



TINJAUAN LITERATUR: STUDI TENTANG ENERGI FRAKTUR PADA BETON STRUKTURAL MUTU RENDAH DENGAN PENDEKATAN METODE *THREE-POINT BENDING TEST*

Faris Agung Nur Wibowo*¹, Anisah², Rosmawita Saleh³

^{1,2,3} Program Studi S1 Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta

*Corresponding author: farisagungnurwibowo_5415160473@mhs.unj.ac.id

ABSTRACT

This study aims to conduct a literature study on fracture energy in low strength structural concrete using the Three-Point Bending Test method approach. Low strength structural concrete is often used in a variety of construction applications, particularly where high structural strength is not a key requirement. However, a deeper understanding of the fracture behavior of low-strength structural concrete is essential to ensure the long-term reliability and performance of structures built with this material. The Three-Point Bending Test method was used as an experimental approach in this study to analyze the fracture energy of low strength structural concrete. Concrete samples with different composition and strength variations are prepared and placed in suitable testing machines. The Three-Point Bending Test is carried out by applying a load gradually to the concrete sample until cracking occurs. During the test, load range data is taken for further analysis. The results showed that the fracture energy of low strength structural concrete was influenced by several main factors. First, the quality of the concrete has a significant effect on the resulting fracture energy. The higher the quality of the concrete, the higher the fracture energy that can be achieved. The second factor is the composition of the concrete, including the water-cement ratio. A low water-cement ratio can increase the fracture energy of low strength structural concrete. In addition, the influence of aggregate size is also important in the fracture energy characteristics of low strength structural concrete. Aggregates with larger sizes tend to produce higher fracture energy. This can be attributed to the effect of the larger concrete plasticizing zone around the cracks caused by the larger aggregate. In conclusion, the Three-Point Bending Test method can be used effectively to study the fracture energy of low strength structural concrete. A better understanding of these fracture energy characteristics can assist in designing optimal concrete mixes for non-critical structural construction applications. It is important to consider factors such as concrete grade, mix composition, and aggregate size to increase the fracture energy and overall performance of low strength structural concrete.

Keywords: *fracture energy, low strength structural concrete, Three-Point Bending Test.*



ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi literatur tentang energi fraktur pada beton struktural mutu rendah dengan menggunakan pendekatan metode Three-Point Bending Test. Beton struktural berkekuatan rendah sering digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi, khususnya di mana kekuatan struktural tinggi bukan persyaratan utama. Namun, pemahaman yang lebih dalam tentang perilaku fraktur beton struktural berkekuatan rendah sangat penting untuk memastikan keandalan dan kinerja struktur jangka panjang yang dibangun dengan bahan ini. Metode Three-Point Bending Test digunakan sebagai pendekatan eksperimental dalam penelitian ini untuk menganalisis energi fraktur beton struktural mutu rendah. Sampel beton dengan variasi komposisi dan kekuatan yang berbeda disiapkan dan ditempatkan di mesin uji yang sesuai. Three-Point Bending Test dilakukan dengan menerapkan beban secara bertahap pada sampel beton hingga terjadi retak. Selama pengujian, data rentang beban diambil untuk analisis lebih lanjut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa energi fraktur beton struktural mutu rendah dipengaruhi oleh beberapa faktor utama. Pertama, mutu beton berpengaruh signifikan terhadap energi fraktur yang dihasilkan. Semakin tinggi mutu beton, semakin tinggi energi fraktur yang dapat dicapai. Faktor kedua adalah komposisi beton, termasuk rasio air-semen. Rasio air-semen yang rendah dapat meningkatkan energi fraktur beton struktural kekuatan rendah. Selain itu, pengaruh ukuran agregat juga penting dalam karakteristik energi fraktur beton struktural mutu rendah. Agregat dengan ukuran yang lebih besar cenderung menghasilkan energi perpatahan yang lebih tinggi. Hal ini dapat dikaitkan dengan efek zona plastisasi beton yang lebih besar di sekitar retakan yang disebabkan oleh agregat yang lebih besar. Kesimpulannya, metode Three-Point Bending Test dapat digunakan secara efektif untuk mempelajari energi fraktur beton struktural mutu rendah. Pemahaman yang lebih baik tentang karakteristik energi fraktur ini dapat membantu dalam merancang campuran beton yang optimal untuk aplikasi konstruksi struktural yang tidak kritis. Penting untuk mempertimbangkan faktor-faktor seperti mutu beton, komposisi campuran, dan ukuran agregat untuk meningkatkan energi fraktur dan kinerja keseluruhan dari beton struktur berkekuatan rendah.

Kata Kunci: beton struktural mutu rendah, energi fraktur, Three-Point Bending Test.



PENDAHULUAN

Beton merupakan bahan konstruksi yang banyak digunakan dalam berbagai proyek konstruksi, baik itu bangunan, jembatan, maupun infrastruktur lainnya. Kualitas beton memiliki peran yang sangat penting dalam memastikan kekuatan dan keandalan struktur yang dibangun. Beton struktural didefinisikan sebagai beton yang mempunyai kuat tekan minimum 17 MPa pada umur 28 hari (Alkhaly & Fahrurrazi, 2016). Beton mutu rendah adalah jenis beton yang umum digunakan dalam konstruksi perumahan, proyek infrastruktur skala kecil, dan pekerjaan renovasi. Namun, beton mutu rendah memiliki kekuatan yang lebih rendah dibandingkan dengan beton mutu tinggi, sehingga mempengaruhi keandalan struktur yang menggunakannya.

