

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Teori

2.1.1 Pola Retak pada Beton Silinder

Pola retak pada beton silinder merupakan bentuk serta arah perkembangan retakan yang muncul sebagai respons terhadap gaya atau tegangan yang bekerja pada benda uji, khususnya saat dilakukan pengujian kuat tekan. Pola retak tersebut berfungsi sebagai indikator penting untuk menilai kinerja mekanis beton dan mengidentifikasi jenis kegagalan material yang terjadi. Beton memiliki sifat getas (*brittle*), sehingga ketika menerima tegangan melebihi kapasitasnya, kerusakan umumnya terjadi secara tiba-tiba, terutama pada beton tanpa penguatan serat atau tulangan. Dalam pengujian tekan beton silinder, terdapat beberapa pola retak yang umum diamati. Retak vertikal (*axial cracking*) sering muncul akibat tegangan tekan utama yang melampaui kemampuan beton. Retakan ini berkembang secara sejajar dengan sumbu silinder dan tegak lurus terhadap bidang tekan. Selain itu, retak berbentuk kerucut (*cone-shaped fracture*) sering terjadi pada bagian ujung silinder sebagai akibat gesekan antara pelat mesin uji dan permukaan beton, yang memicu tegangan geser dan menghasilkan keruntuhan berbentuk kerucut. Pola retak diagonal atau spiral juga dapat muncul akibat kombinasi tegangan geser dan tekan, terutama jika terdapat ketidakhomogenan material atau cacat internal pada beton.

Pemahaman terhadap pola retak tersebut sangat penting, baik dalam kajian akademik maupun aplikasi praktis di lapangan. Analisis pola retak memungkinkan insinyur mengevaluasi kekuatan sisa beton, menilai integritas struktural, serta mengukur efektivitas penambahan bahan penguat atau modifikasi campuran yang diterapkan.

2.1.1.1 Beton

Beton merupakan material bangunan komposit yang tersusun atas semen Portland, agregat kasar (kerikil atau batu pecah), agregat halus (pasir), air, serta bahan tambahan tertentu (*admixtures*) apabila diperlukan untuk meningkatkan sifat-sifat khususnya. Karena kemampuannya dalam menahan gaya tekan, kemudahan dalam proses pencetakan, serta ketahanannya terhadap kondisi cuaca ekstrem, beton menjadi

salah satu material konstruksi yang paling penting dan paling banyak digunakan di berbagai jenis infrastruktur. Pada tahap awal, beton berada dalam kondisi plastis sehingga mudah dicetak sesuai bentuk yang direncanakan. Seiring waktu, beton akan mengalami proses pengerasan awal (*setting*) dan pengerasan lanjutan (*hardening*) akibat terjadinya reaksi hidrasi, yaitu reaksi kimia antara air dengan semen yang menghasilkan massa padat dan kuat. Proses hidrasi ini sangat menentukan kualitas akhir beton, baik dari segi kekuatan maupun durabilitas.

Beton memiliki sejumlah keunggulan, seperti kemampuan mengikuti bentuk sesuai desain arsitektural maupun struktural, ketahanan yang baik terhadap api, serta kebutuhan perawatan yang relatif rendah. Namun demikian, beton memiliki kelemahan utama berupa kuat tarik yang rendah, sehingga memerlukan penambahan tulangan baja agar mampu menahan gaya tarik dan lentur. Kualitas beton secara keseluruhan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain komposisi material penyusun, proporsi campuran (*mix design*), proses pencampuran, teknik pengecoran dan prosedur perawatan (*curing*). Selain kuat tekan yang merupakan parameter utama dalam menilai performa beton, sifat-sifat lain seperti kuat tarik belah, porositas, modulus elastisitas, serta ketahanan terhadap lingkungan agresif turut menjadi indikator penting dalam evaluasi mutu dan kinerja beton.

2.1.1.2 Beton Normal

Beton normal merupakan jenis beton yang paling umum digunakan dalam pekerjaan konstruksi, yang diperoleh dari campuran semen Portland, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil atau batu pecah), serta air tanpa penambahan bahan tambahan khusus (*admixture*) maupun modifikasi komposisi lainnya. Beton ini memiliki berat jenis berkisar antara 2.200 hingga 2.500 kg/m³, dengan kuat tekan umumnya berada pada rentang 20 MPa hingga 40 MPa, bergantung pada kualitas material penyusun, proporsi campuran, serta prosedur pengerjaan dan perawatan yang diterapkan.

Dalam aplikasi struktural, beton normal banyak digunakan pada elemen-elemen seperti fondasi, kolom, balok, pelat lantai, serta dinding beton bertulang. Pemilihannya sebagai material konstruksi didasarkan pada ketersediaan bahan yang melimpah, kemudahan pengerjaan (*workability*) yang memadai, serta tingkat durabilitas yang

sesuai untuk kebutuhan bangunan standar. Dengan karakteristik tersebut, beton normal menjadi opsi yang efisien dan ekonomis dalam berbagai proyek konstruksi umum.

Tabel 2. 1 Perkiraan kekuatan tekan (MPa) beton dengan faktor air semen yang biasa dipakai di Indonesia

	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan MPa				
		Pada Umur (Hari)				Bentuk
		3	7	28	29	Bentuk Uji
Semen Portland tipe 1	Batu tak dipecahkan	17	27	37	45	Silinder
	Batu dipecahkan	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat tipe II, V	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu dipecahkan	25	32	45	54	
Semen Portland tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	88	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 03-2834-2000

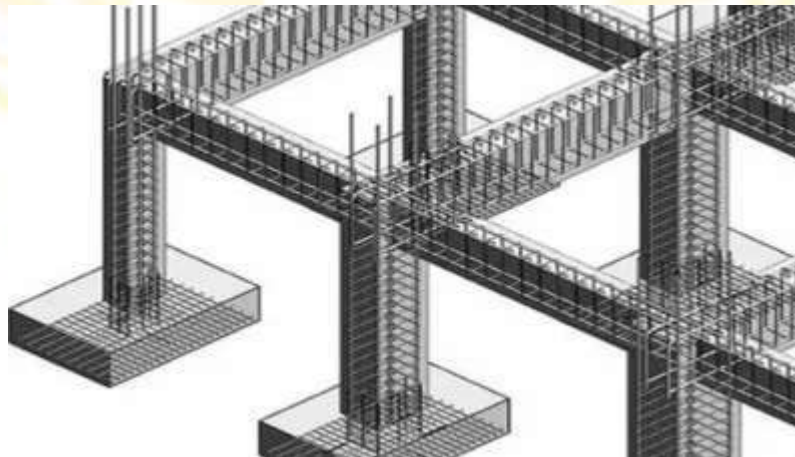
Tabel 2.1 di atas menunjukkan bahwa kuat tekan beton dipengaruhi oleh jenis semen, jenis agregat kasar, serta umur pengujian. Secara umum, beton yang menggunakan agregat batu pecah menghasilkan kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan agregat yang tidak dipecahkan pada umur pengujian yang sama. Jenis semen juga berperan penting dalam perkembangan kekuatan beton: semen portland tipe III memberikan peningkatan kuat tekan paling cepat pada umur-umur awal, sedangkan semen tahan sulfat Tipe II/V menunjukkan perkembangan kekuatan yang lebih stabil dan progresif. Pada seluruh variasi, kuat tekan meningkat seiring bertambahnya umur beton (3-28 hari), baik pada benda uji berbentuk silinder maupun kubus. Dengan demikian, temuan ini menegaskan bahwa pemilihan jenis semen dan agregat merupakan faktor krusial dalam mencapai kekuatan beton yang sesuai dengan kebutuhan struktural.

2.1.1.3 Beton Bertulang

Baja tulangan umumnya digunakan untuk mengatasi kelemahan beton dalam

menahan gaya tarik. Beton bertulang merupakan material komposit yang tersusun atas beton yang terdiri dari semen, agregat kasar, agregat halus dan air yang diperkuat dengan batang baja tulangan. Kombinasi ini dimaksudkan untuk memadukan keunggulan beton yang memiliki kuat tekan tinggi dengan baja tulangan yang memiliki kuat tarik tinggi. Karena sifatnya yang ekonomis, tahan lama, serta memiliki ketahanan yang baik terhadap api dan cuaca, beton bertulang banyak diterapkan pada berbagai elemen struktur, seperti balok, kolom, pelat lantai, jembatan, pondasi dan komponen struktural lainnya.

