

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pendahuluan

Pada saat ini beton merupakan salah satu material yang paling sering digunakan dalam konstruksi pembangunan. Setiap tahunnya, sekitar 25 miliar ton beton digunakan secara global. Beton menjadi pilihan utama dalam konstruksi karena harganya yang terjangkau, kekuatan mekanik yang unggul, dan daya tahan yang tinggi (Jiangshan Zhao, 2023). Beton sendiri adalah gabungan semen portland atau jenis semen hidraulik lainnya, agregat kasar, agregat halus, dan air, dengan atau tanpa tambahan lain yang membentuk massa padat (SK SNI 03-2847-2002). Sebagai bahan dalam struktur bangunan, beton memiliki beberapa kelebihan antara lain fleksibilitas dalam pembentukan, kekuatan tekan yang tinggi, dan proses produksi yang ekonomis. Dengan kelebihan yang dimiliki, beton juga memiliki beberapa kekurangan seperti berat yang tinggi, kekuatan tarik yang rendah sehingga mudah mengalami keretakan dan rapuh.

Dalam hal ini perlu adanya inovasi yang mampu mengendalikan retak pada beton dan meningkatkan kekuatan mekanik beton. Inovasi yang dilakukan dengan menambahkan serat sintetis ke dalam campuran beton yang dapat memadat sendiri atau dikenal dengan *self compacting concrete* (SCC). *Self compacting concrete* (SCC) adalah suatu campuran beton yang mempunyai karakteristik dapat memadat dengan sendirinya tanpa menggunakan alat *vibrator* pada saat pemadatan. *Self compacting concrete* (SCC) merupakan inovasi beton mutakhir, dimana beton memiliki *workability* yang tinggi sehingga dapat mengalir dan memenuhi cetakan beton dengan beratnya sendiri tanpa perlu menggunakan alat penggetar (Safarizki, 2017). *Self compacting concrete* merupakan jenis beton yang dapat memperkecil rongga pori-pori beton, sehingga dapat menjadi solusi retak pada beton. *Self compacting concrete* dapat dianggap sebagai material yang ekonomis untuk mengurangi biaya dan waktu yang dibutuhkan untuk menggetarkan beton (T.A Wani, dkk, 2022). Beton adalah bahan dengan kuat tekan tinggi tetapi sekitar sepuluh kali kekuatan tarik lebih kecil. Selain itu, ditandai dengan perilaku rapuh dan tidak memungkinkan mentransfer tekanan

setelah retak. Untuk mengatasi masalah kerapuhan dan meningkatkan karakteristik mekaniknya, penambahan serat ke dalam campuran beton merupakan salah satu solusi yang dapat dipertimbangkan. Hal ini menghasilkan beton yang diperkuat dengan serat (FRC), yaitu material komposit semen dengan penguatan yang terdistribusi dalam bentuk serat, seperti baja, polimer, polipropilena, kaca, karbon, dan jenis serat lainnya (Julia Blazy, 2021).

Menurut ACI Committee 544, beton yang diperkuat dengan serat (fiber reinforced concrete) merupakan campuran beton yang terdiri dari semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan sejumlah kecil serat (fiber). Fiber Reinforced Concrete (FRC) membawa dimensi baru dalam teknologi beton dengan memperkenalkan serat ke dalam bahan dasar semen, yang meningkatkan dimensi dalam teknologi beton (Rohit Chakraborty, 2020). Penambahan serat dalam campuran beton dapat memperbaiki sifat mekaniknya, mengendalikan retakan dengan lebih baik, mengurangi ketebalan plat, dan meningkatkan jarak sambungan yang dapat diterima. Komposisi penambahan serat akan berpengaruh pada kekuatan akhir beton yang dihasilkan, sehingga diperlukan komposisi yang seimbang untuk menghasilkan beton berkualitas sesuai dengan harapan.