Salah satu kegagalan yang sering terjadi pada beton adalah fraktur. Fraktur beton terjadi ketika tegangan yang diterima oleh beton melebihi batas kekuatan dan keuletannya, sehingga menyebabkan keretakan dan kegagalan struktural (Antoni & Nugraha, 2007). Energi fraktur menjadi parameter penting yang mengatur sebuah keretakan dan kegagalan dalam struktur. Menurut Khalilpour, nilai dari energi fraktur dapat dipengaruhi oleh faktor air semen, ukuran maksimum agregat, ukuran benda uji, perawatan dan juga suhu. Energi fraktur pada beton dapat diketahui dengan

melakukan pengujian, salah satunya menggunakan metode *3 Point Bending Test*. Pengujian yang dilakukan berupa pembebanan pada sebuah spesimen balok sampai balok terbelah menjadi dua bagian (Dabbaghi, Fallahnejad, Nasrollahpour, Dehestani, & Yousefpour, 2021).

Studi mengenai fraktur beton mutu rendah struktural melalui pengujian Three-Point Bending Test menjadi relevan dalam mengatasi permasalahan ini. Pengujian Three-Point Bending Test adalah metode yang umum digunakan untuk menguji kekuatan dan keuletan bahan struktural, termasuk beton (Hillerborg, 1983). Dalam pengujian ini, spesimen beton ditempatkan pada dua dukungan di ujungnya dan diberi beban secara bertahap di tengahnya. Pengujian ini memberikan informasi penting tentang karakteristik mekanik beton, termasuk kekuatan, keuletan, dan energi yang diperlukan untuk menghasilkan fraktur (Malvar & Warren, 1988).

Namun di Indonesia sendiri, penelitian yang secara khusus memfokuskan pada energi fraktur beton mutu rendah melalui pengujian Three-Point Bending Test masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan pengetahuan ini dengan melakukan studi literatur mengenai energi fraktur beton mutu rendah secara struktural. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat



diperoleh pemahaman yang lebih baik tentang faktor-faktor yang mempengaruhi energi fraktur beton mutu rendah, sehingga dapat memberikan panduan yang lebih baik dalam merancang dan memperkuat struktur yang menggunakan beton mutu rendah.

Dengan demikian, studi ini memiliki signifikansi penting dalam bidang rekayasa sipil dan konstruksi, terutama dalam meningkatkan kualitas, keandalan, dan keselamatan struktur beton struktural mutu rendah.

METODE

Metode penelitian yang digunakan yaitu studi literatur dengan pendekatan deskriptif dan data sekunder berupa jurnal, artikel, serta buku dengan tema serupa untuk mendukung penelitian tersebut.

Proses analisis data yang dilakukan merujuk kepada buku Miles & Huberman (1994):

1. Reduksi data: Memilih literatur yang relevan dan sesuai dengan energi fraktur pada beton struktural mutu rendah.
2. Penyajian data: Menganalisis dan mengelompokkan literatur dengan kategori yang ditemukan, serta menyajikannya dalam bentuk tabel dan diagram.

3. Penarikan kesimpulan/verifikasi: Melakukan pemeriksaan kembali literatur yang telah disajikan terhadap literatur yang terkumpul dan penarikan kesimpulan berdasarkan data yang sudah disusun.

HASIL & PEMBAHASAN

1. Beton

Beton sederhana dibentuk oleh pengerasan campuran semen, air, agregat halus, agregat kasar dan campuran tambahan lainnya (Nawy, 2008). Beton memiliki kuat tekan yang besar sementara kuat tariknya kecil. Oleh karena itu untuk struktur bangunan, beton selalu dikombinasikan dengan tulangan baja untuk memperoleh kinerja yang tinggi (Antoni & Nugraha, 2007:2).

Beton normal yang digunakan sebagai material struktur dinamakan beton struktural. Beton ini mempunyai kuat tekan antara 17 MPa – 40 MPa dan berat volume berkisar 2200 kg/m^3 - 2400 kg/m^3 (Alkhaly & Fahrurrazi, 2016).

Menurut Mehta & Monteiro (2001:19), beton dibagi menjadi tiga kategori umum berdasarkan mutu betonnya:

- *Low-strength concrete*: kuat tekan kurang dari 20 MPa (3000 psi).



- *Moderate-strength concrete*: kuat tekan 20 sampai dengan 40 MPa (3000 to 6000 psi).
- *High-strength concrete*: kuat tekan lebih dari 40 MPa (6000 psi).

Dari penjelasan di atas, beton struktural mutu rendah dapat didefinisikan sebagai beton struktural yang memiliki kuat tekan kurang dari 20 MPa. Beton struktural mutu rendah biasanya digunakan dalam konstruksi perumahan, proyek infrastruktur skala kecil, dan pekerjaan renovasi.

2. Karakteristik Beton

Pemilihan bahan teknik untuk aplikasi tertentu harus mempertimbangkan kemampuannya untuk menahan gaya yang diterapkan. Secara tradisional, deformasi yang terjadi sebagai akibat dari beban yang diterapkan dinyatakan sebagai regangan, yang didefinisikan sebagai perubahan panjang per satuan panjang; beban dinyatakan sebagai tegangan, yang didefinisikan sebagai gaya per satuan luas. Bergantung pada bagaimana tegangan bekerja pada material, tegangan dibedakan lebih lanjut satu sama lain: misalnya, tegangan tekan, tarik, lentur, geser, dan torsi. Hubungan tegangan-regangan pada bahan umumnya dinyatakan dalam bentuk kekuatan tekan, modulus elastisitas,

keuletan, dan ketangguhan (Mehta & Monteiro, 2001:19).