Prinsip dasar penggunaan beton bertulang adalah pembagian fungsi material, beton berperan menahan gaya tekan dan sebagian gaya lentur, sedangkan baja tulangan menahan gaya tarik yang tidak dapat dipikul oleh beton. Dalam proses konstruksi, baja tulangan ditempatkan dan diikat sesuai dengan detail desain struktur, kemudian dicor dengan beton segar hingga membentuk satu kesatuan. Setelah beton mengeras, hubungan antara baja dan beton bekerja secara monolit sehingga struktur beton bertulang mampu berfungsi secara efektif sebagai satu kesatuan elemen struktural.



Gambar 2.1 Beton bertulang
Sumber: *Google*, Minidepo.id 2023

Gambar 2.1 merupakan ilustrasi yang penulis ambil dari sumber (*Google*) guna mendukung dan memudahkan proses penyusunan penelitian ini. Mengacu pada SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, beton yang digunakan dalam struktur harus memiliki kekuatan serta durabilitas yang memadai. Standar tersebut menetapkan nilai minimum kuat tekan

rencana beton ($f'c$), sementara nilai maksimumnya tidak dibatasi oleh ketentuan khusus. Untuk keperluan perhitungan desain struktur, kuat tekan rata-rata campuran beton yang ditetapkan sesuai dengan Pasal 26.4.3 harus lebih tinggi daripada nilai $f'c$. Penetapan kuat tekan rata-rata yang melebihi $f'c$ tersebut didasarkan pada pertimbangan statistik, sehingga campuran beton yang dirancang memiliki probabilitas yang lebih besar untuk memenuhi atau melampaui nilai kuat tekan rencana pada saat pengujian. Pendekatan ini diterapkan untuk menjamin bahwa kualitas beton yang digunakan dalam konstruksi tetap konsisten dan sesuai dengan standar struktural yang dipersyaratkan.

Tabel 2. 2 Persyaratan untuk beton berdasarkan kelas paparan

			Min MPa	Material Sementisius (2)_Tipe		Material Campuran Tambahan Kalsium Klorida
Kelas Paparan	W/Cm Maks (1)	$F'c$ Min MPa	Semen Portland (7)	Semen Hidrolik Campuran (7)	Semen Hidrolik (7)	
SO	T/A	17	tanpa batasan tipe	tanpa batasan tipe	tanpa batasan tipe	tanpa batas
S1	0,50	28	II (3) (4)	Tipe IP (MS) IS atau IT (MS)	MS	tanpa batas
S2	0,45	31	V (4)	IP (HS) IS (HS) atau IT (HS)	HS	tidak diijinkan
S ²	0,45	31	V+pozzolan atau slag (4)	IP (HS) IS (HS) atau IT (HS) dan plus pozzolan atau slag (4)	HS+ pozzolan atau slag (4)	tidak diijinkan
WO	T/A	17	Tidak ada			
W1	0,50	28	Tidak ada			
			Kandungan Ion Klorida terlarut Maksimum C1 pada beton dalam persen berat semen		Persyaratan Lainnya	
			Beton nonprategang	Beton Prategang		
CO	T/A	17	1,00	0,06	Tidak ada	
C1	0,40	17	0,30	0,06		
C2	0,40	35	0,15	0,06	Tidak ada	

Sumber: SNI 2847: 2019

Tabel 2.2 di atas memuat persyaratan teknis beton berdasarkan kelas paparan lingkungan sebagaimana ditetapkan dalam SNI 2847:2019. Setiap kategori paparan,

mulai dari kondisi tidak korosif hingga lingkungan dengan risiko sulfat tinggi atau paparan klorida yang signifikan, memiliki ketentuan khusus terkait nilai maksimum rasio air-semen (W/C), nilai minimum kuat tekan beton (f'_c), serta jenis semen yang diperbolehkan. Secara prinsip, semakin agresif tingkat paparan lingkungan, semakin ketat persyaratan mutu beton yang harus dipenuhi. Hal ini mencakup penurunan batas maksimum nilai W/C , peningkatan nilai minimum f'_c , serta pembatasan penggunaan jenis semen tertentu, termasuk larangan pemakaian bahan tambah berbasis kalsium klorida.

Selain itu, tabel tersebut juga mengatur batas maksimum kandungan ion klorida dalam beton untuk menjaga ketahanan tulangan terhadap korosi, baik pada beton nonprategang maupun beton prategang. Dengan demikian, tabel ini berfungsi sebagai pedoman fundamental dalam perancangan campuran beton agar mampu mencapai durabilitas sesuai tingkat paparan lingkungan, sehingga memastikan keamanan, keandalan, serta umur layanan struktur dalam jangka panjang.

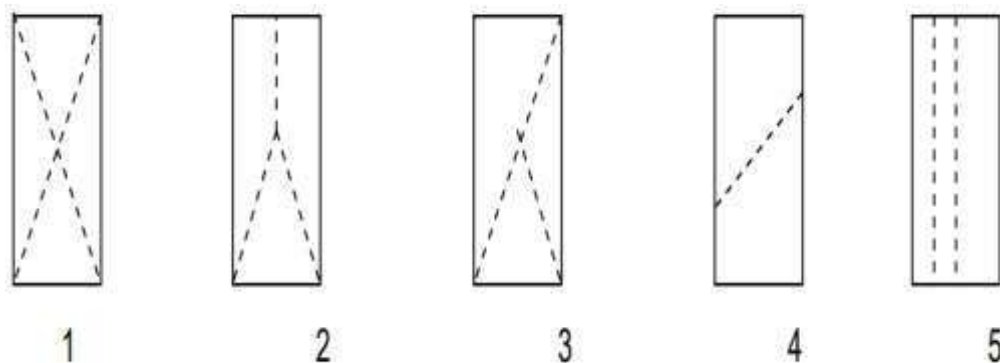
2.1.1.4 Pola Retak pada Beton

Retak pada beton merupakan salah satu indikator awal terjadinya kerusakan atau potensi kegagalan struktural yang sangat penting diamati dalam evaluasi mutu, kekuatan dan ketahanan suatu elemen beton. Retak dapat muncul akibat berbagai faktor, seperti pembebanan berlebih, perubahan temperatur, susut beton, ekspansi, maupun kondisi lingkungan yang agresif. Setiap retak umumnya membentuk pola tertentu yang dipengaruhi oleh bentuk benda uji serta fungsi elemen struktur dalam bangunan. Pola retak tersebut berperan sebagai parameter diagnostik untuk mengidentifikasi penyebab kerusakan, menilai tingkat keparahan, serta menentukan langkah penanganan atau perbaikan yang diperlukan.

2.1.1.5 Pola Retak Pada Beton Silinder

Beton silinder umumnya digunakan sebagai benda uji dalam pengujian kuat tekan di laboratorium. Retak pada beton silinder biasanya muncul ketika benda uji menerima beban aksial secara langsung dari atas. Pola retak yang paling sering dijumpai adalah retak memanjang secara vertikal di sepanjang dinding silinder, terutama ketika mendekati kondisi kegagalan material. Apabila pengujian dilakukan tanpa penggunaan pelat baja atau bantalan yang memadai pada kedua sisi benda uji,

retakan dapat berkembang menjadi pola kerucut geser (*shear cone*), yaitu retak yang membentuk sudut sekitar 45° terhadap sumbu vertikal sebagai indikasi kegagalan akibat gaya geser. Selain itu, retak-retak kecil pada permukaan luar dapat muncul akibat ketidaksempurnaan homogenitas campuran, kualitas ikatan antar agregat, atau adanya cacat internal pada beton.



Gambar 2.2 Tipe/bentuk kehancuran pada benda uji
Sumber: SNI 1974: 2011

Gambar 2.2 di atas menggambarkan berbagai tipe kehancuran yang lazim terjadi pada pengujian kuat tekan beton silinder. Uraian masing-masing tipe keruntuhan adalah sebagai berikut:

1. **Kehancuran Kerucut**

Tipe keruntuhan ini menunjukkan terbentuknya pecahan berbentuk kerucut pada salah satu ujung benda uji, yang terjadi akibat ekspansi lateral selama pembebanan tekan. Pola ini merupakan bentuk kegagalan yang paling banyak ditemui pada beton silinder.

