

BAB VI

KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis numerikal pada balok T beton *High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete* dengan perkuatan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* maka dapat didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Perkuatan lentur menggunakan CFRP dengan lebar 50 mm mampu meningkatkan kapasitas balok T beton HFVA dalam menahan beban lentur sebesar 2,21% terhadap balok normal tanpa perkuatan. Sementara itu, pada perkuatan lentur menggunakan CFRP dengan lebar 100 mm meningkatkan kapasitas balok T beton HVFA sebesar 2,66% terhadap balok normal. Analisis juga menunjukkan penambahan lebar perkuatan CFRP sebesar 50 mm juga dapat meningkatkan kapasitas balok T sebesar 1,20%. Pola kegagalan yang terjadi untuk kedua tipe perkuatan relatif sama yaitu pola keretakan lentur yang terjadi pada tengah bentang balok. Tegangan yang terjadi pada baja tulangan untuk masing-masing benda uji menunjukkan hal yang sama, yaitu tulangan tarik balok mengalami tegangan paling signifikan pada saat beton sudah mengalami kegagalan. Hal tersebut menandakan bahwa tulangan sudah memasuki fase leleh. Pola tegangan material CFRP juga menunjukkan hasil yang cenderung sama yaitu terjadi pertambahan tegangan yang signifikan pada tengah bentang balok.

2. Perkuatan geser menggunakan CFRP dengan lebar 250 mm dan jarak 300 mm mampu meningkatkan kapasitas balok sebesar 1,57% terhadap balok normal tanpa perkuatan. Sementara itu pada perkuatan geser menggunakan CFRP dengan lebar 100 mm dan jarak 150 mm mampu meningkatkan kapasitas balok sebesar 1,55% terhadap balok normal tanpa perkuatan. Analisis juga menunjukkan bahwa penambahan lebar material CFRP juga meningkatkan kapasitas geser balok sebesar 1,02%. Pola keruntuhan yang terjadi sudah sesuai dengan yang diharapkan, yaitu terjadi keruntuhan geser pada 1/3 bentang untuk sisi tumpuan dan terjadi keruntuhan lentur. Didapatkan juga pola tegangan pada baja tulangan untuk masing-masing benda uji terjadi paling besar pada daerah tarik pada tengah bentang balok uji. Hal tersebut disebabkan karena baja tulangan sudah mengalami fase leleh saat beton mengalami kegagalan. Serupa dengan baja tulangan. Pola tegangan material CFRP juga menunjukkan hasil yang relatif sama untuk masing-masing benda uji yaitu terjadi pertambahan tegangan yang signifikan pada tengah bentang balok.
3. Perilaku balok setelah dilakukan perkuatan lentur dan geser balok secara eksperimental dan numerikal terdapat beberapa perbedaan. Perbedaan tersebut terjadi sebesar 0,38% dan 0,06% pada perkuatan lentur untuk benda uji CFRP lebar 50 mm dan lebar 100 mm. Sementara itu pada perkuatan geser terdapat perbedaan sebesar 0,68% dan 0,63% untuk benda uji perkuatan geser CFRP lebar 250 mm spasi 300 mm dan CFRP lebar 100 mm spasi 150 mm. Selain itu, terdapat perbedaan perilaku balok dalam menahan beban saat defleksi dibawah 10 mm untuk perkuatan lentur dan 5 mm untuk perkuatan geser. Pola kegagalan

yang terjadi pada benda uji geser juga mengalami perbedaan. Diketahui bahwa pada uji eksperimental tidak terjadi pola kegagalan geser, sedangkan pada analisis numerikal terjadi pola kegagalan geser. Hal tersebut disebabkan beberapa faktor sebagai berikut.

- a. Perbedaan asumsi lekatan CFRP pada uji numerikal dengan uji eksperimental.

Pada analisis numerikal lekatan CFRP terjadi secara *perfect bond* sedangkan pada uji eksperimental lekatan tersebut tidak melekat secara sempurna. Hal tersebut akan mempengaruhi kekakuan balok dalam menahan beban.

- b. Kapasitas geser balok lebih besar dibandingkan kapasitas lentur pada balok uji geser eksperimental.

Kapasitas lentur balok yang cenderung lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas geser pada balok uji geser eksperimental mengakibatkan pola kegagalan geser tidak terjadi pada saat pengujian.