Serat sintetis, hasil dari sintesis kimia, digunakan secara luas dalam penguatan beton, termasuk jenis seperti kaca dan *polypropylene* (Rohit Chakraborty, 2020). Serat sintetis terbagi menjadi dua kategori, yaitu serat mikro dengan diameter kurang dari 0,1 mm, dan serat makro dengan diameter lebih besar dari 0,1 mm. Keduanya berperan dalam meningkatkan kinerja mekanik beton, membantu meningkatkan ketangguhan beton, dan memberikan perlindungan lebih baik terhadap retakan (FS Khalid dkk., 2018). Penambahan serat ke dalam beton memungkinkan kontrol yang lebih baik terhadap retakan akibat penyusutan dan pengeringan plastis, serta meningkatkan ketahanan terhadap abrasi. Ini akan meningkatkan kekuatan dan masa pakai struktural dan non-struktural beton. Serat Sintetis mikro dan makro dapat memperkuat struktur dengan mengisi retakan dan meningkatkan kuantitas pemikul beban dari elemen struktural. ECC sangat cocok untuk meningkatkan kemudahan servis dan ketahanan infrastruktur karena memiliki ketahanan retak yang tinggi dan lebar celah yang terkontrol (biasanya kurang dari 100 μ m) (Shrooq Abd Al Kareem, dkk 2021). Jenis serat yang digunakan dalam penelitian ini adalah serat *polypropylene*. Serat *polypropylene* adalah jenis serat polimer yang halus sebagai fragmen lurus atau cacat dari bahan

polimer yang diekstrusi, berorientasi, dan dipotong. Dua jenis serat *polypropylene* dapat dibedakan menurut serat mikro dan serat makro. Terutama, mereka berbeda dalam segi ukuran tetapi yang lebih penting dalam fungsi serat sintesis mikro dan makro ketika dilakukan pencampuran pada beton. Serat makro juga dikenal sebagai serat struktural karena dapat menggantikan tulangan tradisional berupa batang baja dan meneruskan beban yang bekerja pada struktur. (Julia Blazy, dkk. 2021). Serat *polypropylene* merupakan serat yang tidak menyerap air dan memiliki berat jenis rendah yang tidak mempengaruhi sifat fisik dari beton itu sendiri. Serat *polypropylene* ini telah terbukti dapat meningkatkan dan memperbaiki sifat struktural beton (ACI Committee, 1982). Dari beberapa penelitian yang dilakukan bahwa penambahan serat *polypropylene* dapat meningkatkan sifat material beton. Serat *polypropylene* meningkatkan sifat bahan, namun melebihi dosis tertentu akan menyebabkan hasil negatif. Oleh karena itu penting untuk menganalisis komposisi campuran dan sifat serat (bahan, bentuk dan dimensi), tinggi, diameter, kelangsingan) dalam keputusan optimal (Julia Blazy, dkk 2021). Selain kelebihan yang dimiliki, serat juga memiliki kekurangan pada penggunaannya seperti penggunaannya yang kurang nyaman, hidrofobisitas, kemampuan warna yang rendah, akumulasi muatan, kecenderungan menumpuk, dan kurangnya kemampuan mencuci yang terkait dengan sifat hidrofobiknya. Dalam beberapa jenis serat yang digunakan akan sulit dicari atau dibeli. Karena tidak semua serat tersedia di tempat umum seperti besi tulangan yang banyak digunakan untuk memperkuat coran pada beton. Struktur pori yang terdapat dalam beton akan mempengaruhi sifat mekanik beton. Apabila serat yang dicampur dengan beton tidak tersusun dengan rapih maka akan membuat rongga-rongga pori menjadi tidak teratur. Struktur pori yang tidak tersusun rapih akan menimbulkan kelemahan dan kerusakan pada beton.

2.2. Beton yang Diperkuat Serat (*Fiber Reinforced Concrete*)

Beton yang diperkuat serat (*fiber reinforced concrete*) merupakan sebuah inovasi pengembangan teknologi beton dengan menambahkan serat sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan kinerja beton. Serat sintesis sendiri telah banyak digunakan pada campuran beton untuk meningkatkan sifat mekanik beton seperti kuat lentur, modulus elastisitas dan kinerja struktur beton (Husam H. Hussein, dkk. 2018). Melihat kontribusi dari serat mikro dan makro yang memberikan respon positif pada beton, membuat campuran beton yang diperkuat serat (FRC), yang

