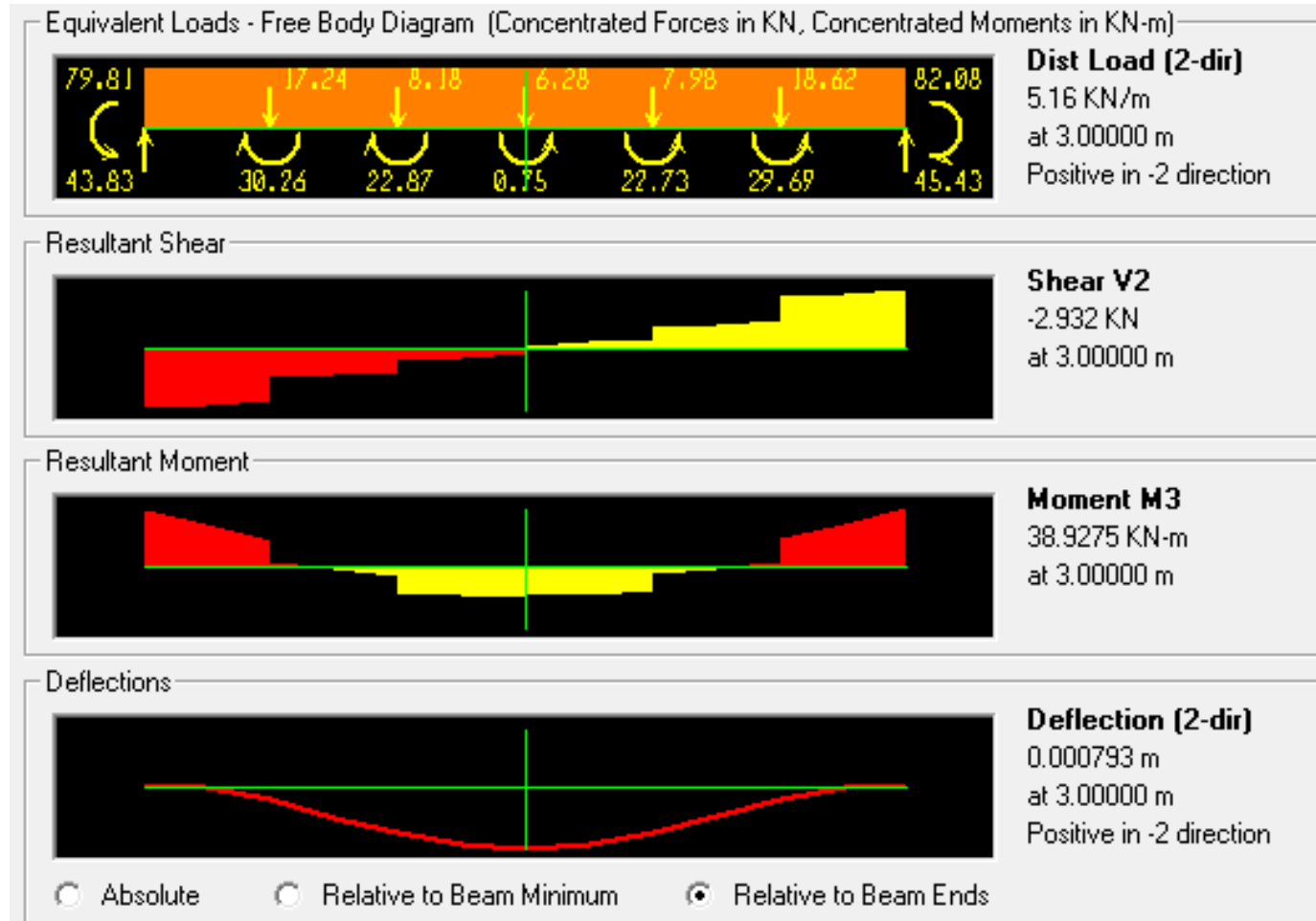
Composite

$$\text{JARAK CARBODURE} \quad 1000 \text{ MM} \quad = \quad 125 \text{ MM}$$

- PASAR KLIWON KUDUS (2010)  
PERKUATAN PLAT



