



STUDI LITERATUR: FAKTOR YANG MEMPENGARUHI ENERGI FRAKTUR PADA BETON DENGAN METODE *THREE-POINT BENDING TEST* (TPBT)

Deko Iris Anggela

Program Studi S1 Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta
Corresponding author: Dekoirisanggela_1503619086@mhs.unj.ac.id

ABSTRACT

Fracture energy is one of the parameters used to evaluate the strength and resistance of concrete structures to fracture loads. The Three-Point Bending Test (TPBT) method is often used to measure the fracture energy of concrete. However, there are several factors that can affect the fracture energy of concrete. This article aims to analyze the factors that affect the fracture energy of concrete using the TPBT method. The research was conducted by collecting experimental data from a number of concrete specimens made and tested by TPBT. The factors analyzed include cement water ratio, maximum aggregate and temperature. The results showed that the water-cement ratio plays an important role in determining the fracture energy. The lower the water-cement ratio, the higher the fracture energy that can be achieved. In addition, the maximum aggregate also affects the fracture energy of concrete by increasing the maximum aggregate size, the fracture energy will increase. While the fracture energy will decrease in specimens subjected to high temperatures. A better understanding of the factors affecting the fracture energy of concrete can help engineers and structural designers in improving the quality and strength of concrete

Keywords: *Structural concrete, Fracture energy, Three-Point Bending Test*

ABSTRAK

Energi fraktur adalah salah satu parameter yang digunakan untuk mengevaluasi kekuatan dan ketahanan struktur beton terhadap beban patah atau retak. Metode *Three-Point Bending Test* (TPBT) sering digunakan untuk mengukur energi fraktur beton. Namun, ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi energi fraktur pada beton. Artikel ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi energi fraktur pada beton dengan menggunakan metode TPBT. Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data eksperimental dari sejumlah spesimen beton yang dibuat dan diuji dengan TPBT. Faktor-faktor yang dianalisis meliputi perbandingan air semen, agregat maksimum dan suhu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbandingan air semen berperan penting dalam menentukan energi fraktur. Semakin rendah perbandingan air semen, semakin tinggi energi fraktur yang dapat dicapai. Selain itu, agregat maksimum juga berpengaruh pada energi fraktur beton dengan meningkatkan ukuran agregat maksimum, energi fraktur akan meningkat. Sedangkan energi fraktur akan menurun pada spesimen yang mengalami suhu tinggi. Pemahaman yang lebih baik tentang faktor-faktor yang mempengaruhi energi fraktur pada beton dapat membantu para insinyur dan perancang struktur dalam meningkatkan kualitas dan kekuatan beton.

Kata Kunci: Beton struktural, Energi fraktur, *Three-Point Bending Tes*



PENDAHULUAN

Beton merupakan bahan konstruksi yang umum digunakan dalam pembangunan struktural. Pemahaman yang mendalam tentang perilaku mekanik beton sangatlah penting. Salah satu aspek penting dalam analisis struktural beton adalah studi mengenai energi fraktur. Energi fraktur menggambarkan sejauh mana beton dapat menyerap energi sebelum mengalami keretakan dan kegagalan struktural (Khalilpour et al., 2019).

Metode *Three-Point Bending Test* (TPBT) telah digunakan secara luas untuk mengevaluasi kekuatan beton dan sifat mekaniknya. TPBT melibatkan penerapan beban pada sampel beton yang didukung oleh dua titik tumpuan di bagian bawah, sementara titik tengah sampel diberi beban yang menyebabkan pembentukan retak pada bagian atas. Pada saat sampel retak bahkan patah, energi yang diperlukan untuk mencapai titik patah ini dapat diukur sebagai energi fraktur (Khalilpour et al., 2019).