mengandung serat mikro dan makro, semakin mendapat perhatian untuk dikembangkan lebih lanjut. (Maziar Kazemianet, dkk, 2023). Beton serat terdiri dari bahan-bahan campuran seperti air, semen, agregat serta serat sebagai bahan campurannya. Menurut *ACI Committee 544*, beton yang diperkuat serat (*fiber reinforced concrete*) adalah beton yang dibuat dari campuran semen, agregat halus dan kasar, air serta sedikit serat. Serat yang dicampur pada beton ini berfungsi sebagai kekuatan untuk menahan retak yang terjadi akibat kekuatan tarik atau lentur. Penambahan serat akan meningkatkan sifat mekanik beton dalam variasi serat tertentu. Beton yang diperkuat serat (FRC) diperkenalkan, menciptakan dimensi khusus dalam teknologi beton. Peningkatan kuat tarik beton dapat dicapai dengan menambahkan serat ke dalam material semen. (Rohit Chakraborty, 2020). Beton yang diperkuat serat memiliki kekuatan dalam gaya kejut, kekuatan lentur, kekuatan tarik dan penyusutan berkurang karena keretakan pada beton dapat terjadi akibat penahanan terhadap penyusutan bebas sehingga penambahan serat dapat meminimalisir kerusakan yang terjadi pada beton. Keretakan pada beton dapat dilihat dengan melakukan pengujian mekanik.

Sifat mekanik beton serat dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Beberapa faktor utama yang mempengaruhi sifat beton yang diperkuat serat (FRC) adalah jenis serat, bentuk, kandungan, distribusi dan orientasi, serta sifat matriks. (Iman Sadrinejad, dkk., 2018). Jenis serat tentu akan meningkatkan kekuatan yang berbeda pada setiap campuran beton. Semakin baik serat dan kandungan yang digunakan tentu akan menghasilkan beton dengan mutu yang baik sesuai kebutuhan. Selain itu, ada faktor aspek rasio serat yang menentukan kekuatan mekanik beton. Aspek rasio merupakan perbandingan panjang dan diameter serat. Dengan penambahan serat dapat menjadi solusi untuk mengatasi kelemahan beton terhadap kekuatan tarik yang rendah. Oleh karena itu, penting untuk menganalisis komposisi campuran dan sifat serat (bahan, bentuk dan dimensi: panjang, diameter, kehalusan) sebelum mengambil keputusan mengenai solusi optimal. (Julia Blazy, dkk 2021).

2.3. Beton yang Memadat Sendiri (*Self Compacting Concrete*)

Berkembangnya teknologi dan ilmu pengetahuan mendorong berbagai inovasi dalam bidang konstruksi pembangunan. Beton adalah salah satu bahan utama dalam sebuah pembangunan konstruksi, beton juga memiliki peranan yang sangat penting dalam pembangunan. Salah satu teknologi beton yang sedang

dikembangkan adalah beton yang dapat memadat sendiri atau mengalir sendiri memenuhi rongga-rongga ruangan, yang sering dikenal dengan *self compacting concrete* (SCC). *Self compacting concrete* juga disebut sebagai *self consolidating concrete* (SCC) telah menjadi salah satu inovasi paling penting dalam industri konstruksi dalam beberapa tahun terakhir. *Self compacting concrete* berperan dalam mengisi rongga antara tulangan dan sudut cetakan, jenis beton ini tidak memerlukan pemadatan atau mesin penggetar selama tahap pengecoran (Abhay Patil, dkk 2024).

Pada campuran *self compacting concrete* (SCC) ditambah bahan tambahan yang bersifat *flowability* dan mengurangi penggunaan air pada campuran beton tersebut. Salah satu bahan tambahan yang digunakan adalah *superplasticizer* dengan persentase yang ditentukan pada setiap *job mix design* yang direncanakan. Penambahan serat sintesis mikro dan makro *polypropylene* dapat meningkatkan karakteristik mekanik beton dalam batas dan jumlah tertentu. Penambahan serat sintesis juga akan berdampak buruk pada kinerja beton. penambahan serat ke dalam campuran *self compacting concrete* akan meningkatkan ketahanan retak dan karakteristik beton seperti kuat lentur, kuat tarik, dan ketangguhan. Namun, kandungan serat yang berlebih akan menyebabkan beton lebih sulit untuk diaplikasikan, sehingga dapat menghilangkan keunggulan dari *self compacting concrete* (Aris Aryanto dan Andy Muliohardjo, 2023).