# PERKUATAN BALOK



# PEMASANGAN

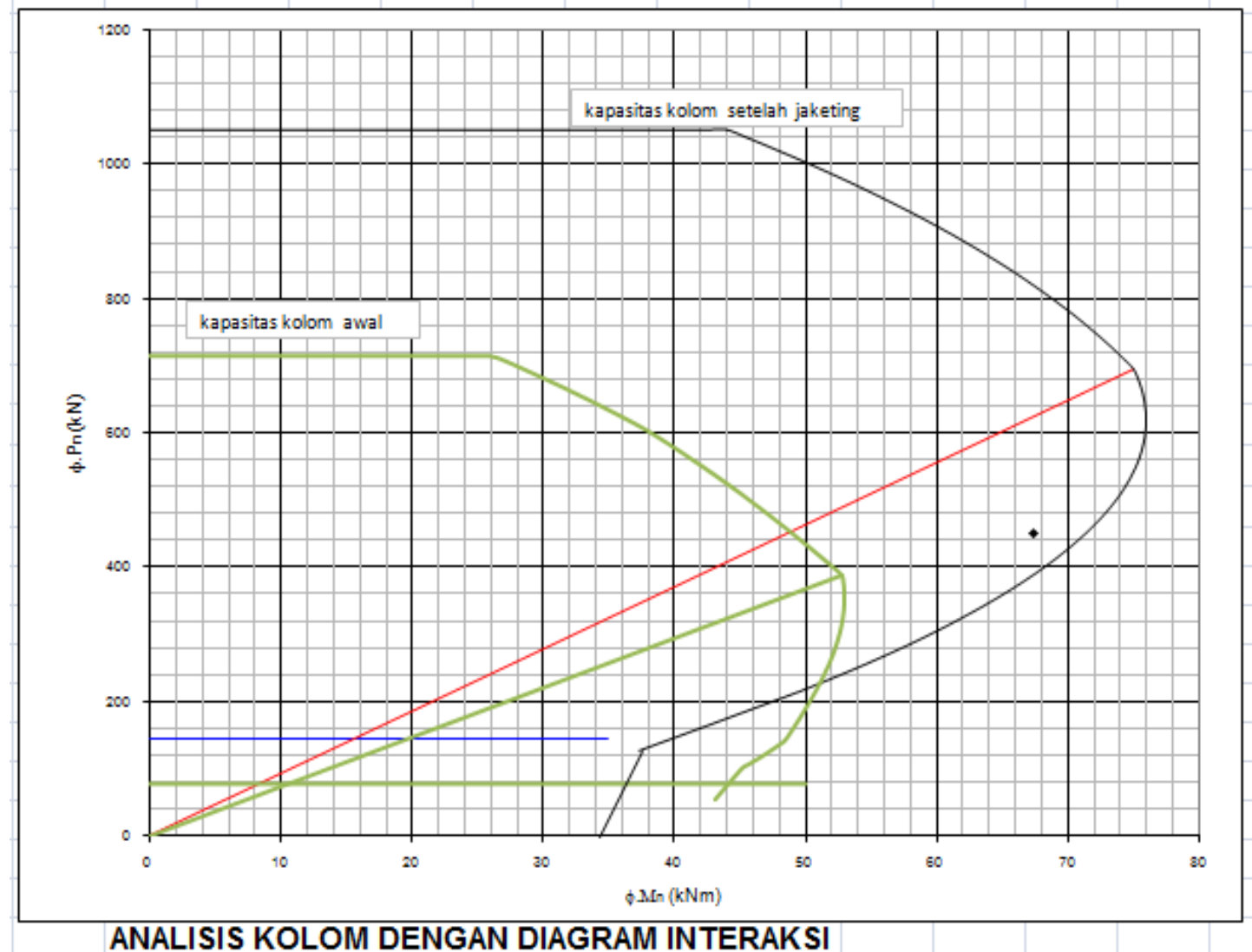


PERKUATAN LENTUR



PERKUATAN GESER DAN  
LENTUR

# PERKUATAN KOLOM DENGAN METHODE JAKETING

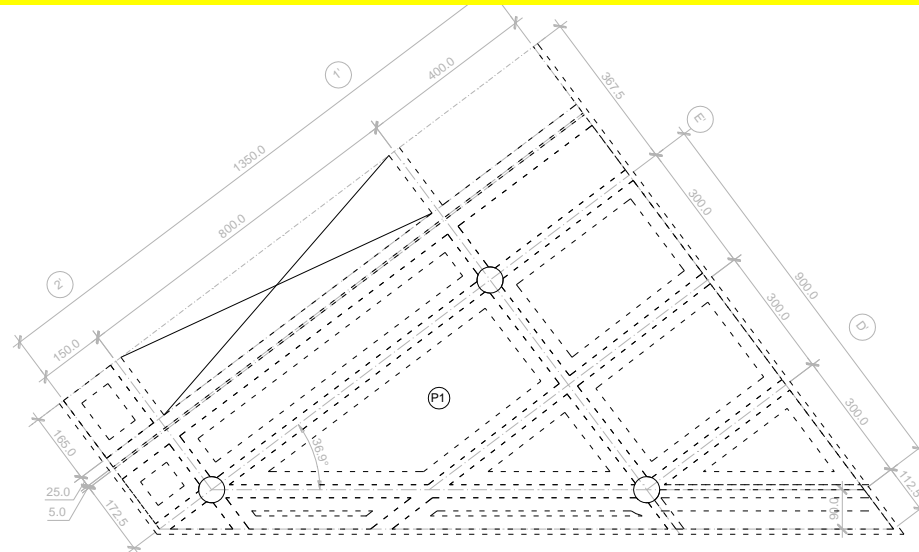




