

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standard Nasional Indonesia. 2002. SNI-03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. SNI 03-6825-2002 Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2011. SNI 4431:2011 Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal Dengan Dua Titik Pembebanan. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2014. SNI 2491:2014 Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2017. SNI 2052:2017 Baja Tulangan Beton. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Basil, Al-Shathr S., Haider A. Abdulhameed, Mohammed M. Mahdi. 2022. Effect of Wire Mesh Type on Strengthening Reinforced Concrete Beams. *Engineering and Technology Journal*, 40: 759-768.
- Fernanda, Dedi, Mohd Isnaeni, Fikri Alami. 2019. Studi Eksperimental Perkuatan Balok Beton Bertulang dengan *Wiremesh* dan GFRP. *JRSSD* 7(1): 27-36.
- Fakhrudin. 2017. Failure Mechanisms of Widening Prestressed Concrete Deck Slabs With External Prestressing. *Tokyo Institute Of Technology*.
- Fakhrudin. 2023. Perbaikan dan Perkuatan Struktur Beton Bertulang. Makassar. Nas Media Pustaka.
- Gang Peng, *et. Al.* 2022. Experimental and theoretical study on the flexural behavior of RC beams strengthened with cementitious grout. *Engineering Structures* 267. Elsevier
- Gang Peng, *et Al.* 2021. Experimental study of the interfacial bond strength between cementitious grout and normal concrete substrate. *Construction and Building Materials* 273. Elsevier.
- Helmi, Masdar. 2009. Perbaikan Balok Beton Bertulang yang telah Mengalami Beban Puncak dengan Baja Siku. *Jurnal Rekayasa* 13 (1).
- Indrayani, I., Delvianty, J., Selmina, M., Herius, A., & Noerdin, R. (2019). Fly Ash Sebagai Alternatif Pengganti Semen pada Beton Geopolimer Ramah

Lingkungan. In Prosiding Seminar Nasional Hasil Litbangyasa Industri II, 26 Agustus 2019, Palembang, Sumatera Selatan, Kemenperindag.

- Iswari, A.Y.D. (2004), Perkuatan Lentur Balok Tampang Persegi Dengan Penambahan Tulangan Menggunakan Epoxy, Tesis, Program Studi Teknik Struktur, Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Maulidya, Yuqni. (2022). *Perilaku Lentur Perkuatan Balok Beton Bertulang Dengan Grouting Dan GFRP Sheet*. Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin.
- Mulyono,T., 2004, *Teknologi Beton*, Edisi Kedua, Andi, Yogyakarta. Tim Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, 2016, *Pedoman Praktikum Teknologi Bahan dan Beton*, Pekanbaru
- Nawy, Edward G. (1990). *Beton Bertulang- Suatu Pendekatan Dasar*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Nawy, Edward G. (2003). *Reinforced Concrete: A Fundamental Approach (Bambang Suryatmojo, Trans.)*. Bandung: Refika Aditama. (Karya asli diterbitkan 1985).
- Ombres, Luciano & Salvatore Verre, Ph.D. 2019. Flexural Strengthening of RC Beams with Steel-Reinforcement Grout: Experimental and Numerical Investigation. *J. Compos. Construction* 23(5).
- Park,R & Paulay, T. (1975). *Reinforced concrete Structures*, A Willey Interscience Publication, Jhon Willey & Sons, New York.
- R. Mao, Z. Luo, Y. Wang, X. Hu. Experimental Analysis Of Bond Performance Of Concrete Strengthened With High-Strength Steel-Wiremesh. *J. Civ. Environ. Eng.* 39 (03) (2017) 13-19.
- Saidi, T., Hasan, M., Amalia, Z., & Bakri, N. S. A. (2021). Kapasitas maksimum balok beton bertulang yang diperkuat dengan natural fiber reinforced polymer berbahan serat abaka. *Konferensi Nasional Teknik Sipil*, 15.
- Said, Sugira. 2023. Study Strengthening Reinforced Concrete Beams Post Corrosion with Grouting and GFRP Sheet. Tesis Program Studi Departemen Teknik Sipil, Universitash Hasanuddin.
- Triwiyono, A. 1998. Evaluasi Kinerja dan Perkuatan Struktur Gedung Guna Alih Fungsi Bangunan. *Forum Teknik Sipil* No. XVII.
- Triwiyono, A. 2004. *Perbaikan dan Perkuatan Struktur Beton*. Topik Bahan Ajar, UGM. Yogyakarta.