2. **Kehancuran Kerucut dan Belah**

Pola ini ditandai oleh retak memanjang secara vertikal yang muncul bersamaan dengan terbentuknya kerucut pada bagian atas atau bawah. Kombinasi tersebut mengindikasikan adanya interaksi antara tegangan tekan murni dan tegangan tarik lateral dalam proses keruntuhan.

3. **Kehancuran Kerucut atau Geser**

Pada tipe ini, benda uji dapat mengalami pecahan kerucut ataupun bidang geser miring. Perbedaan pola dipengaruhi oleh homogenitas campuran, mutu pelaksanaan dan pola distribusi tegangan saat pengujian. Keruntuhan ini merupakan bentuk transisi antara tekan murni dan geser.

4. **Kehancuran Geser**

Bentuk keruntuhan ini memperlihatkan retakan miring yang tajam dan jelas. Beton gagal ketika tegangan geser yang terbentuk akibat kombinasi tekan vertikal dan geser lateral melebihi kapasitas material. Kegagalan ini bersifat tiba-tiba dan cenderung getas.

5. **Kehancuran Sejajar Sumbu Tegak (*Columnar*)**

Pola ini menampilkan retakan memanjang sejajar sumbu vertikal tanpa disertai kerucut atau bidang geser yang dominan. Keruntuhan tersebut umumnya menunjukkan distribusi tegangan yang seragam sepanjang tinggi benda uji dan sering muncul pada beton berkualitas baik yang mengalami tarik *longitudinal*.

2.1.1.6 Pola Retak Pada Beton Kubus

Retak pada beton berbentuk kubus juga umum diamati dalam pengujian kuat tekan. Karena geometri kubus yang simetris, pola retakan umumnya berkembang dari bagian tengah permukaan menuju tepi atau dari sudut mengarah ke pusat bidang. Pola retak yang paling sering dijumpai adalah retakan diagonal yang membelah kubus menjadi dua bagian dengan sudut sekitar 45° , yang menunjukkan terjadinya kegagalan akibat geser. Selain itu, retakan dapat muncul dari titik penerapan beban dan merambat ke arah permukaan samping. Apabila beban yang diberikan melebihi kapasitas material atau distribusinya tidak merata, retakan dapat berkembang secara acak dan menyebar lebih luas pada seluruh sisi kubus.

2.1.1.7 Pola Retak Pada Struktur Beton (Struktur Balok, Kolom, Plat, dll)

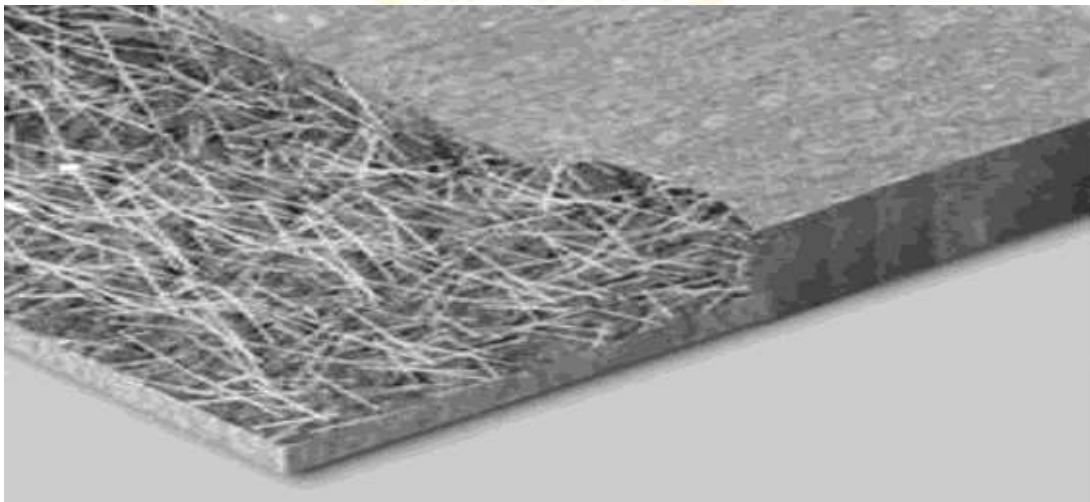
Pada struktur nyata, pola retak yang terbentuk cenderung lebih kompleks karena dipengaruhi oleh kombinasi jenis beban, dimensi elemen, serta kondisi pembebanan yang berubah secara dinamis. Beberapa pola retak yang umum dijumpai pada elemen struktur antara lain sebagai berikut: Retak lentur, yaitu retakan yang terjadi pada balok akibat beban lentur, biasanya muncul di bagian bawah bentang tengah dan berkembang membentuk garis vertikal atau miring ke arah atas. Retak geser umumnya muncul di dekat tumpuan balok atau pada kolom pendek, ditandai dengan pola retakan miring sekitar 45° yang menunjukkan kegagalan akibat tegangan geser. Retak susut berbentuk retakan halus yang menyebar secara acak di permukaan beton akibat kehilangan kelembaban selama proses pengerasan. Retak akibat beban aksial berlebih

terjadi pada kolom beton dan ditandai oleh dominasi retak vertikal ketika elemen mengalami kegagalan tekan aksial. Sementara itu, retak akibat temperatur atau ekspansi biasanya tampak sebagai retakan melintang atau pola acak pada pelat maupun dinding, disebabkan oleh perbedaan suhu antara bagian dalam dan luar beton yang menimbulkan tegangan termal.

2.1.2 Campuran Serat dalam Beton

2.1.2.1 Serat pada Beton

Penggunaan serat dalam beton (*Fiber Reinforced Concrete* / FRC) telah berkembang sebagai salah satu inovasi penting dalam upaya meningkatkan sifat mekanik beton. Serat yang digunakan dapat berasal dari berbagai jenis bahan, seperti baja, polipropilena, nilon, karbon, hingga serat alami. Penambahan serat berfungsi untuk mendistribusikan tegangan tarik secara lebih merata serta menghambat perkembangan retak mikro menjadi retak makro. Secara mekanis, serat bekerja paling efektif pada fase pasca-retak, yaitu saat beton mulai kehilangan kontinuitas akibat tegangan tarik. Pada tahap ini, serat berperan memberikan jembatan pengikat (*bridge effect*) yang menahan pelebaran retak dan mencegah keruntuhan yang bersifat tiba-tiba. Menurut *ACI Committee 544* (1996), penggunaan serat baja terbukti mampu meningkatkan ketangguhan beton dan memperbesar kapasitasnya dalam menyerap energi sebelum mencapai kegagalan struktural. Hal ini menjadikan FRC sebagai material yang lebih aman, lebih daktil dan lebih andal dibandingkan beton tanpa penambahan serat.



Gambar 2.3 Potongan serat dalam beton
Sumber: *Google*, *Mdskontraktor.co.id* 2025

Gambar 2.3 di atas menunjukkan penampang beton yang diperkuat dengan serat baja. Pada bagian yang terbuka terlihat banyak serat baja tipis yang tersebar secara acak di dalam matriks beton. Serat-serat ini berfungsi untuk: meningkatkan ketahanan beton terhadap retak, memperbaiki keuletan dan kemampuan deformasi, serta membantu menahan gaya tarik setelah beton mengalami retak. Secara umum, gambar tersebut menggambarkan beton serat baja (*Steel Fiber Reinforced Concrete / SFRC*), yaitu beton yang dicampur dengan serat baja untuk meningkatkan kinerja mekanis dan ketahanannya.

2.1.2.2 Serat Baja Dramix 3D

Serat baja Dramix 3D merupakan salah satu jenis serat baja modern yang dirancang secara khusus dengan ujung berbentuk kait (*hooked-end*). Bentuk ujung ini memberikan kemampuan anchorage yang lebih baik, sehingga meningkatkan daya cengkeram serat terhadap matriks beton dan memperkuat mekanisme penahan retak. Serat ini diproduksi dengan panjang dan diameter tertentu untuk memperoleh rasio aspek yang optimal, karena rasio aspek (*aspect ratio*) sangat berpengaruh terhadap efektivitas serat dalam memperkuat beton. Menurut Bekaert selaku produsen Dramix, seri Dramix 3D mampu meningkatkan ketahanan beton terhadap retak, meningkatkan keuletan (*ductility*), serta memperbaiki distribusi tegangan internal selama pembebanan.