6.2 Saran

Guna pengembangan penelitian analisis numerikal pada balok T beton *High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete* dengan perkuatan *Carbon Fiber Reinforced Polymer*, terdapat beberapa saran yang dapat dilakukan.

1. Dilakukan perbandingan analisis menggunakan program aplikasi Metode Elemen Hingga lain seperti Abaqus, Ansys, dll.
2. Melakukan penyesuaian nilai lekatan material *Carbon Fiber Reinforced Polymer* terhadap balok beton T agar nilainya dapat mewakili kondisi aktual pengujian.

3. Melakukan pengujian *fracture energy* secara eksperimental agar nilai yang dihasilkan dapat menunjukkan kondisi aktual material beton HFVA yang diuji.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdalla, J.A., Mhannda, H.H., Hawileh, R.A., Sharafi, M., Al-Marzouqi, A., Al-Taneiji, S., Al-Ali, K., 2022, Shear Strengthening of Reinforced Concrete T-Beams using Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Anchored with CFRP Spikes, *Procedia Structural Integrity*, vol. 42, pp. 1223-1230.
- Alisiyah, S.R., Budi, A. S., Safitri, E., 2019, Kajian Tegangan-Regangan dan Kuat Tekan Beton HVFA Memadat Sendiri terhadap Beton Normal, *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, vol. 7, no.4, pp. 466-470.
- Alghazali, H.H., Myers, J.J., 2016, Fracture Behavior of High Volume Fly Ash-Self Consolidating Concrete, *Proceedings of the 4th International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*, vol. 7, no.11, pp. 937-946.
- Amiguno, J., 2026, Perkuatan Lentur Balok-T Beton “High Volume Fly Ash Compacting Concrete” dengan “Carbon Fiber Reinforced Polymer” (CFRP), *Tesis Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, Yogyakarta.
- Bakhtyar, B, Kacem, T., Nawas, Md.A., 2017, A Review on Carbon Emissions in Malaysian Cement Industry, *International Journal of Energy Economics and Policy*, vol. 7, no. 3, pp. 282-286.
- Budi, A.S., Santosa, B., Widodo, M. A., 2021, Kajian Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Modulus Elastisitas High Volume Fly Ash dengan Kadar Fly Ash 50%, 60%, dan 70% terhadap Beton Normal, *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, vol. 9, no. 4, pp. 244-250.
- Christianto, A.B., Piscea, B., Faimun, Aji, P., 2019, Finite Element Modeling of Circular Reinforced Concrete Column Confined with CFRP under Eccentric Loading, *Journal of Civil Engineering*, vol. 34, no. 2, pp. 49-54.
- Erwanto, B.E., 2026, Perkuatan Geser Balok-T Beton “High Volume Fly Ash Compacting Concrete” dengan “Carbon Fiber Reinforced Polymer” (CFRP), *Tesis Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, Yogyakarta.
- Khoeri, H, 2020, Pemilihan Metode Perbaikan dan Perkuatan Struktur Akibat Gempa (Studi Kasus pada Bank Sulteng Palu), *Jurnal Konstruksia*, vol. 12, no. 1, pp. 93-104.
- Kristiawan, S., Sunarmasto., Budi, A.S., Kurniawati, D.C., 2018, Stress-Strain Response of High Volume Fly Ash Self-Compacting Concrete (HVFA-SCC) Under Uniaxial Loading and Its Effect on the Reinforced HVFA-SCC Nominal Strength, *MATEC Web of Conferences ICRMCE 2018*, vol. 198, pp. 8-15.