Ulum, M. B., Wahyuni, E., & Iranata, D. (2015). *Studi Permodelan Retak Pada Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Program Bantu Elemen Hingga*. 61– 68.

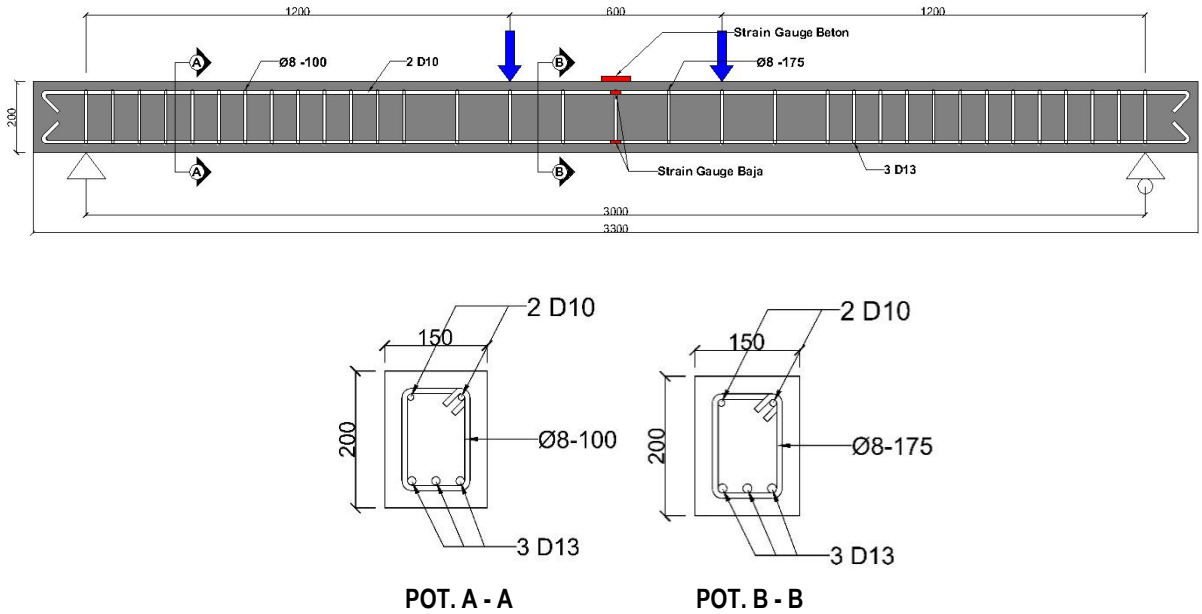
Yan Li, *et Al.* 2023. Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened Using Recycle Industrial Steel-wire Mes High-performance Mortar. *Case Studies in Construction Materials* 19. Elsevier.

X. P. Hu, G. Peng, D.T. Niu, X. Wu, L. Zhang. Bond Behavior Between Deformed Steel Bars And Cementitious Grout. *Constr. Build. Mater.* 262 (2020) 120810.

Zhu, H., Hu, Y., Li, Q., & Ma, R. (2020). Restrained cracking failure behavior of concrete due to temperature and shrinkage. *Construction and Building Materials*, 244.