Gambar 2.4 Serat Dramix 3D

Sumber: Google, fity.club 2025

Gambar 2.4 tersebut menunjukkan serat baja Dramix 3D tipe 65/60 BG, yaitu

salah satu jenis *Steel Fiber* yang digunakan untuk memperkuat beton. Pengertian singkatnya: Dramix 3D 65/60 BG adalah serat baja berkait (*hooked-end*) dengan panjang 60 mm dan diameter tertentu sehingga memiliki *aspect ratio* 65. Serat ini dirancang untuk meningkatkan ketahanan retak, keuletan, serta kemampuan beton dalam menahan beban setelah mengalami retak. Produk ini memenuhi standar internasional seperti EN 14889-1 dan ASTM A820, sehingga kualitas dan kekuatannya terjamin.

2.1.2.3 Serat Basalt

Sifat mekanis dan ketahanannya yang unggul, serat basalt semakin mendapatkan perhatian dalam dunia konstruksi modern, terutama pada pengembangan teknologi beton. Serat ini berasal dari batuan vulkanik yang dilelehkan lalu ditarik menjadi filamen halus, kemudian dicampurkan ke dalam beton untuk meningkatkan kekuatan, ketahanan retak, serta stabilitas terhadap kondisi lingkungan yang berubah-ubah.

Sebagai material yang secara alami bersifat getas (*brittle*), beton konvensional cenderung mudah mengalami retak ketika menerima beban tarik maupun lentur. Penambahan serat basalt berperan sebagai elemen pengendali retak yang bekerja membatasi perambatan retak mikro sebelum berkembang menjadi retak makro. Mekanisme ini tidak hanya meningkatkan ketahanan deformasi beton, tetapi juga memperbaiki performa strukturalnya secara keseluruhan.



Gambar 2. 5 Serat *basalt*
Sumber: Google, id.glassfiberfactory.com

Gambar 2.5 di atas menunjukkan serat *basalt*, yaitu serat halus berwarna coklat

keemasan yang berasal dari batuan vulkanik yang dilelehkan dan ditarik menjadi filamen kecil. Serat ini biasanya ditambahkan ke dalam campuran beton untuk meningkatkan kekuatan, mengontrol retak dan meningkatkan ketahanan terhadap kondisi lingkungan.

2.1.2.4 Kawat Baja Dalam Beton

Kawat baja dalam beton merupakan material tambahan berbentuk kawat logam yang dimasukkan ke dalam campuran beton untuk meningkatkan sifat mekanisnya, terutama dalam hal ketahanan terhadap retak, gaya tarik, serta peningkatan daktilitas beton. Beton pada dasarnya memiliki kelemahan dalam menahan gaya tarik, meskipun sangat baik dalam menahan gaya tekan. Oleh karena itu, penggunaan material tambahan seperti kawat baja menjadi salah satu solusi untuk memperkuat performa beton, terutama dalam struktur yang membutuhkan kekuatan tambahan terhadap gaya dinamis atau beban geser.

Kawat baja yang digunakan dalam beton biasanya berbentuk potongan pendek dan tipis yang disebut serat baja atau serat baja. Selama proses pencampuran, serat ini biasanya tersebar merata di seluruh campuran beton. Kawat baja dapat digunakan sebagai penguat tambahan dalam beberapa situasi. Dalam beberapa kasus, ini dapat dilakukan dalam bentuk tulangan kawat yang dipasang seperti jaring atau mesh, juga dikenal sebagai tulangan kawat. Ini dapat digunakan untuk konstruksi lantai, jalan, atau pelat beton. Kawat baja berfungsi untuk menghentikan dan mengontrol retak, meningkatkan ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue*) dan meningkatkan ketangguhan struktur. Selain itu, penambahan kawat baja dapat meningkatkan ketahanan terhadap benturan dan deformasi, serta daya tahan terhadap perubahan suhu dan kondisi lingkungan yang berbahaya.

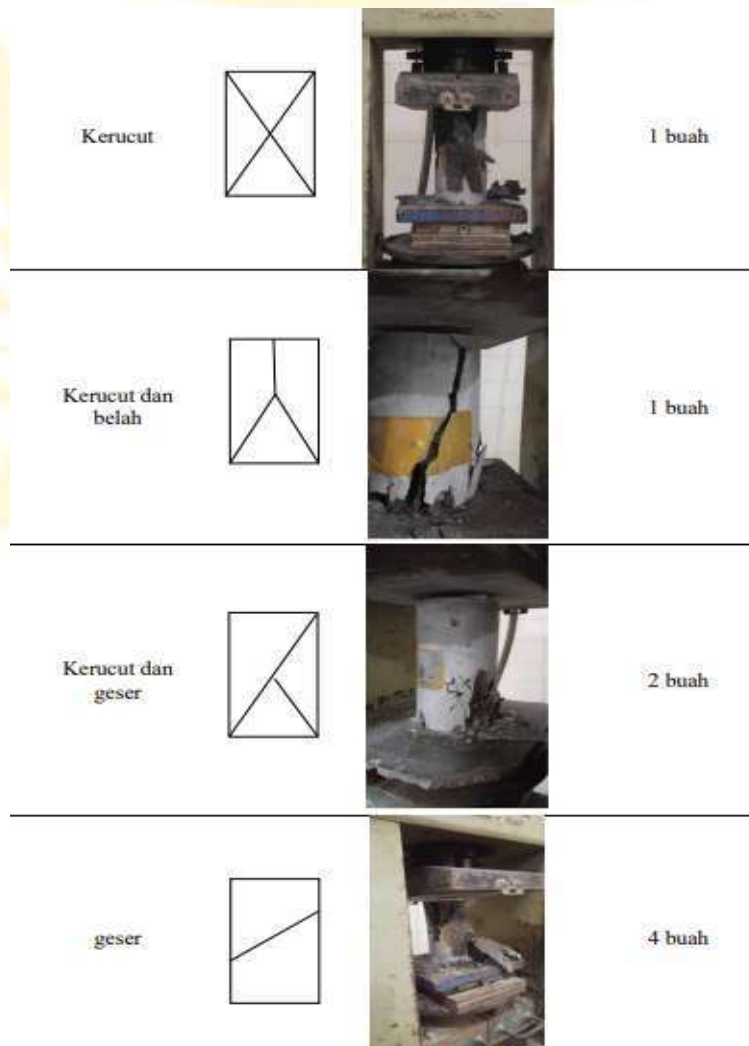
2.2 Penelitian Terdahulu

2.2.1 Kajian Eksperimental Keruntuhan Tekan Benda Uji Beton *Self Compacting Concrete*

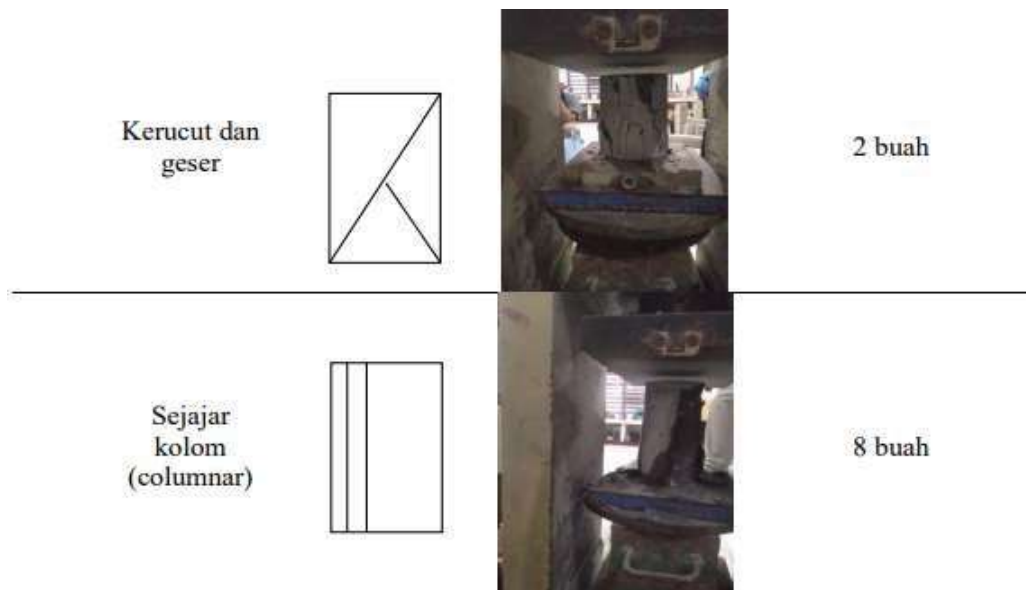
Dalam kajian yang dilakukan oleh IPT Panggabean dan CH Siregar (2019), pola keruntuhan beton menjadi fokus utama karena dapat memberikan gambaran mengenai potensi kesalahan selama proses pengujian. Penelitian tersebut memanfaatkan beton *Self Compacting Concrete (SCC)*, yaitu jenis beton yang mampu mengalir dan

memadat secara mandiri tanpa bantuan getaran, sehingga menghasilkan pengisian bekisting yang lebih merata.