2.1. Kuat Tekan

Kekuatan tekan adalah ukuran dari jumlah tegangan yang diperlukan untuk merusak suatu material. Teori tegangan yang bekerja pada beton menganggap beton paling cocok untuk menahan beban tekan; inilah mengapa kekuatan tekan material yang umumnya ditentukan. Karena kuat tekan beton adalah fungsi dari proses hidrasi semen, yang relatif lambat, secara tradisional spesifikasi dan pengujian kekuatan beton didasarkan pada benda uji yang dirawat di bawah kondisi suhu-kelembaban standar untuk jangka waktu 28 hari. Seperti yang dinyatakan sebelumnya, untuk sebagian besar aplikasi struktural, digunakan beton berkekuatan sedang (kuat tekan 17 hingga 40 Mpa).

Dapat disebutkan di sini bahwa kekuatan tarik dan lentur beton masing-masing berkisar antara 10 dan 15 persen dari kekuatan tekan. Alasan perbedaan besar antara kekuatan tarik dan tekan dikaitkan dengan struktur beton yang heterogen dan kompleks (Mehta & Monteiro, 2001:19).

Kekuatan tekan f_c' ditentukan dengan silinder standar (berukuran



150x300 mm) dirawat di bawah kondisi standar laboratorium pada kecepatan pembebanan tertentu, pada umur 28 hari. Spesifikasi standar yang dipakai di Amerika Serikat biasanya diambil dari ASTM C-39 (2003). Perlu dipahami bahwa kekuatan beton karena perbedaan pemadatan dan kondisi perawatan.

ACI (2014) menspesifikasikan percobaan kekuatan rata-rata dari dua silinder yang dites pada umur yang sama, biasanya 28 hari. Mengenai frekuensi percobaan, dalam peraturan ini ditentukan bahwa taraf kekuatan mutu beton individual dapat dianggap memenuhi apabila (1) rata-rata dari tiga set percobaan kekuatan berurutan lebih besar atau sama dengan f_c' dan (2) kekuatan individual (rata-rata dari dua silinder) yang lebih rendah dari $f_c'-500$ psi. Kekuatan beton rata-rata yang harus direncanakan campuran beton harus melebihi f_c' dan besarnya kelebihan kekuatan ini bergantung pada produksi di lapangan.

2.2.Retak

Karena kekuatan tarik beton rendah, struktur beton sering kali retak akibat penyusutan, yang disebabkan oleh perubahan kelembaban atau temperatur. Faktanya, kecenderungan

material mengalami retak adalah salah satu kerugian serius dalam konstruksi beton.

Pada bukunya Antoni & Nugraha (2007), membedakan retak menjadi 3 berdasarkan penyebabnya:

a. Retak akibat penurunan plastis

Retak ini disebabkan perbedaan penurunan sebagai akibat *bleeding*. *Bleeding* mungkin tidak tampak karena penguapan yang lebih cepat dari naiknya air ke permukaan. Retak mengurangi penutup beton. Kadang hal tersebut dapat menimbulkan bahaya korosi.

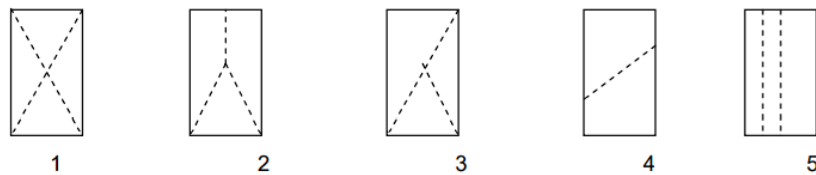
Semua upaya yang mengurangi resiko retak plastis, misalnya faktor air-semen yang rendah, campuran yang lebih kohesif, bentuk agregat yang lebih baik, pemadatan yang baik, perlindungan yang cukup terhadap angin dan perawatan yang baik.

b. Retak akibat susut plastis

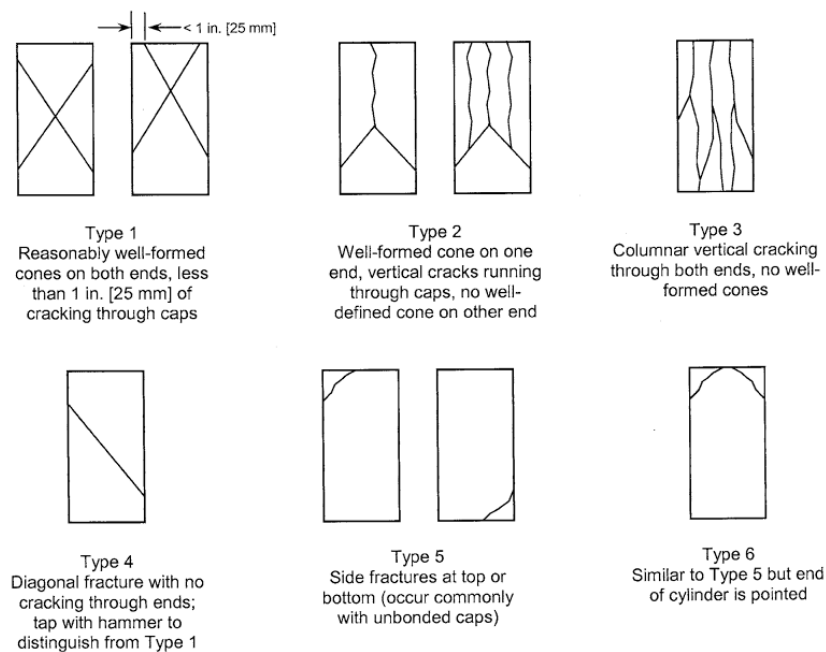
Retak jenis ini disebabkan oleh menguapnya air. Penguapan yang cepat dari kelembaban permukaan yang terekspos dari beton segar bisa terjadi setelah *finishing* dilaksanakan, tapi sebelum perawatab dimulai. Jika pada tahap