LAMPIRAN

1. Perhitungan Kapasitas Lentur Balok Kontrol (BK)



Data Analisis :

- Kuat tekan beton (f'_c) = 25 MPa
- Kuat leleh tulangan tarik (f_y) = 420 MPa
- Kuat leleh tulangan tekan ($f_{y'}$) = 280 MPa
- Kuat leleh tulangan transversal (f_{ys}) = 280 MPa
- Tinggi efektif penampang (d) = 162 mm
- Jarak tul. tekan ke serat tekan terluar (d') = 38 mm
- Luas tulangan tarik (A_s) = 398.20 mm²
- Luas tulangan tekan ($A_{s'}$) = 157.08 mm²
- Luas tulangan transversal (A_{vs}) = 100.53 mm²

Kapasitas Lentur (Mn)

$$C_c + C_s = T_s$$

$$(0.85 \times f'_c \times a \times b) + (A'_{s'} \times f'_{y'}) = (A_s \times f_y)$$

$$a = \frac{(A_s \times f_y) - (A'_s \times f'_y)}{0.85 \times f'_c \times b}$$

Dimana:

C_c = gaya tekan pada beton (kN),

C_s = gaya tekan pada tulangan (kN),

T_s = jumlah gaya total dari tulangan tarik (kN),

a = tinggi balok tekan ekuivalen (mm)

Diperoleh:

$$a = \frac{(A_s \times f_y) - (A'_s \times f'_y)}{0.85 \times f'_c \times b}$$

$$a = \frac{(398.20 \text{ mm}^2 \times 280 \text{ MPa}) - (157.08 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ MPa})}{0.85 \times 25 \text{ MPa} \times 150 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{a = 14.28 \text{ mm}}$$

Pengecekan tulangan tarik:

$$\varepsilon_s = \frac{d-c}{c} \times \varepsilon_c$$

$$f'_c < 25 \text{ MPa} \text{ maka } \beta_1 = 0.85$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{14.28}{0.85} = 16.80$$

$$\varepsilon_s = \frac{162-23.82}{23.82} \times 0.03 = 0.26$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{\varepsilon_s} = \frac{280 \text{ MPa}}{200000 \text{ MPa}} = 0.0014$$

$\varepsilon_s > \varepsilon_y$ maka tulangan tarik telah mencapai titik leleh sehingga,

$$Mn = T_s \times J_d$$

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

Diperoleh :

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

$$Mn = 398.20 \text{ mm}^2 \times 280 \text{ MPa} \times \left(162 \text{ mm} - \frac{14.28}{2}\right)$$

$$Mn = 21.74 \text{ kNm}$$

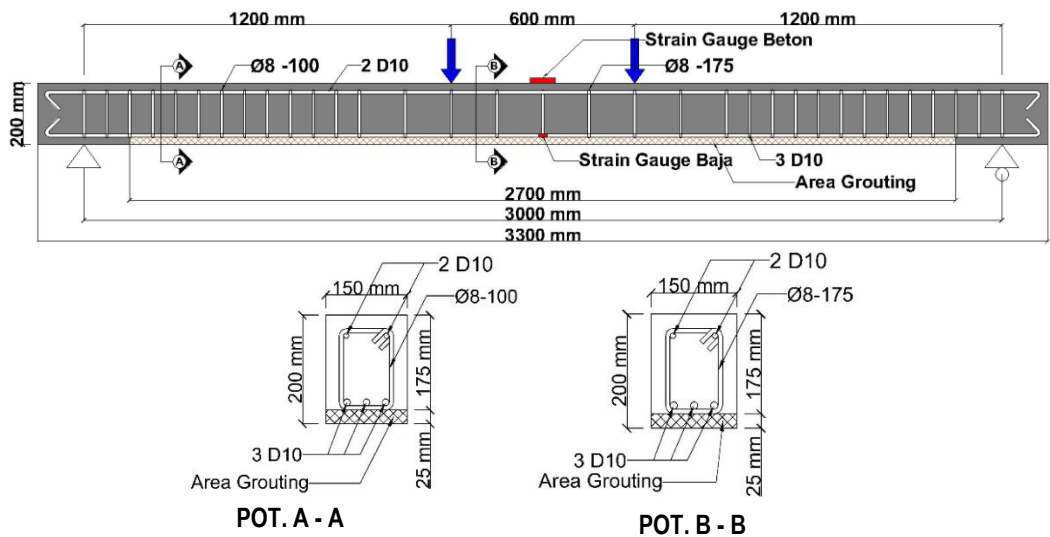
Sehingga,

$$Mn = 0.6P + 0.08019$$

$$21.74 = 0.6P + 0.08019$$

$$P_{lentur} = 34.90 \text{ kN}$$

2. Perhitungan Kapasitas Lentur Balok Grouting Normal (BGN)



Data Analisis :