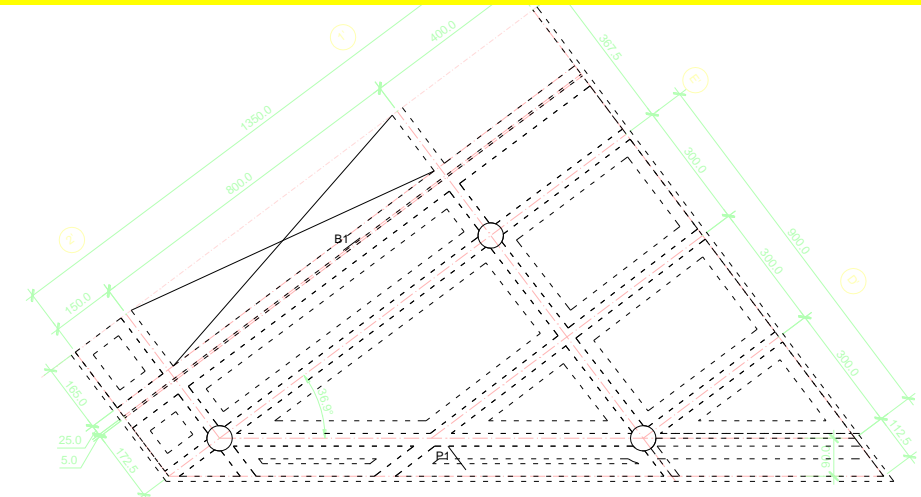
# EVALUASI GEDUNG RUANG GENSET MAL PASKA KEBAKARAN



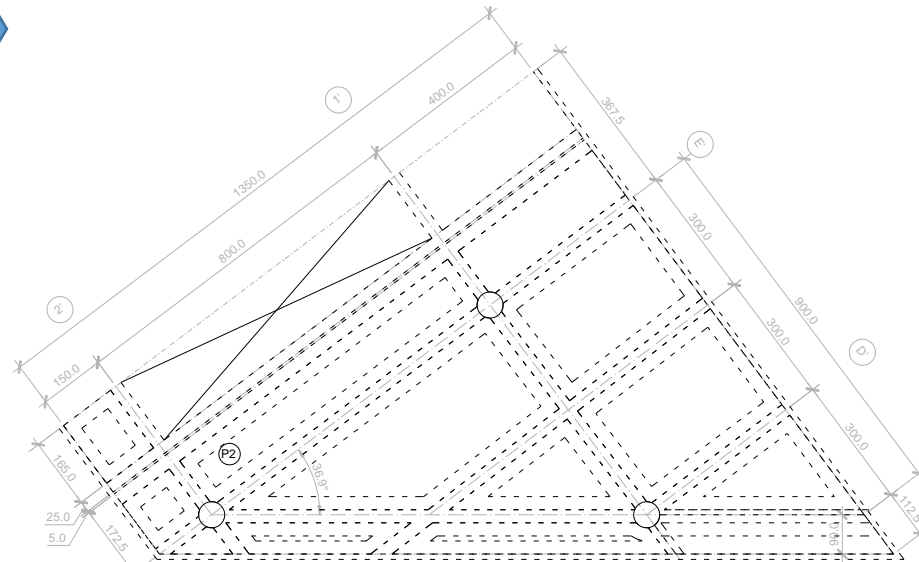
Lokasi Core Drill dan pengambilan tulangan