Self compacting concrete dapat mengurangi biaya dan waktu pengerjaan pengecoran, meningkatkan kekuatan tekan dengan penambahan serat sintesis. Permasalahan pada beton *self compacting concrete* (SCC), mungkin pada daktilitasnya. *Self compacting concrete* (SCC), dapat mengalir sendiri dalam cetakan dengan beratnya tanpa menggunakan alat getaran, mengurangi biaya dan waktu. Ada masalah yang harus diselidiki adalah bagaimana meningkatkan daya tahannya terhadap beban benturan, daktilitas, dan kapasitasnya untuk menyerap energi (Picazo, dkk 2018 dan Al-Hadithi, dkk 2019).

2.4. Beton yang Diperkuat Serat Sintesis (*Synthetic Fiber Reinforced Concrete*)

Beton bertulang serat baja (*synthetic fiber reinforced concrete*) adalah salah satu varian yang umum digunakan dalam industri konstruksi bangunan, dihasilkan melalui pencampuran serat secara manual ke dalam beton. Dalam aplikasi struktural, beton bertulang serat baja (SFRC) berperan sebagai tambahan untuk

membatasi retakan, meningkatkan ketahanan terhadap beban benturan atau dinamis, dan mencegah degradasi material (Mo Ly, 2021). Kombinasi serat baja dengan serat *polypropylene* dikenal sebagai koktail serat, yang memberikan efek positif pada struktur saat terpapar suhu tinggi. Proporsi campuran SFRC bergantung pada persyaratan spesifik proyek, termasuk kekuatan dan kegunaan (Nguyen Van Chanh, 2021).

Peningkatan kandungan serat baja dalam campuran beton menyebabkan peningkatan kekuatan lentur beton. Beton memiliki sifat kerapuhan, kekuatan tarik yang rendah, dan kapasitas deformasi yang terbatas. Penggunaan serat baja dalam beton bertulang serat baja (SFRC) telah menjadi populer belakangan ini karena kemampuannya dalam meningkatkan sifat mekanik beton (Wasim Abbass dkk., 2018). Dengan meningkatnya kekuatan lentur beton, kelemahan utama beton, yakni rentan terhadap retak akibat kekurangan kekuatan tarik, dapat diatasi. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat baja meningkatkan deformabilitas dan daktilitas beton, dengan kandungan serat 1% menjadi batas minimum untuk peningkatan respons lentur beton yang signifikan. Serat baja adalah salah satu jenis serat yang umum digunakan untuk memperkuat beton. Kinerja beton bertulang serat baja (SFRC) menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam kekuatan lentur dan daya tahan keseluruhan dibandingkan dengan beton bertulang konvensional. Keuntungan utama beton bertulang serat baja termasuk kemampuannya untuk menahan penyebaran retakan secara makroskopis, mencegah terbentuknya retakan mikroskopis pada tingkat makroskopis, meningkatkan daktilitas dan kekuatan residual setelah terbentuknya retakan pertama, serta ketahanan yang tinggi (Wasim Abbass dkk., 2018).

2.5. Rekayasa Material Komposit Semen yang Diperkuat Serat Sintetis (*Synthetic Fiber Reinforced Concrete*)

Pertama kali diperkenalkan pada tahun 1990an, komposit semen rekayasa (ECC) telah dipelajari secara luas sebagai jenis material semen superplastik baru dengan sifat penanganan tegangan. (Duo Zhang, 2020). *Engineered cement composite* (ECC) merupakan bahan semen yang memiliki kekuatan yang tinggi dan sedang dikembangkan pada dunia konstruksi bangunan. Pertumbuhan konstruksi di Indonesia yang meningkat pesat, membuat kebutuhan bahan bangunan berupa semen juga meningkat. Campuran ECC umumnya dibuat dengan menambahkan