Berbagai parameter diuji untuk melihat pengaruhnya terhadap bentuk keruntuhan beton, meliputi variasi kadar air (standar, -5%, -10%, +5%, +10%), variasi tinggi benda uji (15 cm, 12,5 cm, 10 cm, 8,5 cm dan 7,5 cm), serta variasi umur pengujian. Dari hasil pengamatan, mayoritas spesimen menunjukkan keruntuhan dengan pola retakan sejajar sumbu vertikal, disusul oleh keruntuhan berbentuk kerucut dan keruntuhan geser. Sementara itu, pola keruntuhan berupa kerucut dan belah merupakan yang paling jarang muncul. Temuan tersebut menegaskan bahwa memahami variasi mekanisme keruntuhan beton sangat penting dalam menilai performa dan kualitas material.



Gambar 2.6 Model Keruntuhan pada benda uji variasi kadar air
Sumber: IPT Panggabean, CH Siregar 2019



Gambar 2. 7 Model Keruntuhan pada benda uji variasi tinggi
Sumber: IPT Panggabean, CH Siregar 2019

Gambar 2.6 dan 2.7 di atas memperlihatkan model keruntuhan pada sampel beton yang mencerminkan respons material terhadap beban yang diberikan. Setiap pola retak yang terbentuk merepresentasikan mekanisme kegagalan yang berbeda pada beton silinder. Pola retakan tersebut berfungsi sebagai indikator penting untuk mengidentifikasi bagaimana beton mengalami penurunan kekuatan serta menentukan jenis keruntuhan yang dominan selama proses pengujian.

2.2.2 Kuat Tekan Beton Benda Uji Silinder Dikekang Dengan Bahan Carbon Fiber Wrap

Menurut jurnal Panggabean dan V.A Tarigan (2019), penelitian dilakukan dengan mengevaluasi peningkatan kuat tekan beton pada benda uji yang dilapisi kekangan *Carbon Fiber Wrap*, serta membandingkan pola dan mekanisme keruntuhan antara sampel yang diberi kekangan dan yang tidak. Hasil pengujian menunjukkan adanya peningkatan kuat tekan sebesar 54% pada tipe kekangan pertama dengan orientasi serat standar, serta peningkatan 23% pada tipe kekangan kedua dengan orientasi serat berlawanan. Benda uji tanpa kekangan mengalami keruntuhan sesuai pola yang tercantum dalam standar SNI, sedangkan sampel yang diberi kekangan menunjukkan keruntuhan yang diawali oleh robeknya material *Carbon Fiber Wrap* akibat penambahan beban. Temuan tersebut menegaskan bahwa penggunaan *Carbon Fiber Wrap* tidak hanya meningkatkan kapasitas tekan beton,

tetapi juga mengubah mekanisme keruntuhan yang terjadi pada benda uji.



Gambar 2.8 Keruntuhan benda uji tidak terkekang
Sumber: IPT Panggabean, VA Tarigan (2019)



Gambar 2. 9 Beton uji kuat tekan beton silinder di kekang Carbon Fiber Wrap
Sumber: IPT Panggabean, VA Tarigan (2019)

Gambar 2.8 dan 2.9 di atas merupakan sampel beton silinder yang di uji dengan perbedaan bahan material dimana gambar 2.8 merupakan beton silinder tanpa kekangan *Carbon Fiber Wrap* dan gambar 2.9 merupakan sampel silinder dengan pengujian menggunakan kekangan *Carbon Fiber Wrap*

2.2.3 Perilaku Pola Keretakan Benda Uji Kubus dan Silinder yang Terkekang Terhadap Beban Maksimum Menggunakan Metode Elemen Hingga

Pada bangunan bertingkat, ketahanan struktur terhadap gaya gempa menjadi aspek fundamental yang harus dipenuhi melalui perencanaan penulangan dan sistem sambungan yang tepat. Untuk memperoleh gambaran kinerja material, pengujian kuat tekan beton menjadi salah satu langkah penting karena dapat merepresentasikan respons elemen struktur terhadap beban. Berdasarkan kajian F. Ridzeki (2021), analisis kuat tekan beton dilakukan menggunakan metode elemen hingga pada benda uji kubus berukuran $15\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 15\text{ cm}$ serta $20\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ dengan

jarak sengkang 5 cm dan benda uji silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm yang diberikan pengekan dengan jarak sengkang 5 cm dan 10 cm.

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa nilai beban maksimum, tegangan dan pola keretakan yang terjadi sangat dipengaruhi oleh mutu bahan beton maupun kualitas baja tulangan yang digunakan. Beton dengan mutu yang lebih tinggi cenderung menghasilkan tegangan maksimum yang lebih besar dan pola keretakan yang lebih terkontrol. Selain itu, jarak sengkang terbukti berpengaruh pada peningkatan kapasitas tekan benda uji kubus; semakin rapat jarak sengkang, semakin besar beban maksimum yang dapat ditahan. Namun, pada benda uji silinder, penggunaan pengekan berbentuk persegi dengan variasi jarak sengkang tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai beban maksimumnya. Temuan ini menegaskan bahwa konfigurasi pengekan berperan penting pada beberapa tipe benda uji dan hasil tersebut dapat menjadi dasar dalam merancang detail elemen struktural yang lebih tahan terhadap beban ekstrem, termasuk beban gempa.

2.2.4 Penambahan Serat Kawat Bendrat Pada Beton Mutu Tinggi Terhadap Kapasitas Kuat Tekan Dan Kuat Lentur

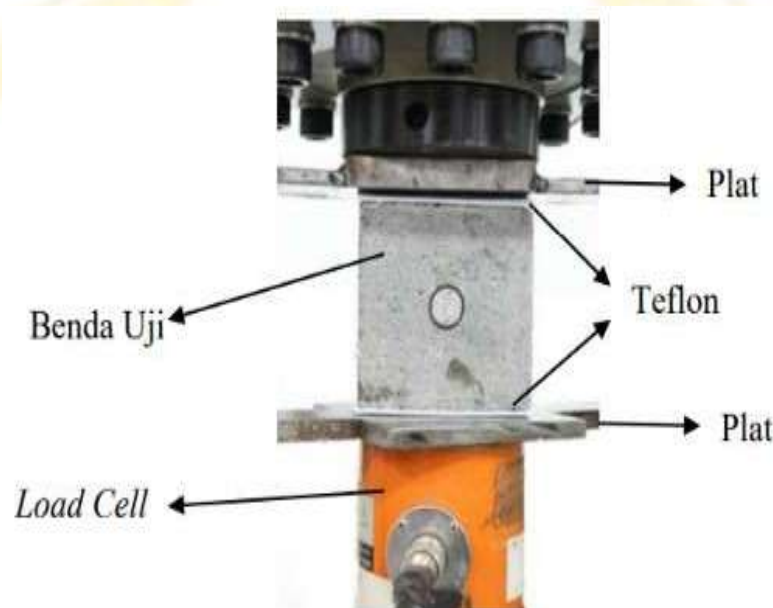
Beton dikenal sebagai material konstruksi yang unggul dalam menahan gaya tekan, namun memiliki kelemahan utama berupa kapasitas tarik yang rendah. Untuk meningkatkan performa tarik dan lenturnya, penelitian Bagus dan Purwanto (2018) menerapkan penambahan serat kawat bendrat ke dalam campuran beton. Penelitian tersebut menggunakan benda uji berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm, serta balok beton berukuran 60 cm × 15 cm × 15 cm. Seluruh pengujian dilakukan pada umur beton 28 hari, dengan variasi kandungan serat berdasarkan volume *fraction* (V_f) sebesar 0%, 0,299%, 0,695% dan 0,990%. Setiap variasi terdiri dari sembilan benda uji yang mencakup enam silinder dan tiga balok.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton mutu tinggi tanpa penambahan serat menghasilkan kuat tekan rata-rata tertinggi, yaitu 50,0118 MPa. Sementara itu, penambahan serat bendrat justru menurunkan kuat tekan, dengan nilai rata-rata masing-masing sebesar 42,2741 MPa pada V_f 0,299%, 41,8967 MPa pada V_f 0,695% dan 39,6320 MPa pada V_f 0,990%. Berbeda dengan kuat tekan, peningkatan volume serat memberikan pengaruh positif terhadap kemampuan tarik belah dan lentur.