ini *bleeding* telah berhenti, tetapi kekuatan tarik beton masih sangat minim, maka kondisi ini kondusif untuk terjadinya retak pensusutan plastis.

Bila kecepatan penguapan lebih dari $1 \text{ kg/m}^2/\text{jam}$, resiko retak penyusutan plastis menjadi tinggi. Pada iklim tropis, kondisi seperti ini adalah umum, apalagi bila temperatur betonnya sendiri sudah tinggi.



Gambar 1. Sketsa Pola Retak Menurut SNI 1974-2011



Gambar 2. Skema Pola Retak Menurut ASTM C39

Pola keretakan yang terjadi saat pengujian benda uji dapat dibagi menjadi beberapa macam pola. Berdasarkan SNI 1974-2011 mengenai pengujian kuat tekan beton silinder (Badan Standarisasi Nasional, 2011),

terdapat lima jenis pola keretakan yang terjadi pada benda uji yakni 1) pola kerucut, 2) kerucut dan belah, 3) kerucut dan geser, 4) geser, serta 5) sejajar sumbu tegak. Sedangkan pada ASTM C39/C39M (2003) dijelaskan

terdapat enam jenis pola keretakan seperti yang tertera pada Gambar 2.

2.3. Energi Fraktur

Energi fraktur diartikan sebagai energi yang dibutuhkan pada sebuah benda uji untuk menghasilkan sebuah retakan. Pengujian energi fraktur dilakukan untuk mengetahui batas dari kapasitas beton saat kapasitas tariknya terlampaui sehingga terjadi retak pada beton. Dapat diketahui bahwa retakan diawali dari regangan pada beton di titik paling lemahnya. Retak-retak mikro tersebut lalu akan membuat sebuah menyatu dan akan membuat beton mengalami kegagalan (Vilela Rocha, Ludvig, Constancio Trindade, & de Andrade Silva, 2019).

Energi fraktur pada beton dapat diketahui dengan melakukan pengujian, salah satunya menggunakan metode 3 Point Bending Test. Pengujian yang dilakukan berupa pembebanan pada sebuah spesimen balok sampai balok terbelah menjadi dua bagian (Dabbaghi et al., 2021). Energi fraktur yang dibutuhkan didapatkan dari perhitungan luasan di bawah kurva LLD pada Gambar 3.

$$G_f = \frac{U_0}{A} \quad (2.1)$$

Dimana: A = area ikatan = $B(W - a_0)$

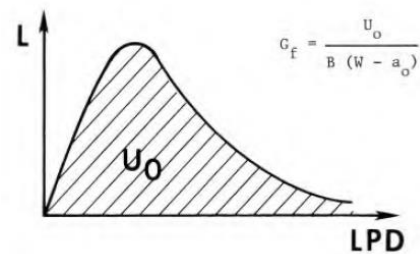
B = ketebalan *notch*

W = ketinggian balok

a_0 = kedalaman *notch*

mg = berat benda uji

d = defleksi pada saat retakan



Gambar 3. Kurva LLD (Malvar & Warren, 1988)

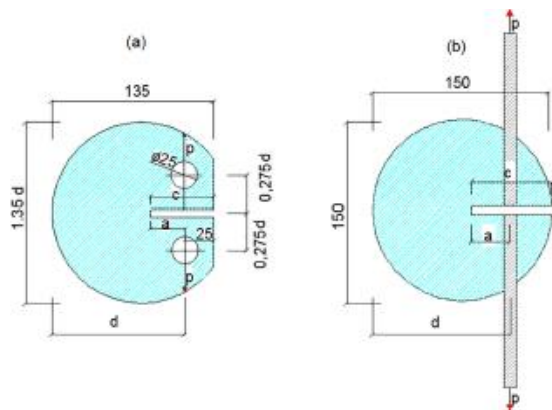
3. Metode Pengujian Energi Fraktur

3.1. Compact Tension Test (CTT)

Wittmann et al. (1988) mengevaluasi energi fraktur beton melalui spesimen metode *compact tension* baru dengan *notch*. Metode ini digunakan untuk memeriksa parameter kepatahan perkerasan aspal dan beton yang lebih umum daripada balok, dimana *disc-shape compacted tension test* (DCTT) dapat dilihat pada referensi (Kim & Buttlar, 2009).

Pentingnya metode ini adalah dapat diterapkan di cetakan laboratorium serta pengeboran inti pada struktur. Dalam metode ini, kedalaman *notch*

maksimum dinaikkan hingga ke tengah benda uji beton, dan lubang berukuran 8 atau 10 mm dirancang untuk penempatan tulangan. Kemudian, dengan menggunakan perangkat untuk menarik tulangan pada kedua atau hanya satu sisi, parameter patahan dapat diperiksa.