- Kuat tekan beton (f'_c) = 25 MPa
- Kuat leleh tulangan tarik (f_y) = 420 MPa
- Kuat leleh tulangan tekan (f_y') = 420 MPa
- Kuat leleh tulangan transversal (f_{ys}) = 280 MPa
- Tinggi efektif penampang (d) = 162 mm
- Jarak tul. tekan ke serat tekan terluar (d') = 38 mm
- Luas tulangan tarik (A_s) = 235.62 mm²
- Luas tulangan tekan (A_s') = 157.08 mm²
- Luas tulangan transversal (A_{vs}) = 100.53 mm²

Kapasitas Lentur (Mn)

$$C_c + C_s = T_s$$

$$(0.85 \times f'_c \times a \times b) + (A'_s \times f'_y) = (A_s \times f_y)$$

$$a = \frac{(A_s \times f_y) - (A'_s \times f'_y)}{0.85 \times f'_c \times b}$$

Dimana:

C_c = gaya tekan pada beton (kN),

C_s = gaya tekan pada tulangan (kN),

T_s = jumlah gaya total dari tulangan tarik (kN),

a = tinggi balok tekan equivalen (mm)

Diperoleh:

$$a = \frac{(A_s \times f_y) - (A'_s \times f'_y)}{0.85 \times f'_c \times b}$$

$$a = \frac{(235.62 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ MPa}) - (157.08 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ MPa})}{0.85 \times 25 \text{ MPa} \times 150 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{a = 10.35 \text{ mm}}$$

Pengecekan tulangan tarik:

$$\varepsilon_s = \frac{d-c}{c} \times \varepsilon_c$$

$$f'_c < 25 \text{ MPa} \text{ maka } \beta_1 = 0.85$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{10.35}{0.85} = 12.18$$

$$\varepsilon_s = \frac{162-23.82}{23.82} \times 0.03 = 0.37$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{\varepsilon_s} = \frac{420 \text{ MPa}}{200000 \text{ MPa}} = 0.0021$$

$\varepsilon_s > \varepsilon_y$ maka tulangan tarik telah mencapai titik leleh sehingga,

$$Mn = T_s \times J_d$$

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

Diperoleh :

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

$$Mn = 235.62 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ MPa} \times \left(162 \text{ mm} - \frac{10.35}{2}\right)$$