larutan *polivinyl alcohol*, *polypropylene* dan serat *polyethylene*. Beton ECC merupakan material komposit berbahan dasar mortar yang mudah dibentuk dan diperkuat dengan serat polimer pendek pilihan khusus. (Shrooq Abd Al Kareem dkk., 2021). Penambahan serat dalam produksi semen dapat meningkatkan kekuatan material yang dihasilkan. Dikembangkan pada akhir abad ke-20, *engineered cement composite* menunjukkan sifat dari beton berkekuatan tinggi, termasuk sifat pengerasan tegangan yang sangat baik, sifat retak berulang, sifat ikatan serat, sehingga meningkatkan kekuatan struktural. (Shrooq Abd Al Kareem, dkk., 2021).

Engineered cement composite dapat memperbaiki kerusakan akibat bencana gempa bumi atau akibat penggunaan berlebihan secara umum. Ketika tekanan diberikan, ECC cenderung melengkung dan tidak retak saat diberi tekanan. Kerusakan pada beton akan menimbulkan dampak bagi lingkungan sekitar dan masyarakat setempat. Campuran ECC biasanya terdiri dari semen *portland*, agregat dan tambahan berbagai jenis serat. Selain berdampak pada lingkungan, kerusakan bangunan pada beton dapat menjadi sumber biaya pemeliharaan bangunan yang besar. Jika beton retak biasanya akan diperbaiki dengan tambahan semen. Pada beton yang permukaannya tidak terlihat retak, material konstruksi yang jelek dan penuh rongga seringkali menyebabkan rembesan air yang kemudian menimbulkan jamur dan membuat rapuh beton. Selain kelebihan yang dimiliki, ECC dalam pengaplikasiannya memiliki berbagai kekurangan. Salah satu masalah utama ECC adalah tingginya tingkat penyusutan, sehingga menimbulkan penyusutan yang tidak merata dan tegangan tarik tambahan yang berdampak buruk pada kekuatannya. (Thanh Vuong, 2020).

2.6. Sifat Mekanis Beton yang Diperkuat Serat Sintetis

Sifat mekanik beton dapat menggambarkan mutu atau kualitas dari beton. Beberapa sifat mekanik beton antara lain kekuatan tekan, kekuatan tarik, kekuatan lentur, kekuatan geser, kekuatan impak dan modulus elastisitas. Dalam pengaplikasiannya pada sebuah struktur bangunan, sifat mekanik beton direncanakan mutunya sesuai proporsi campuran yang telah dibuat. Manfaat dari perencanaan mutu beton untuk menghasilkan beton yang baik sesuai dengan kebutuhan bangunan.

2.5.1. Kekuatan Dan Perilaku Tekan

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan suatu balok beton mudah hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang ditimbulkan oleh mesin tekan (SNI 03-1974-1990). Pada pengujian kuat tekan beton di laboratorium menggunakan akan alat mesin uji tekan (*compression test machine*). Apabila hasil dari pengujian kuat tekan beton baik, maka beton tersebut secara keseluruhan dapat dikatakan sebuah beton dengan mutu yang baik. Kekuatan tekan beton akan meningkat dengan meningkatnya rasio aspek serat, karena penghambatan pertumbuhan retak secara efektif. (Wasim Abbass dkk., 2018). Kuat tekan beton merupakan salah satu sifat mekanik yang penting pada beton. Selain itu, kekuatan tekan beton akan meningkat seiring bertambahnya umur beton. Pengujian kuat tekan beton biasanya dilakukan pada saat beton berumur 7, 14, 21, dan 28 hari. Tes kompresi dilakukan setelah 28, 56 dan 90 hari. Peningkatan kuat tekan sebesar 36,11%, 45,5% dan 52,4% setelah perlakuan air selama 28, 56 dan 90 hari. (Shrooq Abd Al Kareem dkk., 2021).