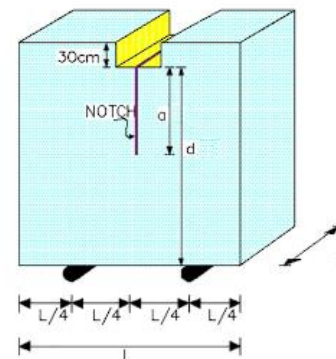


Gambar 4. (a) CTT, (b) Modified CT (Khalilpour et al., 2019)

3.2. Wedge Splitting Test (WST)

Dalam metode ini, baji dan takikan pertama kali dibuat pada spesimen menggunakan gergaji atau cetakan khusus. Benda uji dapat berbentuk silinder dan juga kubus. Untuk memperbaiki benda uji, baji dan takikan ditempatkan pada penyangga linier. Dua bagian rol dipasang pada spesimen untuk mentransfer beban. Lalu terdapat penambahan profil baja dengan dua irisan identik yang dipasang ke benda uji. Beban dalam metode ini diterapkan secara vertikal

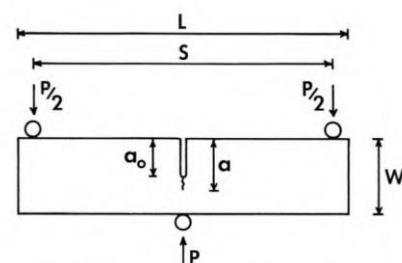
sehingga membagi benda uji menjadi dua bagian.



Gambar 5. Wedge Splitting Test (Khalilpour et al., 2019)

3.3. Three-Point Bending Test (3-PBT)

Metode ini merupakan metode yang digunakan oleh Javier Malvar & Warren (1987) dalam menguji energi fraktur pada beton. Metode ini mengacu kepada pengujian RILEM (1981) dengan perbedaan pada pengujiannya yakni peletakkan takikan pada bagian atas benda uji. Tujuan dari peletakan takikan pada bagian atas yakni agar memudahkan pengaplikasian pewarna yang akan dituangkan kedalam takikan untuk mengetahui pola retakan beton.



Gambar 6. Sistematis Three-Point Bending Test (Malvar & Warren, 1988)



Dari beberapa penelitian di atas, pengujian energi fraktur dengan metode 3-Point Bending Test merupakan pengujian yang dianjurkan oleh RILEM seperti pada penelitian yang dikemukakan Hillerborg (1985).

Energi fraktur menjadi parameter penting yang mengatur sebuah keretakan dan kegagalan dalam struktur. Menurut Khalilpour (2019), nilai dari energi fraktur dapat dipengaruhi oleh faktor air semen, ukuran maksimum agregat, ukuran benda uji, perawatan dan juga suhu.

4. Faktor Yang Mempengaruhi

Tabel 1. Jurnal Yang Digunakan Sebagai Referensi

No	Penulis	Tahun	Judul
1	Hillerborg, A.	1985	Results of three comparative test series for determining the fracture energy GF of concrete.
2	Wittmann, et. al.	1988	Fracture energy and strain softening of concrete as determined by means of compact tension specimens.
3	Mihashi, et. al.	1991	Influence of aggregate size on fracture process zone of concrete detected with three dimensional acoustic emission technique.
4	Monteiro, et. al.	1993	Designing concrete mixtures for strength, elastic modulus and fracture energy.
5	Hassanzadeh, M	1998	The influence of the type of coarse aggregates on the fracture mechanical properties of high-strength concrete.
6	Issa, et. al.	2000	Size effects in concrete fracture: Part I, experimental setup and observations.
7	Yan, et. al	2001	Effect of fracture path on the fracture energy of high-strength concrete.
8	Bharatkumar, et. al.	2005	Effect of fly ash and slag on the fracture characteristics of high performance concrete.
9	Casuccio, et. al.	2008	Failure mechanism of recycled aggregate concrete.
10	Zhang, et. al.	2010	Evaluation of fracture parameters of concrete from bending test using inverse analysis approach.
11	Beygi, et. al.	2014	The influence of coarse aggregate size and volume on the fracture behavior and brittleness of self-compacting concrete.