Namun, ada faktor-faktor tertentu yang mempengaruhi energi fraktur pada beton yang menggunakan metode TPBT. Dalam literatur yang ada, terdapat beberapa penelitian yang mengidentifikasi dan menganalisis faktor-faktor tersebut. Beberapa faktor yang telah diidentifikasi meliputi komposisi beton, perbandingan air

semen, agregat maksimum, dan suhu (Wang et al., 2020)

Dalam artikel ini, dilakukan studi literatur yang bertujuan untuk menggali dan menyusun pemahaman yang komprehensif tentang faktor-faktor yang mempengaruhi energi fraktur pada beton dengan menggunakan metode TPBT. Dengan memahami faktor-faktor ini, diharapkan dapat memberi informasi dan dapat meningkatkan pemahaman tentang perilaku beton dalam menghadapi beban dan fraktur, yang pada akhirnya dapat membantu dalam mendesain struktural yang lebih efektif, berkualitas dan aman. Selain itu, pemahaman tentang faktor-faktor yang mempengaruhi energi fraktur pada beton dengan metode TPBT memiliki kontribusi penting dalam meningkatkan kekuatan dan kinerja struktur beton.

KAJIAN LITERATUR

Beton

Beton adalah material bangunan yang terbuat dari campuran beberapa bahan utama, yaitu semen, air, agregat kasar dan agregat halus. Material ini sering digunakan dalam konstruksi karena memiliki sifat yang kuat, tahan terhadap tekanan, dan dapat dibentuk sesuai dengan kebutuhan (Hamdi, 2022).

Beton memiliki beberapa karakteristik yang menguntungkan, termasuk kekuatan tekan yang tinggi, tahan



terhadap beban yang berat, ketahanan terhadap api, daya tahan terhadap cuaca dan lingkungan yang keras. Beton juga dapat dibentuk dan dicetak sesuai dengan berbagai bentuk dan ukuran yang dibutuhkan dalam konstruksi, membuatnya menjadi material yang serbaguna dalam industri konstruksi bangunan. Beton banyak digunakan dalam pembangunan struktur seperti gedung, jembatan, jalan raya, tanggul, dan masih banyak lagi. Karena sifat-sifatnya yang kuat dan tahan lama, beton merupakan bahan konstruksi yang penting dan umum digunakan di pada konstruksi yang ada di seluruh dunia (Nugraha, 2007)

Energi fraktur

Energi fraktur adalah ukuran energi yang dibutuhkan untuk merusak atau memperpanjang retakan pada suatu benda atau material. Konsep ini berhubungan dengan kegagalan material dan memperhatikan jumlah energi yang diperlukan untuk melanjutkan terbentuknya retakan hingga terjadinya kegagalan struktural (Xu et al., 2018). Energi fraktur merupakan parameter penting dalam analisis mekanika fraktur dan digunakan untuk menggambarkan karakteristik kekuatan dan keuletan material. Dalam konteks material rapuh seperti, logam rapuh, beton dan keramik, energi fraktur menggambarkan sejauh

mana material dapat menahan pertumbuhan retakan sebelum mengalami kegagalan.

Pemahaman tentang energi fraktur membantu dalam merancang dan memprediksi kegagalan material. Dengan menganalisis energi fraktur, insinyur dapat mengevaluasi ketahanan material terhadap retakan, menentukan parameter desain yang optimal dan memperbaiki kualitas material untuk meminimalkan risiko terjadinya kegagalan struktural.

Three-Point Bending Test (TPBP)

Three-Point Bending Test (TPBT) merupakan salah satu metode pengujian yang umum digunakan untuk menguji kekuatan dan keuletan beton. Pengujian ini dilakukan dengan meletakkan balok beton pada dua titik penyangga, kemudian beban akan diterapkan pada titik tengah balok. Metode ini mensimulasikan kondisi beban yang diterapkan pada balok beton dalam aplikasi praktis (Khalilpour et al., 2019).