Variasi V_f 0,990% menghasilkan nilai tertinggi, yakni kuat tarik belah rata-rata 4,6945 MPa dan kuat lentur rata-rata 7,9133 MPa. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa serat kawat bendrat lebih berperan dalam meningkatkan ketahanan beton terhadap tarik dan lentur, meskipun tidak memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kuat tekan.

2.2.5 Studi Eksperimental Pengaruh Diameter Dan Kuat Tekan Inklusi Terhadap Kuat Tekan Mortar

Studi eksperimental pengaruh diameter dan kuat tekan inklusi terhadap kuat tekan mortar ini diambil dari jurnal dan penulis menggabungkan beberapa hal penting dari jurnal tersebut untuk menjadi dasar penelitian ini. Contoh- contoh perilaku keretakan beton yang diambil dari studi literatur diuraikan di bawah ini. Studi eksperimental pengaruh diameter dan kuat tekan inklusi terhadap kuat tekan mortar oleh: RW Pambudi, W Wardhana, HA Lie, Pengujian kuat lentur balok bertulang menggunakan benda uji silinder. Pengujian yang dilakukan dengan pembebanan uniaksial (satu arah) dan menggunakan *load cell* untuk mengetahui beban maksimum yang dihasilkan. Melalui penelitian ini diharapkan, selain mengetahui pengaruhnya terhadap kuat tekan benda uji, dapat juga mengetahui hubungannya terhadap pola retak benda uji dapat diamati saat pengujian dan dianalisa dengan menggunakan SAP 2000.



Gambar 2.10 Setting alat pengujian

Sumber: RW Pambudi, W Wardhana, HA Lie - Jurnal Karya Teknik Sipil, 2017

Tabel 2.3 Hasil pengujian kuat tekan inklusi

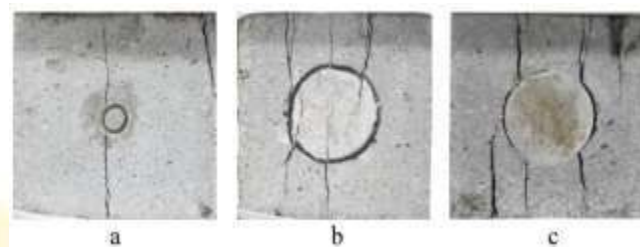
Komponen Material Semen:Pasir	1:3,81	1:3,21	1:2,62	1:2,02	1:1,42
Nilai Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)	23,95	30,11	36,12	41,63	46,80

Sumber: RW Pambudi, W Wardhana, HA Lie - Jurnal Karya Teknik Sipil, 2017

Tabel 2.4 pengujian kuat tekan mortar

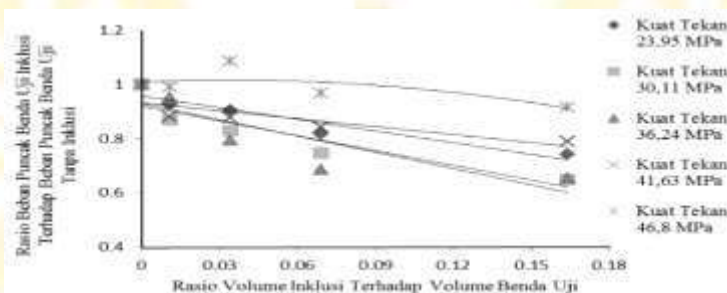
Komposisi Material	Hasil Kuat Tekan Rata-Rata Pengecoran 1 (MPa)	Hasil Kuat Tekan Rata-Rata Pengecoran 2 (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata Mortar (MPa)
1:3,21	29,48	28,84	29,16

Sumber: RW Pambudi, W Wardhana, HA Lie - Jurnal Karya Teknik Sipil, 2017



Gambar 2.11 Benda uji dengan kuat tekan inklusi 23,95 MPa

Sumber: Sumber: RW Pambudi, W Wardhana, HA Lie - Jurnal Karya Teknik Sipil, 2017



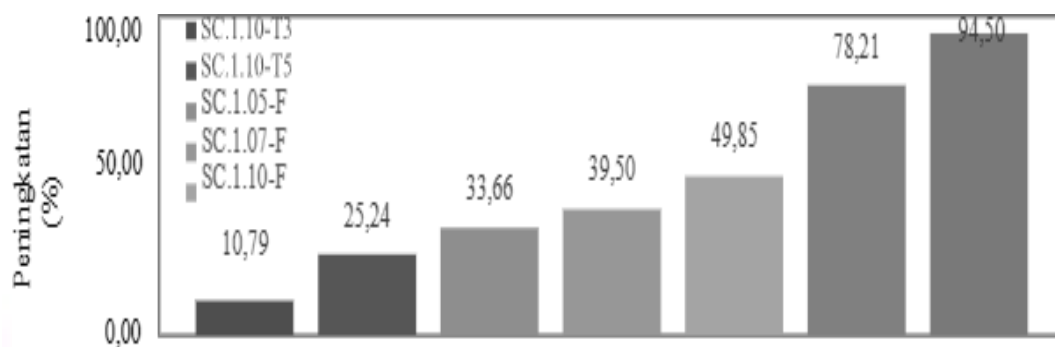
Gambar 2.12 Grafik hubungan pengaruh diameter inklusi terhadap kuat tekan benda uji

Sumber: RW Pambudi, W Wardhana, HA Lie - Jurnal Karya Teknik Sipil, 2017

2.2.6 Pemodelan Silinder Beton Dengan Kekangan *CFRP* (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*)

Pemodelan Silinder Beton Dengan Kekangan *CFRP* (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) ini diambil dari jurnal dan penulis menggabungkan beberapa hal penting dari jurnal tersebut untuk menjadi dasar penelitian ini. Contoh-contoh perilaku keretakan beton yang diambil dari studi literatur diuraikan di bawah ini. pemodelan silinder beton dengan kekangan *CFRP* (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) oleh: BD Cahyo, N Chairunnisa jurnal teknologi berkelanjutan, 2020 pengujian kuat lentur balok bertulang menggunakan benda uji silinder. Penelitian ini bertujuan untuk

mengetahui pengaruh perkuatan kekangan *CFRP* terhadap silinder beton yang dimodelkan dengan perangkat lunak elemen hingga. Silinder beton dengan perkuatan *CFRP* dengan ketebalan 0,5 mm, 0,7 mm dan 1 mm, masing-masing SC.1.05-F, SC.1.07-F dan SC.1.10-F. Selanjutnya, sampel dengan variasi jumlah lapisan 1 lapis dan SC.1.10-T5. Hasil analisis menunjukkan bahwa sampel SC.1.10-T3, SC.1.10-T5, SC.1.05-F, SC.1.07-F, SC.1.10-F, SC.2.10-F dan SC.3.10-F masing-masing menunjukkan peningkatan kapasitas kuat tekan untuk benda uji dengan *CFRP* dibandingkan dengan silinder kontrol (SK).