- Kristiawan, S., Budi, A.S., Hadi, A.N., 2018, Uniaxial Compressive Stress-Strain Behavior of Self Compacting Concrete with High Volume Fly Ash, *International Journal of GEOMATE*, vol. 14, pp. 77-85
- Kurniawan, F., Kamaldi, A., Yubiarto, E., Ridwan, 2023, Perkuatan Balok Beton Bertulang yang Mengalami Kegagalan Geser Menggunakan Metode Deep Embedment, *Journal of Infrastructure and Construction Technology*, vol. 01, no. 01, pp. 1-10.
- Lisantono, A., Wigroho, H. Y., Murti, D. K., 2018, High Volume Fly Ash as Substitution of Fine Aggregates with the Proportion of 50%, 60%, and 70% to the Shear Strength of Reinforced Concrete Beams, *MATEC Web of Conferences ICRMCE 2018*, vol. 195, pp. 1-8.
- Liu, D., Qin, F., Di, J., Zhang, Z., 2019, Flexural Behavior of Reinforced Concrete (RC) Beams Strengthened with Carbon Fiber Reinforced Polymer (CRFP) and ECC, *Case Studies in Construction Material*, vol. 19, pp. 1-16.
- Luthfiana, M., Budi, A. S., Safitri, E., 2019, Kajian Tegangan-Regangan dan Kuat Tekan Beton HVFA Memadat Sendiri terhadap Beton Normal dengan Kekangan Topi Baja, *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, vol. 7, no.4, pp. 491-495.
- Marthinus, A.P., Sumajouw, M.D.J., Windah, R.S., 2015, Pengaruh Penambahan Abu Terbang (Fly Ash) terhadap Kuat Tarik Belah Beton, *Jurnal Sipil Statik*, vol. 3, no. 11, pp. 729-736.
- Piscesa, B., Attard, M.M., Samani, A.K., 2016, A Lateral Strain Plasticity Model for FRP Confined Concrete, *Journal Composite Structures*, vol. 158, pp. 160-174.
- Piscesa, B., Attard, M.M., Samani, A.K., 2018, 3D Finite Element Modeling of Circular Reinforced Concrete Columns Confined with FRP Using Plasticity Based Formulation, *Journal Composite Structures*, vol. 194, pp. 478-493.
- Prasetyo, A., Budi, A.S., Kristiawan, S. A., 2019, Kapasitas Geser Balok Beton Bertulang HVFA Memadat Sendiri dengan Kadar Fly Ash 60% terhadap Beton Normal, *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, vol. 7, no. 4, pp. 395-400.
- Rohman, R.K., Kristiawan, S.A., Basuki, A., Saifullah., H. A., 2022, Bond Strength Between Reinforcement and High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete (HVFA-SCC), *The 8th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum 2022 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1195, pp. 1-9.
- Sariman, S., Irmawaty, R., 2021, Analisis Kapasitas Lentur Balok Beton Bertulang Berongga Akibat Perbedaan Kuat Tarik Tulangan, *Jurnal Ilmiah Ecosystem*, vol. 21, no. 3, pp. 681-689.
- Sidara, S.C.X., Sumajouw, M.D.J., Pandaleke, Ronny., 2017, Evaluasi Kekuatan Balok Beton Bertulang Dengan Balok Komposit Baja Menggunakan *Floor Deck*, *Jurnal Sipil Statik*, vol. 5, no. 9, pp. 579-590.

- Sudjati, J.J., Tarigan, R.A., Tresna, I.B.M., 2015, Perbaikan Kolom Beton Bertulang Menggunakan Glass Fiber Jacket dengan Variasi Tingkat Pembebanan, *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil ke 9 (KoNTekS-9)*.
- Sumargo, Ruslan, U., Ghulam, M., 2014, Kapasitas Penggunaan Carbon Fiber Reinforced Polymer (CRFP) Berlapis Banyak Terhadap Perkuatan Lentur Struktur Balok Beton Bertulang, *Industrial Research Workshop and National Seminar*, vol. 5, pp. 126-133.
- SNI 2847, 2019, *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan penjelasan*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Utami, S.R.L, 2019, Pengaruh Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Terhadap Balok Beton Bertulang, *Jurnal INERSIA*, vol. 15, no. 1, pp. 23-42.
- Wibowo, Y.N., Piscesa, B., Tajunnisa, Y., 2022, Numerical Investigation of Geopolymer Reinforced Concrete Beams Under Flexural Loading Using Finite Element Analysis, *Journal of Civil Engineering*, vol. 37, no. 1, pp. 27-32.
- Wijaya, R.P., Budi, A.S., Kristiawan, S.A., 2018, Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete (HVFA-SCC) Usia 90 Hari, *e-Journal Matriks Teknik Sipil*, vol. 6, no. 4, pp. 622-629.
- Widhatra, H., 2008, Analisis Numerik Perilaku Struktur Balok Beton Bertulang Berbahan Dasar Geopolimer, *Laporan Tugas Akhir Universitas Indonesia*, Depok.