Pada saat pengujian *Three-Point Bending Test*, balok beton akan mengalami regangan dan tekanan yang berlawanan di titik tengah. Seiring dengan peningkatan beban, retakan akan muncul pada permukaan bawah balok beton. Peningkatan beban akan terus dilakukan hingga balok beton mengalami kegagalan struktural, seperti retak secara signifikan atau patah. Selama pengujian, data yang

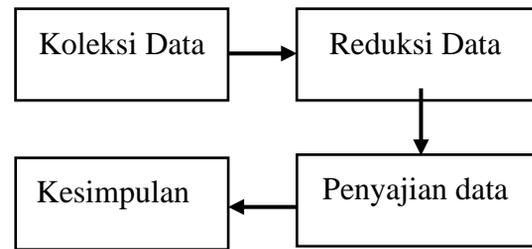


dicatat termasuk beban yang diterapkan dan deformasi yang terjadi pada balok beton. Dari data tersebut, berbagai parameter dapat dihitung, termasuk modulus elastisitas, kekuatan maksimum dan energi fraktur. Analisis data ini memberikan informasi penting tentang sifat mekanik dan kualitas beton yang diuji.

Metode *Three-Point Bending Test* test merupakan metode yang umum digunakan dalam penelitian dan industri konstruksi untuk mengevaluasi performa beton. Dengan memahami karakteristik dan perilaku beton melalui pengujian ini, insinyur dan ahli konstruksi dapat merancang struktur yang lebih aman, berkualitas dan tahan lama.

METODE

Metode yang dipilih pada paper penelitian ini metode deskriptif dengan studi literatur sebagai pendekatannya. Pemilihan metode ini bertujuan untuk mendapatkan faktor apa saja yang mempengaruhi energi fraktur pada beton. Pengolahan data menggunakan metode analisis dari hasil penelitian sebelumnya dan faktor-faktor yang dijadikan sebagai identifikasi beberapa faktor yang dapat mewakili beberapa variabel yang berhubungan. Tahapan penelitian merujuk pada Qibtiya & Kustijono, (2018) Seperti terlihat pada gambar berikut:



HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan faktor yang mempengaruhi energi fraktur pada beton. Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dijabarkan sebagai berikut:

Tahap pertama adalah koleksi data. Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data berupa artikel jurnal yang membahas tentang faktor yang mempengaruhi energi fraktur beton. Adapun artikel jurnal yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) *Effect of water–cement ratio, aggregate type, and curing temperature on the fracture energy of concrete* (Wang et al., 2020)
- 2) *Evaluation of fracture energy, toughness, brittleness, and fracture process zone properties for lightweight concrete exposed to high temperatures* (Dabbaghi et al., 2021)
- 3) *Effect of discarded steel fibers on impact resistance, flexural toughness and fracture energy of high-strength self-compacting concrete exposed to*



elevated temperatures (Mezzal et al., 2021)

- 4) *Aplikasi Size Effect Law pada Beton Marine dengan Pola Buka-an Tarik (2021)*
- 5) *Pengontrolan retak pada beton dengan optimalisasi interaksi komposit beton pada interface zone (Supazaein & Muin, 2021)*
- 6) *Effect of specimen size on fracture energy and softening curve of concrete: Part I. Experiments and fracture energy (Zhao et al., 2008)*
- 7) *A review on concrete fracture energy and effective parameters (Khalilpour et al., 2019)*

Tahap kedua adalah reduksi data, pada tahap ini pokok-pokok permasalahan dalam jurnal dirangkum dan dianalisis sesuai dengan faktor yang mempengaruhi energi fraktur beton. Setelah tahapan reduksi data, kemudian dilakukan penyajian data sebagai berikut:

1. Pada penelitian Wang et al., (2020) yang berjudul *Effect of water–cement ratio, aggregate type, and curing temperature on the fracture energy of concrete* menjelaskan bahwa Energi fraktur beton sangat dipengaruhi oleh kekuatan beton, yang ditentukan oleh W/C, dan jenis agregat kasar. Dengan peningkatan W/C, permukaan retak menjadi lebih kasar. Karena kekuatan

agregat yang lebih rendah, permukaan patahan beton dengan agregat batu kapur lebih halus dibandingkan dengan beton yang mengandung agregat normal untuk W/C tertentu. Temperatur curing memiliki pengaruh yang minimal terhadap energi fraktur beton