Gambar 2.13 Persentase peningkatan beban maksimum specimen

Sumber: BD Cahyo, N Chairunnisa - Jurnal Teknologi Berkelanjutan, 2020

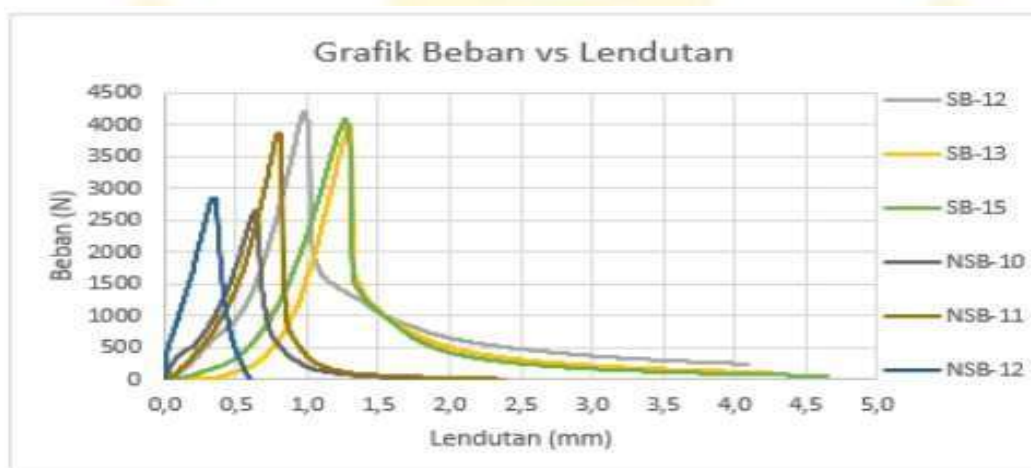
2.2.7 Pengaruh Penambahan Serat *Polypropylene* Terhadap Sifat Mekanik Beton *Expanded Polystyrene*

Pengaruh penambahan serat *Polypropylene* terhadap sifat mekanik beton *Expanded Polystyrene* ini diambil dari jurnal dan penulis menggabungkan beberapa hal penting dari jurnal tersebut untuk menjadi dasar penelitian ini. Contoh-contoh perilaku keretakan beton yang diambil dari studi literatur diuraikan di bawah ini. pengaruh penambahan serat *Polypropylene* terhadap sifat mekanik beton *Expanded Polystyrene* oleh D Maryani, A Lisantono - jurnal teknik sipil, 2023 pengujian kuat lentur balok bertulang menggunakan benda uji silinder Benda uji berupa silinder beton dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm yang akan diuji saat usia beton 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. Pada pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas, serta kuat tarik belah digunakan sekurangkurangnya 3 silinder untuk tiap variasi pengujian, sementara pengujian kuat lentur digunakan sekurang kurangnya 2 balok dengan dimensi 200 x 200 x 700mm.



Gambar 2.14 Setup uji kuat tekan dan modulus elastisitas beton EPS dan Pola keruntuhan benda uji kuat tekan

Sumber: D Maryani, A Lisantono -Jurnal Teknik Sipil, 2023



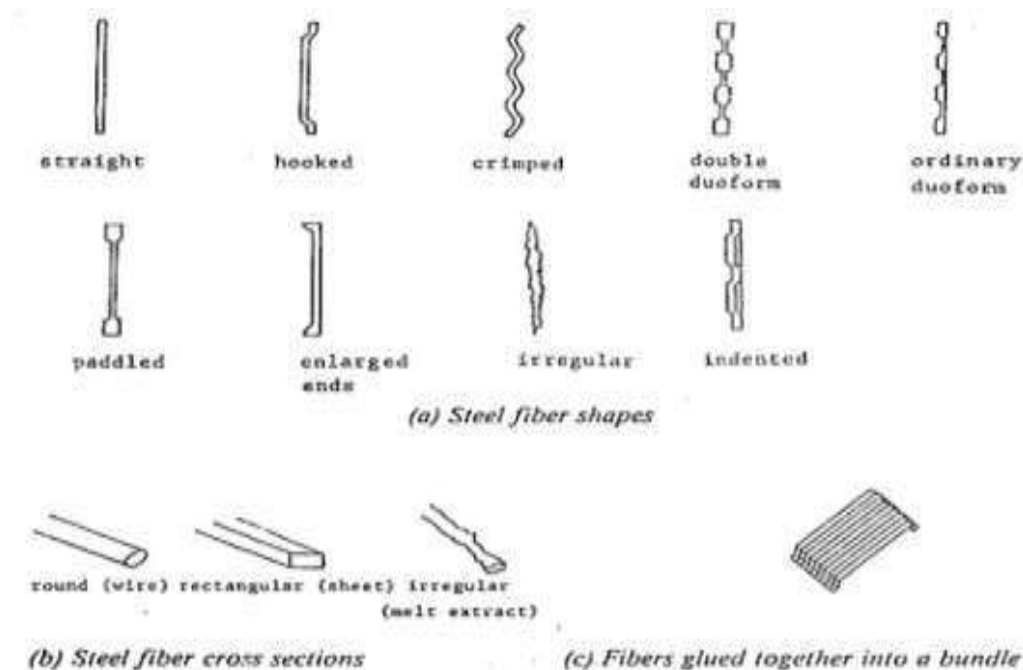
Gambar 2.15 Grafik hubungan beban dan lendutan pada pengujian kuat lentur beton usia 28 hari

Sumber: D Maryani, A Lisantono -Jurnal Teknik Sipil, 2023

2.2.8 Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat Pada Beton Mutu Tinggi Terhadap Kapasitas Kuat Tekan Dan Kuat Lentur

Pengaruh penambahan serat kawat bendrat pada beton mutu tinggi terhadap kapasitas kuat tekan dan kuat lentur ini diambil dari jurnal dan penulis menggabungkan beberapa hal penting dari jurnal tersebut untuk menjadi dasar penelitian ini. Contoh-contoh perilaku keretakan beton yang diambil dari studi literatur diuraikan di bawah ini. pengaruh penambahan serat kawat bendrat pada beton mutu tinggi terhadap kapasitas kuat tekan dan kuat lentur oleh: K Bagus, E Purwanto Jurnal Rekayasa Sipil 2018, Benda uji pada penelitian ini berupa silinder beton dengan

diameter 15 cm dan tinggi 30 cm serta benda uji balok beton dengan dimensi panjang, lebar dan tinggi secara berurutan 60 cm, 15 cm dan 15cm. Pengujian dilaksanakan pada saat beton berumur 28 hari. Sedangkan penambahan serat kawat bendrat dilakukan berdasarkan persentase penambahan *volume fraction* (V_f) terhadap volume beton sebesar 0%; 0,299%; 0,695%; dan 0,990%. Setiap variasi dibuat 9 benda uji terdiri dari 6 silinder dan 3 balok.



Gambar 2.16 Berbagai bentuk geometri serat baja (Soroushin & Bayasi. 1991)

Sumber: K Bagus, E Purwanto Jurnal Rekayasa Sipil 2018

Tabel 2. 4 Hasil analisis keretakan pada balok beton bertulang.

Balok Lentur	<i>first crack</i>	lebar retak awal (mm)	Lebar retak pada beban ke 100 (mm)
BZ 01	60 (41980 N)	0,03	0,18
BZ 02	52 (36500 N)	0,06	0,4
BZ 03	65 (45410 N)	0,02	0,16
BF 03.1	65 (45410 N)	0,04	0,2
BF 03.2	69 (48150 N)	0,04	0,28
BF 03.3	78 (54320 N)	0,08	0,2
BF 07.1	72 (50210 N)	0,02	0,22
BF 07.2	100 (69410 N)	0,04	0,04
BF 07.3	78 (54320 N)	0,02	0,22
BF 1.1	95 (65980 N)	0,03	0,04
BF 1.2	73 (50890 N)	0,01	0,14
BF 1.3	88 (61180 N)	0,02	0,08

Sumber: K Bagus, E Purwanto Jurnal Rekayasa Sipil 2018

Hasil yang dapat di lihat dari gambar 2.16 dan tabel 2.4 di atas menyatakan pada

pengujian rata-rata kuat tekan beton tanpa *fiber* pada umur 28 hari, didapat nilai sebesar 50,0118 MPa sedangkan kuat tekan rata-rata beton fiber pada volume fraction 0,3% sebesar 42,2741 MPa, volume fraction 0,7 % sebesar 41,8967 MPa dan volume fraction 1 % sebesar 39,6320 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya volume fraction kawat bendrat.