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi mutu kekuatan beton seperti, metode pencampuran, proporsi bahan campuran, kondisi pada saat dilakukan pengecoran dan perawatan. Semakin banyak air yang tercampur dalam semen, maka akan semakin rendah mutu dari beton. Untuk meningkatkan mutu beton, dalam pengembangan dunia Teknik sipil dilakukan penambahan campuran serat dalam beton. Makroporositas akan berkurang dengan adanya pengaruh penambahan serat, sehingga akan meningkatkan kuat tekan beton. Dalam hal ini, rumus empiris yang dikembangkan untuk memprediksi sifat mekanik beton yang ditambah serat. (Abousnina, R., dkk., 2021). Serat berfungsi meningkatkan kekuatan tekan beton. Banyak serat yang digunakan dalam campuran beton untuk mencari beton dengan mutu yang baik dengan kelebihan masing-masing. Berdasarkan penelitian sebelumnya, kombinasi campuran serat baja dan *polypropylene* dapat meningkatkan kuat tekan. (Iman Sadrinejad dkk., 2018). Rumus yang digunakan untuk perhitungan kuat tekan beton adalah sebagai berikut:

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

- f'c = kuat desak beton (MPa);
- P = beban maksimum (N);
- A = luas penampang benda uji (mm²).

2.5.2. Kekuatan Dan Perilaku Tarik Lentur

Pada umumnya beton memiliki kekuatan tarik yang rendah, yang membuatnya rentan terhadap retak. Namun, kelemahan ini dapat diatasi dengan menambahkan serat ke dalam campuran beton. Pengenalan beton yang diperkuat serat (FRC) telah menciptakan dimensi baru dalam teknologi beton. Penambahan serat ke dalam material semen dapat meningkatkan kekuatan tarik beton (Rohit Chakraborty, 2020). Kekuatan lentur beton akan meningkat seiring dengan peningkatan kandungan serat, dengan catatan bahwa peningkatan tersebut menurun saat kandungan serat melebihi 1,2 kg/m³ karena distribusi serat yang lebih padat (Chaomei Meng dkk., 2020). Penambahan serat juga meningkatkan kekuatan lentur beton saat terjadi pembebanan, mencegah retak dan kerusakan. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat sintesis secara signifikan meningkatkan kekuatan tarik dan lentur beton (Kazmi, S.M., dkk., 2020).

Kekuatan lentur merupakan kemampuan suatu balok beton dalam menahan gaya tegak lurus sumbu benda uji hingga terjadi keruntuhan, dinyatakan dalam satuan megapascal (MPa). Pada pengujian, balok beton diberi beban hingga patah pada titik tertentu, biasanya di tengah balok, yang terjadi karena momen lentur. Kuat tarik lentur dan kuat tekan beton memiliki hubungan korelasi, dimana semakin tinggi kuat tekan beton, semakin tinggi pula kuat tarik lentur beton. Perencanaan pencampuran yang baik akan memengaruhi kekuatan tarik lentur beton, dan penambahan serat dapat meningkatkan kekuatan tarik secara signifikan (Wasim Abbas dkk., 2018).

$$f_r = \frac{PL}{bd^2} \dots\dots\dots(2.2)$$

keterangan:

f_r = modulus of rapture (MPa)

P = beban maksimum (N)

L = panjang bentang (mm)

b = lebar spesimen (mm)

d = tinggi spesimen (mm)

2.5.3. Kekuatan Dan Perilaku Tarik Belah

Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan dengan menggunakan mesin uji tekan (CTM). Pengujian dilakukan pada umur beton yang telah ditentukan, dengan benda uji diletakkan mendatar sejajar. Data yang diperoleh dari pengujian ini