2. Pada penelitian Dabbaghi et al, (2021) yang berjudul *Evaluation of fracture energy, toughness, brittleness, and fracture process zone properties for lightweight concrete exposed to high temperatures* menjelaskan bahwa Total energi fraktur (GF) berkurang masing-masing sebesar 84,7 dan 77,3%, untuk NWC dan LWC dengan peningkatan suhu dari 25 hingga 750 °C. Selain itu, energi fraktur dalam WFM berkurang seiring dengan berkurangnya kekuatan pada spesimen NWC dan LWC yang mengalami suhu tinggi.
3. Pada penelitian Mezzal et al, (2021) yang berjudul *Effect of discarded steel fibers on impact resistance, flexural toughness and fracture energy of high-strength self-compacting concrete exposed to elevated temperatures* menjelaskan bahwa Suhu pemanasan yang lebih tinggi juga menyebabkan lebih banyak perubahan mikrostruktural dan menciptakan lebih banyak *microcracks* pada antarmuka antara pasta semen dan agregat



4. Pada penelitian Supazaein & Muin, (2021) yang berjudul Aplikasi Size Effect Law pada Beton Marine dengan Pola Bukaank Tarik menjelaskan bahwa Meningkatkan ukuran agregat maksimum energi fraktur meningkat Dengan menggunakan diameter agregat maksimum 25 mm berbentuk angular terjadi perambatan retak pada permukaan agregat kasar. Agregat kasar yang berbentuk angular dengan diameter maksimum agregat yang besar bisa menjadi penahan retak (crack arrester)
5. Pada penelitian Muin et al, (2020) yang berjudul Pengontrolan retak pada beton dengan optimalisasi interaksi komposit beton pada interface zone menjelaskan bahwa energi fraktur tertinggi: 491.128 N / m didapat dari campuran MSC dengan w/c 0.4 dan agregat dengan diameter maksimum 25 mm, menyusul Hal ini disebabkan karena komposisi dari agregat yang terdistribusi secara menerus tidak memungkinkan rambatan energi di interface zone sehingga energi yang diberikan terserap langsung ke dalam agegat yang dapat mengakibatkan runtuh secara seketika apabila energi yang di serap melebihi kemampuan dari agregat.
6. Pada penelitian Zhao et al, (2008) yang berjudul *Effect of specimen size on fracture energy and softening curve of concrete: Part I. Experiments and fracture energy* menjelaskan bahwa energi fraktur meningkat dengan peningkatan ukuran agregat maksimum, efek ukuran dari energi rekahan tampaknya disebabkan oleh perbedaan bentuk zona proses fraktur sesuai dengan ukuran spesimen dan geometri.
7. Pada penelitian Khalilpour et al, (2019) yang berjudul *A review on concrete fracture energy and effective parameters* menjelaskan bahwa dengan meningkatkan ukuran agregat maksimum, energi fraktur meningkat. Hal Ini disebabkan karena agregat yang lebih besar membutuhkan lebih banyak penyerapan energi baik dengan meningkatkan energi yang dibutuhkan untuk memecah agregat atau perpanjangan jalur perambatan retak untuk berjalan di sekitar agregat sehingga dengan meningkakatkan ukuran agregat maksimum dapat menambah ketahanan beton terhadap retak dan deformasi pada beton.

Berdasarkan penyajian data di atas dapat diketahui bahwa energi fraktur beton atau kemampuan beton dalam menyerap energi sebelum mengalami retak atau patah dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti *Water-cement ratio*, ukuran agregat maksimum dan suhu.



Energi fraktur berbanding terbalik dengan *Water-cement ratio*. Jika *water-cement ratio* meningkat maka nilai energi fraktur beton akan menurun. Dengan menurunnya energi fraktur beton akan menyebabkan menurunnya kekuatan beton

Sedangkan Ukuran agregat maksimum berbanding lurus dengan energi fraktur. Jika semakin besar ukuran maksimum agregat maka semakin besar pula energi fraktur beton. Dengan besarnya energi fraktur beton maka keandalan beton akan meningkat.

Selain itu, suhu juga dapat mempengaruhi energi fraktur beton. Suhu yang lebih tinggi akan menyebabkan lebih banyak terbentuknya retak mikro di area atarmuka yaitu antara semen dan agregat. Retak mikro dapat melemahkan beton dan dapat mengurangi ketahanan beton terhadap beban mekanisnya.