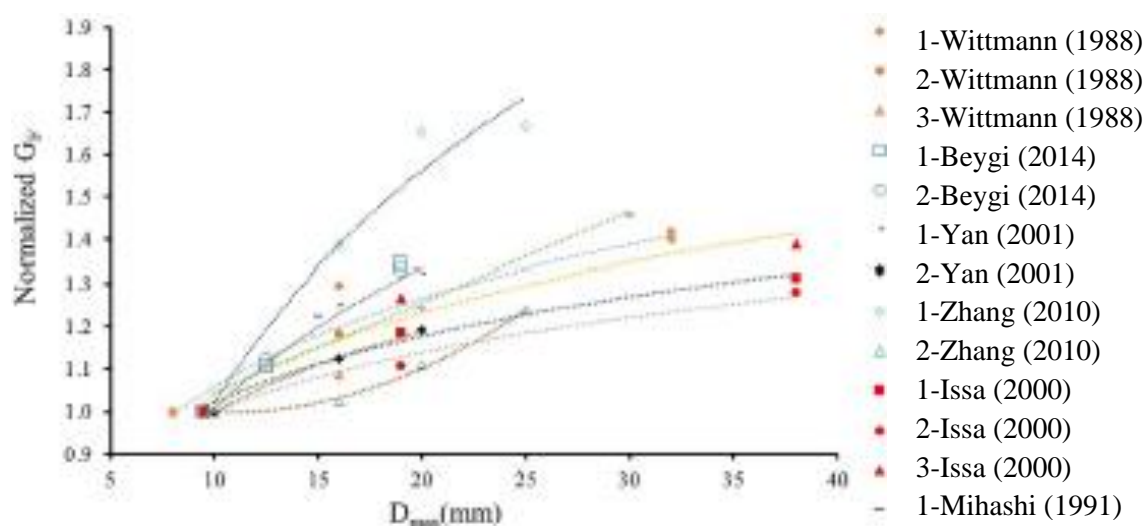


4.1. Besaran Agregat

Agregat dalam beton memainkan peran kerangkanya. Bahkan dapat dikatakan bahwa beton tanpa agregat mengalami sifat mekanik dan energi fraktur yang rendah. Penyelidikan terhadap energi fraktur pasta semen, mortar dan beton mengungkapkan bahwa energi tertinggi berasosiasi dengan beton, mortar dan pasta semen secara berurutan. Dengan bertambahnya dimensi agregat kasar, retakan harus menempuh jalur yang lebih panjang untuk meluas di sekitar agregat kasar. Selain itu, agregat kasar menyebabkan ikatan antar seluruh agregat, sehingga energi yang dibutuhkan untuk penjalaran retak meningkat. Efek lain dari agregat yang lebih besar adalah pada perilaku pasca-puncak spesimen lentur. Hasil

melaporkan bahwa ketika ukuran maksimum agregat meningkat, daktilitas meningkat, kemiringan bagian pasca-puncak menurun dan ekor kurva beban-perpindahan naik.

Variasi energi fraktur digambarkan versus variasi ukuran agregat pada Gambar 7. Karena ukuran agregat kasar minimum 9,5 mm digunakan dalam penyelidikan laboratorium, energi rekahan dari semua desain dinormalisasi menjadi agregat kasar 9,5 mm (nilai dibagi dengan energi rekahan spesimen dengan ukuran agregat sekitar 9,5 mm). Kecuali untuk Zhang et al-2, yang kurvanya polinomial, pada penelitian lainnya, energi rekahan meningkat secara logaritmik dengan meningkatnya ukuran agregat maksimum.



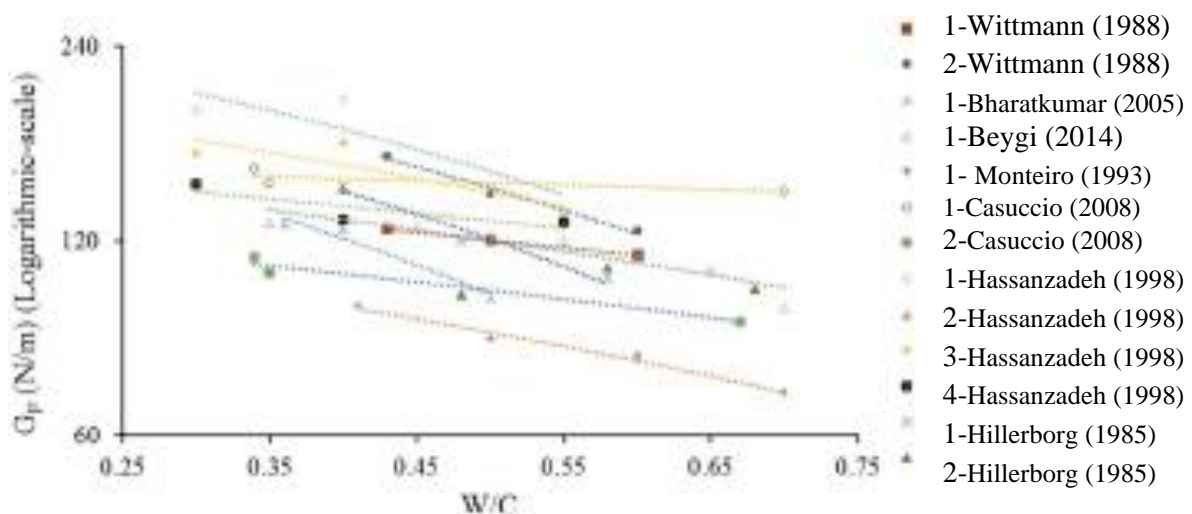
Gambar 7. Variasi Energi Fraktur vs. Perubahan Besaran Agregat (Khalilpour et al., 2019)



4.2. Rasio Air-Semen

Rasio air terhadap semen (w/c) merupakan faktor penting dalam menentukan perilaku dan energi retak beton, sehingga dapat mempengaruhi zona transisi antar muka (*Interfacial Transition Zone*). Antarmuka pasta-agregat, yang memiliki ketebalan antara 10 dan 50 μm , memiliki kekuatan yang lebih rendah daripada agregat dan pasta semen. Karena adanya sejumlah besar retakan mikro di daerah ini, maka rasionya sangat signifikan dalam menentukan energi retakan beton. Dengan mengurangi rasio air-ke-semen, porositas antara pasta dan ITZ berkurang, membuat pasta menjadi lebih kuat. Akibatnya, kekuatan ikatan meningkat. Oleh karena itu, retakan lebih cenderung melewati agregat. Bahkan, dapat dinyatakan bahwa modulus fraktur beton bergeser dari fraktur di sekitar agregat ke fraktur melalui agregat.