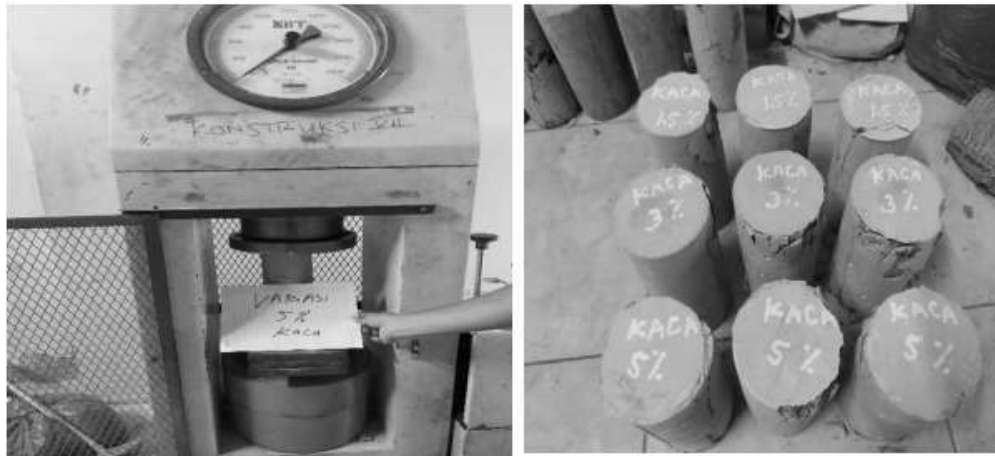
Pada pengujian rata-rata kuat tarik belah beton tanpa fiber pada umur 28 hari, didapat nilai sebesar 3,3734 MPa. Sedangkan kuat tarik belah rata-rata beton fiber pada volume fraction 0,3% sebesar 4,1283 MPa, volume fraction 0,7 % sebesar 4,3406 MPa dan volume fraction 1% 4,6945 MPa. Pada pengujian kuat lentur balok beton bertulang tanpa fiber didapat nilai kuat lentur rata-rata sebesar 5,5062 MPa. Sedangkan nilai kuat lentur rata-rata beton fiber pada volume fraction 0,3 % sebesar 6,5724 MPa.

2.2.9 Pengaruh Material Limbah Kaca Terhadap Kuat Tekan Beton

Pengaruh material limbah kaca terhadap kuat tekan beton, ini diambil dari jurnal dan penulis menggabungkan beberapa hal penting dari jurnal tersebut untuk menjadi dasar penelitian ini. Contoh-contoh perilaku keretakan beton yang diambil dari studi literatur diuraikan di bawah ini. pengaruh material limbah kaca terhadap kuat tekan beton oleh M Fikransyah - 2024, penelitian ini menggunakan studi pendekatan literatur dari nilai kuat tekan dan menjadikan acuan untuk memberikan perbandingan dari kuat tekan yang diperoleh, dalam hal ini penulis membagi beberapa point penting untuk menjadi acuan dan pendukung tulisan penulis dalam penelitian.



Gambar 2.17 Pola retak pada sampel
Sumber: M Fikransyah - 2024



Gambar 2.18 Sampel beton silinder dan proses uji

Sumber: M Fikransyah – 2024

Gambar 2.17 dan 2.18 di atas menunjukkan hasil pengujian sampel beton yang dilakukan sesuai standar penelitian dengan memanfaatkan limbah kaca sebagai bahan tambahan. Pengujian ini bertujuan untuk menilai sejauh mana material limbah kaca dapat meningkatkan kuat tekan beton normal. Pola keretakan yang tampak pada gambar memperlihatkan karakteristik keruntuhan yang umum dijumpai pada uji tekan beton, yaitu pola retak berbentuk kerucut disertai pecahan pada bagian ujung benda uji.

2.2.10 Eksperimental Pengaruh Variasi Panjang *Polypropylene Fiber* Terhadap Performa Beton

Eksperimental pengaruh variasi panjang *Polypropylene Fiber* terhadap Performa Beton, ini diambil dari jurnal dan penulis menggabungkan beberapa hal penting dari jurnal tersebut untuk menjadi dasar penelitian ini. Contoh- contoh perilaku keretakan beton yang diambil dari studi literatur diuraikan di bawah ini.

Pengaruh material limbah kaca terhadap kuat tekan beton oleh AIR Sabara, MR Rifqi, V Vanessa RekaRacana: Jurnal 2023, Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh variasi panjang serat *polypropylene* terhadap kinerja beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa workability beton mengalami pengurangan akibat serat yang mengalami kekusutan terutama pada serat makro. Selain itu diamati juga terjadi peningkatan kuat tekan beton diakibatkan terjadinya peningkatan mechanical bonding. Kuat tarik belah dan lentur murni beton tidak mengalami perubahan signifikan dengan penambahan serat. Namun, Penambahan serat terbukti dapat

membantu mengurangi pelebaran retak secara efektif.



Gambar 2.19 Dokumentasi eksperimen

Sumber: AIR Sabara, MR Rifqi, V Vanessa RekaRacana: Jurnal 2023

Gambar 2.19 di atas menunjukkan proses lengkap pembuatan, perawatan dan pengujian benda uji beton di laboratorium. Tahapannya meliputi penimbangan material, pengadukan campuran beton, pencetakan benda uji, perawatan (*curing*), hingga pengujian kuat tekan dan pengamatan pola retak pada sampel beton. Seluruh rangkaian ini dilakukan untuk memperoleh data karakteristik beton secara akurat, terutama terkait kualitas campuran, ketahanan mekanis dan perilaku keretakannya.

2.3 Narasi Logis

Beton dikenal sebagai material konstruksi yang banyak digunakan karena kekuatan tekannya yang tinggi, ketahanannya terhadap api, serta proses pembuatannya yang relatif mudah. Meskipun demikian, beton memiliki sifat getas (*brittle*) dan kemampuan menahan gaya tarik yang rendah. Keterbatasan tersebut membuat beton rentan mengalami retak, terutama ketika menerima beban aksial maupun beban dinamis berulang. Kehadiran retak tidak hanya menurunkan kapasitas struktural, tetapi juga merusak estetika, mempercepat korosi tulangan, serta mengurangi ketahanan terhadap pengaruh kimia dan perubahan suhu. Oleh karena itu, upaya pengendalian dan pencegahan retak merupakan aspek penting dalam perancangan struktur beton.

Salah satu pendekatan yang berkembang adalah penambahan serat baja ke dalam campuran beton sebagai penguat internal untuk menahan propagasi retak. Serat bekerja dengan menahan perkembangan retak mikro sehingga tidak berkembang menjadi retak yang lebih besar. Dramix 3D merupakan jenis serat baja modern dengan ujung

berkait (*hooked-end*) yang dirancang untuk memberikan daya anchorage yang lebih baik bila dibandingkan dengan kawat baja konvensional. Produk ini dilaporkan mampu meningkatkan ketahanan retak secara signifikan. Penelitian ini berfokus pada evaluasi pengaruh penambahan serat baja Dramix 3D terhadap pola keretakan pada beton silinder. Variasi campuran yang digunakan meliputi beton tanpa serat sebagai kontrol, beton dengan kawat baja konvensional, serta beton dengan penambahan serat Dramix 3D. Secara umum, retak pada beton terjadi akibat ketidakmampuannya menahan gaya tarik, sehingga penguatan menggunakan serat diharapkan dapat memodifikasi pola retak yang muncul selama pengujian.

2.4 Pentingnya Penelitian ini Diperlukan

Pembahasan mengenai sifat dasar beton dan perilaku keretakannya memberikan landasan penting bagi penyusunan identifikasi masalah, rumusan penelitian, batasan, serta tujuan yang ingin dicapai. Kajian ini disusun berdasarkan pemahaman penulis yang didukung oleh standar SNI dan berbagai referensi jurnal untuk memastikan relevansi ilmiah dan ketepatan analisis. Urgensi penelitian terlihat dari perlunya pengendalian retak sebagai upaya menjaga integritas dan kinerja struktur beton.

Penambahan serat baja dinilai memiliki kemampuan dalam memperlambat perkembangan retakan, sementara Dramix 3D, dengan konfigurasi khusus pada ujung serat, menawarkan efektivitas yang lebih tinggi dalam memodifikasi perilaku retak. Pengujian yang dilakukan diharapkan mampu menunjukkan sejauh mana pengaruh serat tersebut terhadap pola keretakan, sehingga hasilnya dapat dimanfaatkan sebagai dasar rekomendasi bagi praktisi teknik sipil dalam memilih material campuran beton yang lebih aman, lebih andal dan lebih tahan terhadap beban maupun kondisi lingkungan.