$$Mn = 15.52 \text{ kNm}$$

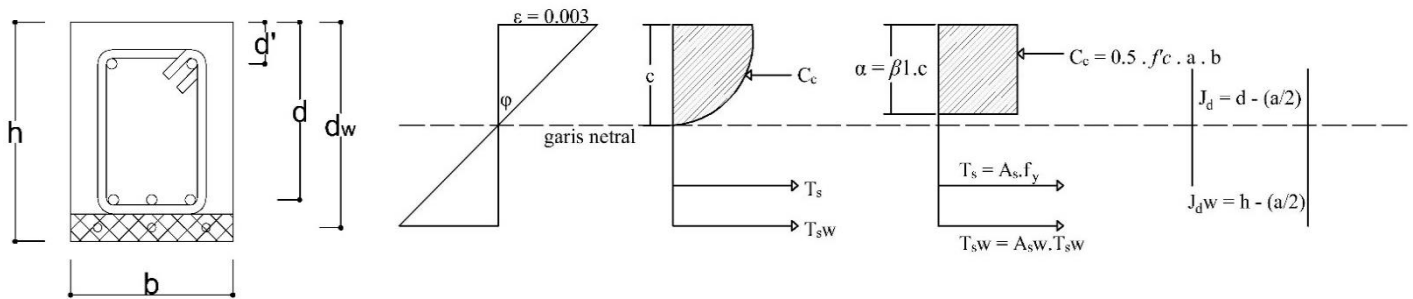
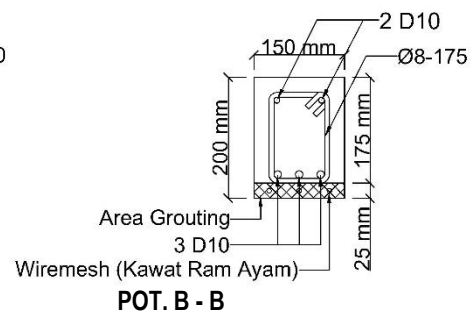
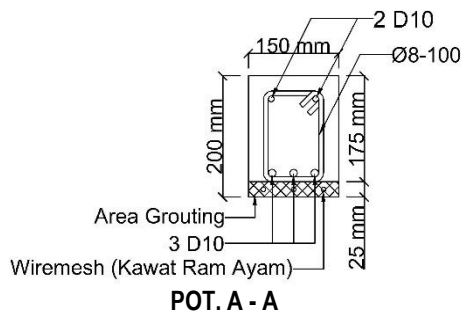
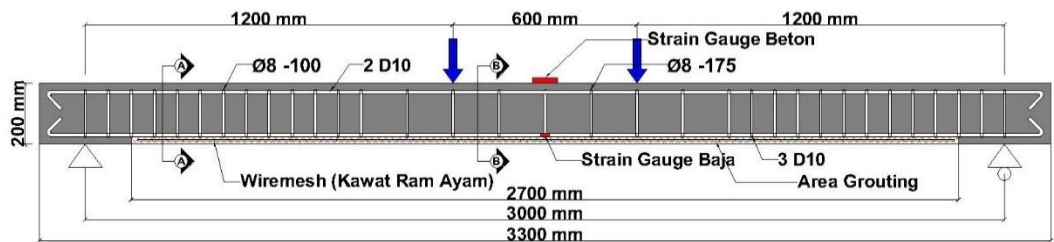
Sehingga,

$$Mn = 0.6P + 0.08019$$

$$15.52 = 0.6P + 0.08019$$

$$P_{lentur} = 25.73 \text{ kN}$$

3. Perhitungan Kapasitas Lentur Balok Grouting Normal + Wiremesh (BGN-R)



Sumber: Ilham Bayu Aji (2018)

Data Analisis :

- Kuat tekan beton (f'_c) = 25 MPa
- Kuat leleh tulangan tarik (f_y) = 420 MPa
- Kuat leleh tulangan tekan ($f_{y'}$) = 420 MPa
- Kuat leleh tulangan transversal (f_{ys}) = 280 MPa
- Kuat leleh *wiremesh* (f_{yw}) = 388 MPa
- Tinggi efektif penampang (d) = 162 mm
- Jarak tul. tekan ke serat tekan terluar (d') = 38 mm
- Jarak *wiremesh* ke serat tekan terluar (d_w) = 188 mm
- Luas tulangan tarik (A_s) = 235.62 mm²
- Luas tulangan tekan ($A_{s'}$) = 157.08 mm²
- Luas tulangan transversal (A_{vs}) = 100.53 mm²
- Luas tulangan *wiremesh* (A_{sw}) = 5.03 mm²

Kapasitas Lentur (Mn)

$$C_c + C_s = T_s + T_{sw}$$

$$(0.85 \times f'_c \times a \times b) + (A'_{s'} \times f'_{y'}) = (A_s \times f_y) + (A_w \times f_{yw})$$

$$a = \frac{((A_s \times f_y) + (A_w \times f_{yw})) - (A'_{s'} \times f'_{y'})}{0.85 \times f'_c \times b}$$

Dimana:

C_c = gaya tekan pada beton (kN),

C_s = gaya tekan pada tulangan (kN),

T_s = jumlah gaya total dari tulangan tarik (kN),

T_{sw} = Jumlah gaya total dari tulangan *wiremesh* (kN),

a = tinggi balok tekan equivalen (mm)