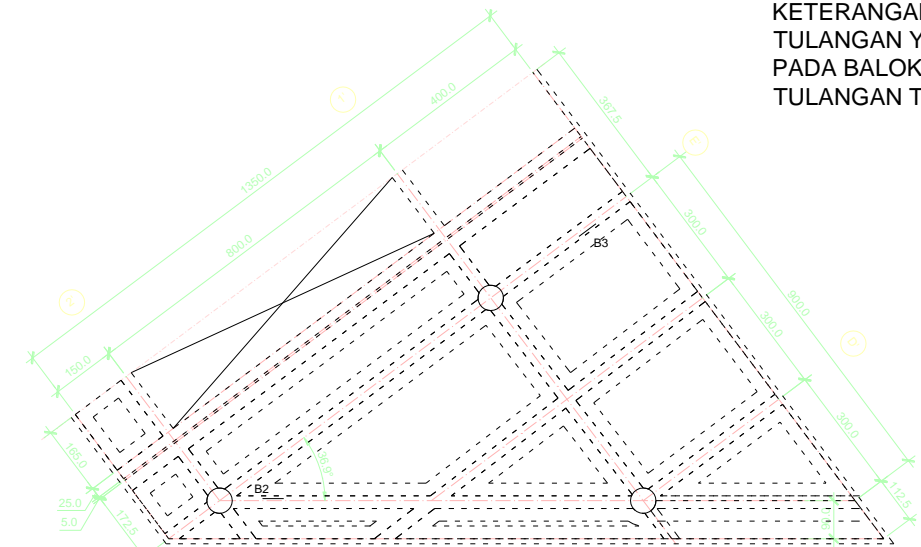
**KODE TITIK CORE DRILL - LT.1**  
SKALA 1:100



**LOKASI PENGAMBILAN TULANGAN - LT.1**  
SKALA 1:100



**KODE TITIK CORE DRILL - LT.2**



**LOKASI PENGAMBILAN TULANGAN - LT.1**  
SKALA 1:100

KETERANGAN:  
TULANGAN YANG DI AMBIL  
PADA BALOK ADALAH  
TULANGAN TEKAN

Hammer Test



Uji Ultrasonic



## ANALISIS

<i>f'c = 18.675 Mpa ( K - 225 ) ; fy = 240 MPa</i>																		
No.	Elemen	Hasil Analisis						As Build Drawing						Momen Kapasitas (t.m)				
		Section Tumpuan			Section Lap.			Section Tumpuan			Section Lap.							
1	1st Floor	Tarik	Tekan	Sengkang	Tarik	Tekan	Sengkang	Tumpuan	Lapangan	Tarik	Tekan	Sengkang	Tarik	Tekan	Sengkang	Tumpuan	Lapangan	
-	Main Beam Grid 1' (35 x 65)							31.428	15.910	4D22	2D22	Ø8-150	3D22	2D22	Ø8-200	21.056	15.366	
-	Main Beam Grid 2' (35 x 65)							17.466	3.400	4D22	2D22	Ø8-150	4D22	2D22	Ø8-150	21.056	21.056	
-	Main Beam D' (35 x 65)							3.430	3.430	3D22	2D22	Ø8-100	3D22	2D22	Ø8-200	15.638	15.638	
-	Main Beam E' (35 x 80)							28.730	10.700	4D22	2D22	Ø10-100	4D22	2D22	Ø10-200	28.487	28.487	
-	Main Beam MBC (30 x 65)							36.032	8.000	3D22	2D22	Ø8-100	3D22	2D22	Ø8-200	15.638	15.638	
-	Main Beam MBC (30 x 80)							36.032	8.000	3D22	2D22	Ø8-100	3D22	2D22	Ø8-200	20.566	20.566	
-	Secondary Beam SB4 (12 x 30)							1.090	1.420	2D16	2D16	Ø8-200	2D16	2D16	Ø8-200	2.419	2.419	
-	Secondary Beam SB5 (25 x 65)							19.910	3.510	2D19	2D19	Ø8-200	4D19	2D19	Ø8-200		15.621	
-	Secondary Beam SB6 (25 x 65)							11.200	4.260	2D19	2D19	Ø8-100	4D19	2D19	Ø8-200		15.621	