berupa gaya tekan maksimum yang diubah menjadi nilai kuat tarik beton. Menurut SNI 03-2491-2002, nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji tekan. Pada komposit yang diproduksi tanpa serat mikro, komposit yang mengandung serat makro PVA memberikan kekuatan tarik 11–23% lebih tinggi dibandingkan komposit yang mengandung serat makro AR dan PP. Setelah penambahan serat mikro kinerja campuran yang mengandung serat makro PVA akan menurun. (Maziar Kazemianet, dkk., 2023). Banyak jenis serat yang dapat meningkatkan kuat tarik belah beton. Beberapa jenis serat yang dapat digunakan seperti serat *polypropylene*, *polyethylene*, serat alami, serat baja dan lain sebagainya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat *polypropylene* dan PO meningkatkan kekuatan tarik belah sampel campuran serat sebesar 3-23% dibandingkan sampel campuran kontrol. (Iman Sadrinejad dkk, 2018). Kuat tarik belah bereaksi lebih sensitif terhadap penambahan campuran serat pada beton dibandingkan dengan kuat tekan dan menunjukkan peningkatan yang lebih besar dengan fraksi volume serat yang sama. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kemampuan kerja beton bertulang serat sedikit mengalami penurunan, untuk seluruh sifat mekanik dan mikrostruktur meningkat secara signifikan. Diketahui kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat rekat beton dengan dosis serat 6 kg/m³ meningkat masing-masing sebesar 19,4%, 41,9% dan 17,8% dibandingkan sampel beton normal. (Abousnina, R., dkk., 2021). Rumus yang digunakan untuk perhitungan kuat tarik belah beton adalah sebagai berikut:

$$f_t = \frac{2P}{\pi.L_s.D} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

f_t = kuat belah beton (N/mm²)

P = beban maksimum yang diberikan (N)

D = diameter silinder (mm)

L_s = tinggi silinder (mm)

2.5.4. Tegangan Regangan Dan Modulus Elastisitas

Jika beban yang diterima oleh balok didukung oleh beton dan tulangan yang relatif kecil dan tegangan eksternal pada beton lebih rendah dari modulus tariknya, serat penampang akan efektif dalam menahan beban bersama dengan baja tulangan. Namun, ketika beban meningkat hingga melebihi kuat tarik beton, tegangan tarik

pada serat luar akan melampaui modulus tariknya, menyebabkan retakan tarik terjadi. Penelitian menunjukkan bahwa beban ultimit rata-rata pada balok beton poliuretan yang diperkuat dengan jaring serat karbon meningkat sebesar 47,3% dibandingkan dengan sampel konvensional, dan rata-rata regangan kegagalan meningkat sebesar 68,9% (Ding, H. dkk., 2021).

Perilaku kurva tegangan-regangan adalah parameter penting yang menggambarkan tingkat ketangguhan suatu material. Kurva tegangan-regangan tekan adalah sifat mekanik fundamental dari beton yang diperkuat serat (Meheran Khan dkk., 2022). Modulus elastisitas, yang mengukur resistensi benda terhadap deformasi elastis saat diberi beban, juga dipengaruhi oleh penambahan serat pada beton. Jenis dan volume serat dapat memengaruhi modulus elastisitas dan rasio Poisson. Studi menunjukkan bahwa jenis dan volume serat mempengaruhi dinamika modulus elastisitas dan rasio Poisson pada berbagai jenis beton (Carrillo, J., dkk, 2019). Penelitian juga menemukan bahwa campuran serat dengan serat yang lebih panjang cenderung memiliki modulus elastisitas yang lebih rendah dibandingkan dengan campuran yang sama tetapi dengan serat yang lebih pendek (Jawad Ahmad, 2023). Nilai modulus elastisitas *self compacting concrete* diperoleh dari hasil uji tekan dengan mengukur nilai beban versus deformasi aksial tekan pada benda uji silinder. Sedangkan, tegangan merupakan besarnya gaya yang diberikan terhadap luas penampang. Regangan adalah pertambahan Panjang suatu benda terhadap panjang mula-mula yang disebabkan adanya gaya dari luar yang mempengaruhi. Rumus yang digunakan untuk perhitungan tegangan regangan dan modulus elastisitas adalah sebagai berikut:

$$\text{Tegangan } (\sigma) = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$\text{Regangan } (\epsilon) = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

P = Beban yang diberikan (ton)

A = Luas tampang melintang (mm²)

ΔL = Perubahan panjang akibat beban P (mm)

L = Panjang semula (mm)

$$\text{Modulus Elastisitas } (E) = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - 0,00005} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

σ₂ = Tegangan pada beban elastis (MPa)

σ_1 = Tegangan pada regangan 0,00005 (MPa)

ϵ_2 = Regangan pada beban (P) elastis

0,00005 = Koreksi sebagai akibat pembebanan (ketentuan)