Diperoleh:

$$a = \frac{((A_s \times f_y) + (A_w \times f_{yw})) - (A'_{s'} \times f'_{y'})}{0.85 \times f'_c \times b}$$

$$a = \frac{((235.62 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ MPa}) + (5.03 \text{ mm}^2 \times 388 \text{ MPa})) - (157.08 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ MPa})}{0.85 \times 25 \text{ MPa} \times 150 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{a = 10.96 \text{ mm}}$$

Pengecekan tulangan tarik:

$$\varepsilon_s = \frac{d - c}{c} \times \varepsilon_c$$

$$f'_c < 25 \text{ MPa} \text{ maka } \beta_1 = 0.85$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{10.96}{0.85} = 12.90$$

$$\varepsilon_s = \frac{162 - 23.82}{23.82} \times 0.03 = 0.35$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{\varepsilon_s} = \frac{420 \text{ MPa}}{200000 \text{ MPa}} = 0.0021$$

$\varepsilon_s > \varepsilon_y$ maka tulangan tarik telah mencapai titik leleh sehingga,

$$Mn = (T_s \times J_d) + (T_{ws} \times J_{dw})$$

$$Mn = \left(A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right) + \left(A_{ws} \times f_{wy} \times \left(d_w - \frac{a}{2} \right) \right)$$

Diperoleh :

$$Mn = \left(A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right) + \left(A_{ws} \times f_{wy} \times \left(d_w - \frac{a}{2} \right) \right)$$

$$Mn = 235.62 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ MPa} \times \left(162 \text{ mm} - \frac{10.96}{2} \right) + 5.03 \text{ mm}^2 \times$$

$$388 \text{ MPa} \times \left(188 \text{ mm} - \frac{10.96}{2} \right)$$

$$Mn = 15.85 \text{ kNm}$$



Sehingga,




$$Mn = 0.6P + 0.08019$$




$$18.85 = 0.6P + 0.08019$$



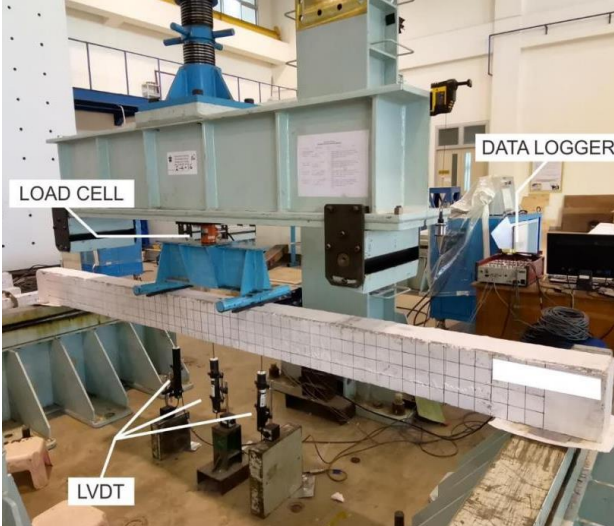
$$P_{lentur} = 26.28 \text{ kN}$$

4. Dokumentasi

No.	Dokumentasi	Keterangan
1.		Persiapan benda uji: perakitan tulangan untuk benda uji balok
3.		Persiapan benda uji: perakitan bekisting untuk benda uji balok

4.		Pengukuran uji tes <i>slump</i>
5.		Pengecoran benda uji
6.		<i>Moist curing</i> balok beton bertulang

9.		Pemasangan <i>wiremesh</i>
10.		Penyiapan bahan material mortar <i>grouting</i>
11.		Pencampuran mortar <i>grouting</i>

12.		<p>Pengaplikasian <i>bonding agent</i> pada balok perbaikan</p>
13.		<p>Pengecoran mortar <i>grouting</i> pada balok perbaikan</p>
16.		<p><i>Set-up</i> pengujian lentur balok beton bertulang</p>