# WEBINAR PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL, UNIVERSITAS WIRALODRA. Selasa, 25 Agustus 2020

2	2nd Floor BEAM	Tarik	Tekan	Sengkang	Tarik	Tekan	Sengkang	Tumpuan	Lapangan	Tarik	Tekan	Sengkang	Tarik	Tekan	Sengkang	Tumpuan	Lapangan
-	Main Beam Grid 1' (35 x 65)							31,53	14,87	3D22	2D22	Ø8-125	4D22	2D22	Ø8-200	39,889	15,366
-	Main Beam Grid 2' (35 x 65)							16,74	8,6	3D22	2D22	Ø8-100	4D22	2D22	Ø8-200	38,046	21,056
-	Main Beam D' (35 x 65)							35,760	6,650	3D22	2D22	Ø8-100	3D22	2D22	Ø8-200	57,274	28,487
-	Main Beam E' (35 x 80)							41,04	9,74	3D19	3D19	Ø8-100	4D22	2D19	Ø8-200	50,023	28,487
-	Main Beam MBC (30 x 65)							35,950	6,420	3D22	2D22	Ø8-100	3D22	2D22	Ø8-200	57,274	28,487
-	Main Beam MBC (30 x 80)							35,950	6,420	3D22	2D22	Ø8-100	3D22	2D22	Ø8-200	57,274	28,487
-	Secondary Beam SB4 (12 x 30)							16,06	7,54	2D16	2D16	Ø8-200	2D16	2D16	Ø8-200	21,056	15,366
-	Secondary Beam SB5 (25 x 65)							36,02	9,79	2D19	2D19	Ø8-200	4D19	2D19	Ø8-200	42,642	
-	Secondary Beam SB6 (25 x 65)							26,26	7,39	2D19	2D19	Ø8-100	4D19	2D19	Ø8-200	33,757	15,366

# WEBINAR PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL, UNIVERSITAS WIRALODRA. Selasa, 25 Agustus 2020

3	3rd Floor BEAM	Tarik	Tekan	Sengkang	Tarik	Tekan	Sengkang	Tumpuan	Lapangan	Tarik	Tekan	Sengkang	Tarik	Tekan	Sengkang	Tumpuan	Lapangan
-	Main Beam Grid 1' (35 x 65)							32,76	9,2	5D22	5D22	Ø8-100	3D22	2D22	Ø8-200	39,889	15,366
-	Main Beam Grid 2' (35 x 65)							28,72	8,2	3D19	2D19	Ø8-150	3D19	2D19	Ø8-200	38,046	21,056
-	Main Beam D' (35 x 65)							50,800	15,500	3D22	2D22	Ø8-100	3D22	2D22	Ø8-200	57,274	28,487
-	Main Beam E' (35 x 80)							26,72	10,6	5D22	4D22	Ø8-100	4D22	2D22	Ø8-200	50,023	28,487
-	Main Beam MBC (30 x 65)							50,800	15,500	3D22	2D22	Ø8-100	3D22	2D22	Ø8-200	57,274	28,487
-	Main Beam MBC (30 x 80)							50,800	15,500	3D22	2D22	Ø8-100	3D22	2D22	Ø8-200	57,274	28,487
-	Secondary Beam SB4 (12 x 30)							16,06	7,54	2D16	2D16	Ø8-200	2D16	2D16	Ø8-200	21,056	15,366
-	Secondary Beam SB5 (25 x 65)							20,18	3,16	2D19	2D19	Ø8-200	4D19	2D19	Ø8-200	42,642	
-	Secondary Beam SB6 (25 x 65)							11,32	5,21	2D19	2D19	Ø8-100	4D19	2D19	Ø8-200	33,757	15,366

**TERIMA KASIH**