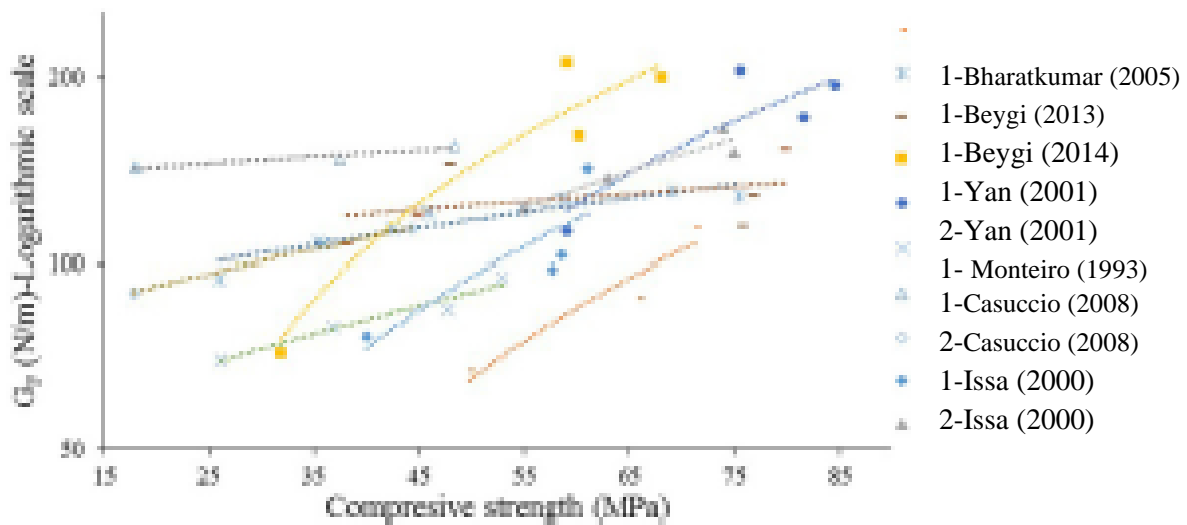
Selain itu, dari perspektif teori fraktal, beton dengan rasio air terhadap pengikat yang lebih rendah menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi, memiliki permukaan patahan yang lebih halus. Menurut teori ini, ketika jalur retak melintasi agregat yang lebih besar, akan mengkonsumsi lebih banyak energi dan dengan demikian menghasilkan energi retak yang lebih tinggi. Mengingat bahwa peningkatan dimensi fraktal, merupakan faktor intrinsik untuk menentukan energi fraktur dan parameter kritis untuk struktur mikro analisis beton.



Gambar 8. Variasi Energi Fraktur dengan Perubahan Rasio Air-Semen di Berbagai Penelitian (Khalilpour et al., 2019)



4.3. Mutu Beton



Gambar 9. Variasi Energi Fraktur dengan Pertambahan Mutu Beton (Khalilpour et al., 2019)

Adapun beberapa penelitian mengenai perubahan yang terjadi pada energi fraktur beton seiring bertambahnya mutu beton seperti pada Gambar 9.

KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, metode *Three-Point Bending Test* digunakan sebagai pendekatan metode untuk menganalisis energi fraktur pada beton struktural mutu rendah. Sampel-sampel beton dengan variasi komposisi dan kekuatan yang berbeda diuji menggunakan metode *Three-Point Bending*, di mana beban diterapkan secara bertahap hingga terjadi retakan pada sampel beton. Data beban-pemuaian diambil selama pengujian untuk menganalisis karakteristik energi fraktur.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa energi fraktur pada beton struktural mutu

rendah dipengaruhi oleh beberapa faktor. Mutu beton memiliki pengaruh yang signifikan terhadap energi fraktur yang dihasilkan. Semakin tinggi kekuatan beton, semakin tinggi energi fraktur yang dapat dicapai. Selain itu, faktor komposisi beton, seperti rasio air-semen dan penggunaan bahan tambahan, juga mempengaruhi energi fraktur. Rasio air-semen yang rendah dan penggunaan bahan tambahan tertentu, seperti fly ash atau slag, dapat meningkatkan energi fraktur pada beton struktural mutu rendah.

Ukuran agregat juga berperan penting dalam karakteristik energi fraktur pada beton struktural mutu rendah. Agregat dengan ukuran yang lebih besar cenderung menghasilkan energi fraktur yang lebih tinggi. Ini disebabkan oleh adanya efek zona plastisasi yang lebih besar di sekitar



retakan yang disebabkan oleh agregat yang lebih besar.