Dengan memahami beberapa faktor yang mempengaruhi energi fraktur diharapkan dapat meningkatkan pemahaman tentang perilaku beton dalam menghadapi beban dan fraktur. Selain itu, dengan memahami faktor-faktor yang mempengaruhi energi fraktur juga memiliki kontribusi penting dalam meningkatkan keandalan dan kinerja struktur beton.

KESIMPULAN

Berdasarkan studi literatur mengenai faktor yang mempengaruhi energi fraktur

beton, dapat di simpulkan bahwa terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi energi fraktur beton yaitu kekuatan beton yang ditentukan oleh *Water-cement ratio*, ukuran agregat maksimum dan suhu. Semakin tinggi *Water-cement ratio* maka semakin rendah energi fraktur beton, semakin besar ukuran agregat maksimum maka semakin besar pula energi frakturnya, sedangkan dengan peningkatan suhu akan menyebabkan energi fraktur menurun dan dapat menyebabkan terbentuknya mikro retak pada beton. Dengan memahami faktor-faktor ini, diharapkan dapat memberi informasi dan dapat meningkatkan pemahaman tentang perilaku beton dalam menghadapi beban dan retak, yang pada akhirnya dapat membantu dalam mendesain struktur yang lebih efektif, berkualitas dan aman.

DAFTAR PUSTAKA

- Dabbaghi, F., Fallahnejad, H., Nasrollahpour, S., Dehestani, M., & Yousefpour, H. (2021). Evaluation of fracture energy, toughness, brittleness, and fracture process zone properties for lightweight concrete exposed to high temperatures. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 116(September), 103088. <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2021.103088>
- Hamdi, fauzan. franky edwin. miswar tumpu. (2022). *Teknologi Beton* (M. Iriato, miswar tumpu (ed.)). CV. Tohar Media.
- Khalilpour, S., BaniAsad, E., & Dehestani,



- M. (2019). A review on concrete fracture energy and effective parameters. *Cement and Concrete Research*, 120(September 2018), 294–321.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.03.013>
- Mezzal, S. K., Al-Azzawi, Z., & Najim, K. B. (2021). Effect of discarded steel fibers on impact resistance, flexural toughness and fracture energy of high-strength self-compacting concrete exposed to elevated temperatures. *Fire Safety Journal*, 121(December 2020), 103271.
<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103271>
- Muin, R. B., Alva, S., Patty, A. H., Fidi, & Arianti, A. (2020). Pengontrolan Retak pada Beton dengan Optimalisasi Interaksi Komposit Beton pada Interface Zone. *Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, April.
- Nugraha, P. & A. (2007). *Teknologi Beton*. CV. Andi Offset.
- Qibtiya, M., & Kustijono, R. (2018). *Keefektifan Penggunaan E-book Untuk Melatihkan Keterampilan Berpikir Kritis*. 49–54.
<https://fisika.fmipa.unesa.ac.id/proceedings/index.php/snf/article/view/63>
- Supazaain, F., & Muin, R. B. (2021). Aplikasi Size Effect Law Pada Beton Marine dengan Pola Buka-an Tarik. *Jurnal Teknik Sipil*, 28(2), 143–154.
<https://doi.org/10.5614/jts.2021.28.2.3>
- Wang, X., Saifullah, H. A., Nishikawa, H., & Nakarai, K. (2020). Effect of water–cement ratio, aggregate type, and curing temperature on the fracture energy of concrete. *Construction and Building Materials*, 259, 119646.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119646>
- Xu, P., Ma, J., Zhang, M., Ding, Y., & Meng, L. (2018). Fracture Energy Analysis of Concrete considering the Boundary Effect of Single-Edge Notched Beams. *Advances in Civil Engineering*, 2018.
<https://doi.org/10.1155/2018/306723>
- Zhao, Z., Kwon, S. H., & Shah, S. P. (2008). Effect of specimen size on fracture energy and softening curve of concrete: Part I. Experiments and fracture energy. *Cement and Concrete Research*, 38(8–9), 1049–1060.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.03.017>