Dengan pemahaman yang lebih baik tentang energi fraktur pada beton struktural mutu rendah, para perancang struktur dan praktisi konstruksi dapat mengoptimalkan penggunaan beton ini dalam aplikasi struktural non-kritis. Penting untuk mempertimbangkan faktor-faktor seperti kekuatan beton, komposisi campuran, dan ukuran agregat dalam merancang campuran beton yang optimal untuk mencapai energi fraktur yang diinginkan.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi yang berharga dalam pemahaman tentang energi fraktur pada beton struktural mutu rendah. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar untuk pengembangan metode dan teknik yang lebih baik dalam merancang dan menggunakan beton struktural mutu rendah dalam aplikasi konstruksi yang tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI. (2014). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318R-14) An ACI Standard and Report from IHS*.
- Alkhaly, Y. R., & Fahrurrazi, F. (2016). Beton Struktural Menggunakan Agregat Pasir - Batu Alam. *Teras Jurnal*, 2(4), 241–250. <https://doi.org/10.29103/tj.v2i4.50>
- Antoni, & Nugraha, P. (2007). TEKNOLOGI BETON. In *CV Andi Offset*. Yogyakarta.
- ASTM C39/C39M. (2003). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens 1. In *ASTM Standard Book*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). SNI 03-1974-2011 : Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. In *Badan Standarisasi Nasional Indonesia*.
- Beygi, M. H. A., Kazemi, M. T., Nikbin, I. M., & Amiri, J. V. (2013). The effect of water to cement ratio on fracture parameters and brittleness of self-compacting concrete. *Materials and Design*, 50, 267–276. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.02.018>
- Beygi, M. H. A., Kazemi, M. T., Nikbin, I. M., Vaseghi Amiri, J., Rabbanifar, S., & Rahmani, E. (2014). The influence of coarse aggregate size and volume on the fracture behavior and brittleness of self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research*, 66, 75–90. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2014.06.008>
- Bharatkumar, B. H., Raghuprasad, B. K., Ramachandramurthy, D. S., Narayanan, R., & Gopalakrishnan, S. (2005). Effect of fly ash and slag on the fracture characteristics of high performance concrete. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 38(275), 63–72. <https://doi.org/10.1617/14107>
- Casuccio, M., Torrijos, M. C., Giaccio, G., & Zerbino, R. (2008). Failure mechanism of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 22(7), 1500–1506. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.03.032>



- 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(August), 103088. <https://doi.org/10.1016/j.tafmec.2021.103088>
- Hassanzadeh, M. (1998). The influence of the type of coarse aggregates on the fracture mechanical properties of high-strength concrete. *AEDIFICATIO Publishers, Fracture Mechanics of Concrete Structures, 1*, 161–170.
- Hillerborg, A. (1983). Concrete Fracture Energy Tests Performed by 9 Laboratories According to a Draft RILEM Recommendation. *REPORT TVBM-3015*, (ISSN-0348-7911).
- Hillerborg, A. (1985). Results of three comparative test series for determining the fracture energy GF of concrete. *Materials and Structures*, 18(5), 407–413. <https://doi.org/10.1007/BF02472416>
- Issa, M. A., Issa, M. A., Islam, M. S., & Chudnovsky, A. (2000). Size effects in concrete fracture: Part I, experimental setup and observations. *International Journal of Fracture*, 102(1), 1–24. <https://doi.org/10.1023/A:1007533218153>
- Javier Malvar, L., & Warren, G. E. (1987). Fracture energy for three point bend tests on single edge notched beams: Proposed evaluation. *Materials and Structures*, 20(6), 440–447. <https://doi.org/10.1007/BF02472495>
- Khalilpour, S., BaniAsad, E., & Dehestani, M. (2019). A review on concrete fracture energy and effective parameters. *Cement and Concrete Research*, 120(March), 294–321. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.03.013>
- Kim, H., & Buttlar, W. G. (2009). Discrete fracture modeling of asphalt concrete. *International Journal of Solids and Structures*, 46(13), 2593–2604. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2009.02.006>
- Malvar, J., & Warren, G. (1988). *Fracture Energy for Three-Point Bend Test on Single-Edge Notched Beams*.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2001). Microstructure, Properties, and Materials. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015, 1*, 684.
- Mihashi, H., Nomura, N., & Niiseki, S. (1991). Influence of aggregate size on fracture process zone of concrete detected with three dimensional acoustic emission technique. *Cement and Concrete Research*, 21(5), 737–744. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(91\)90168-H](https://doi.org/10.1016/0008-8846(91)90168-H)
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook*. sage.
- Monteiro, P. J. M., Helene, P. R. L., & Kang, S. H. (1993). Designing concrete mixtures for strength, elastic modulus and fracture energy. *Materials and Structures*, 26(8), 443–452. <https://doi.org/10.1007/BF02472804>
- Nawy, E. G. (2008). Concrete Construction Engineering Handbook. In Nawy, Edward G. (Ed.), *Concrete Construction Engineering Handbook, Second Edition* (Second Edi). CRC Press.
- RILEM. (1981). 50-FMC Draft Recommendation. *Matériaux et Constructions*, 18(106), 287–290.



- Vilela Rocha, V., Ludvig, P., Constancio Trindade, A. C., & de Andrade Silva, F. (2019). The influence of carbon nanotubes on the fracture energy, flexural and tensile behavior of cement based composites. *Construction and Building Materials*, 209, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.003>
- Wittmann, F. H., Rokugo, K., Brühwiler, E., Mihashi, H., & Simonin, P. (1988). Fracture energy and strain softening of concrete as determined by means of compact tension specimens. *Materials and Structures*, 21(1), 21–32. <https://doi.org/10.1007/BF02472525>
- Yan, A., Wu, K. R., Zhang, D., & Yao, W. (2001). Effect of fracture path on the fracture energy of high-strength concrete. *Cement and Concrete Research*, 31(11), 1601–1606. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00610-X](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00610-X)
- Zhang, J., Leung, C. K. Y., & Xu, S. (2010). Evaluation of fracture parameters of concrete from bending test using inverse analysis approach. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 43(6), 857–874. <https://doi.org/10.1617/s11527-009-9552-5>