

FORMULASI FAKTOR MODIFIKASI KUAT TARIK BELAH UNTUK KUAT GESER BETON TANPA AGREGAT KASAR

Daniel Christianto¹, Wati Asriningsih Pranoto², Andrew Hartanto Jusuf³, Dhea Angelica Kho⁴, dan Taviero⁵

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
danielc@ft.untar.ac.id

²Program Studi Doktor Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
watip@ft.untar.ac.id

³Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
andrew.327231009@stu.untar.ac.id

⁴Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
dhea.325220017@stu.untar.ac.id

⁵Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jl. Sukolilo, Surabaya, Indonesia
taviero@ce.its.ac.id

Masuk: 18-02-2024, revisi: 02-03-2024, diterima untuk diterbitkan: 05-03-2024

ABSTRACT

One way to create high strength concrete is to eliminate coarse aggregate from the concrete mixture. The lack of recommendations for the design of concrete without coarse aggregate can cause failures that must be avoided, especially brittle shear failures. One way to account for the properties of the concrete without coarse aggregate is to use a splitting tensile strength factor in the normalweight concrete shear strength equation. In this research, cylindrical specimens with the size of 150 mm × 300 mm and 100 mm × 200 mm were tested in compression according to ASTM C496 to obtain the concrete splitting tensile strength. All concrete specimens were made with a maximum aggregate size of 0,6 mm, superplasticizer, and silica fume. The specimens were treated through a curing process of 58 days before being tested. Based on the analysis of the test results, concrete without coarse aggregate with a compressive strength of 50.87 to 60.67 MPa has splitting tensile strength of 1.17 to 1.71 times the splitting tensile strength of normal concrete. The application of splitting tensile strength modification factor (λ) based on test results can give a better prediction of the shear strength of concrete without coarse aggregate.

Keywords: Coarse aggregate; concrete shear strength; high strength concrete; tensile splitting strength

ABSTRAK

Salah satu cara untuk membuat beton mutu tinggi adalah dengan mengeliminasi agregat kasar dari campuran beton. Kurangnya rekomendasi desain beton tanpa agregat kasar dapat menyebabkan kegagalan yang harus dihindari, terutama kegagalan geser yang bersifat getas. Salah satu cara memperhitungkan sifat beton tanpa agregat kasar adalah dengan menggunakan faktor kuat tarik belah pada persamaan kuat geser beton normal. Dalam penelitian ini, benda uji silinder berukuran 150 mm × 300 mm dan 100 mm × 200 mm diuji tekan sesuai ASTM C496 untuk mendapatkan kuat tarik belah beton. Semua spesimen beton dibuat dengan ukuran agregat maksimum sebesar 0,6 mm, *superplasticizer*, dan *silica fume*, serta dirawat melalui proses *curing* selama 58 hari sebelum diuji tekan dan tarik belah. Berdasarkan analisis hasil pengujian, beton tanpa agregat kasar dengan kuat tekan sebesar 50,87 hingga 60,67 MPa memiliki kuat tarik belah sebesar 1,17 sampai 1,71 kali kuat tarik belah beton normal. Penerapan faktor modifikasi kuat tarik belah (λ) berdasarkan hasil pengujian dapat memberikan prediksi kekuatan geser beton tanpa agregat kasar yang lebih baik.

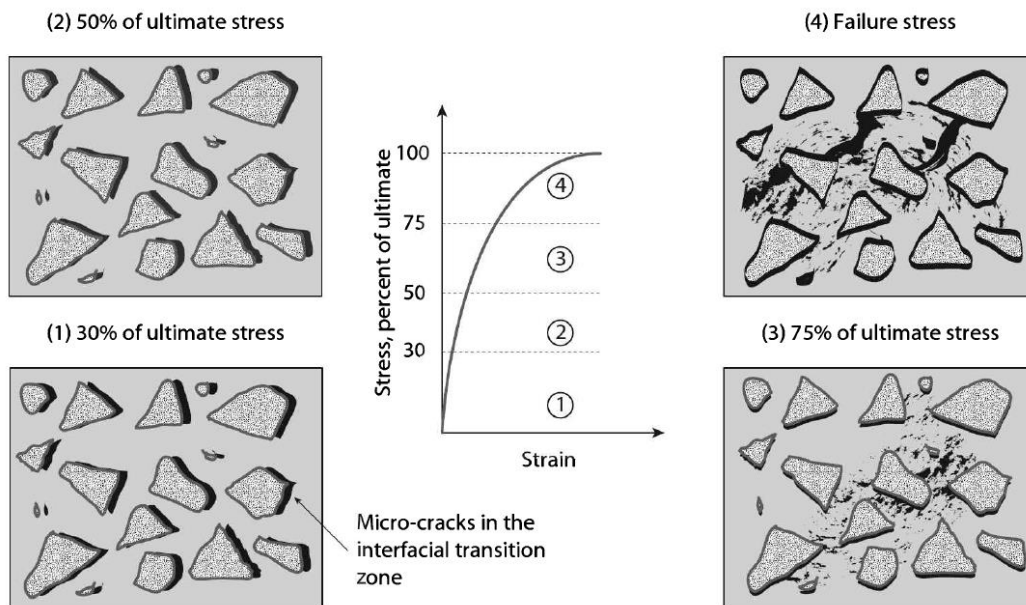
Kata kunci: Agregat kasar; beton mutu tinggi; kuat geser beton; kuat tarik belah

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi beton telah memungkinkan terciptanya beton mutu tinggi dengan berbagai macam cara. Salah satu cara untuk membuat beton mutu tinggi adalah dengan mengeliminasi agregat kasar dari campuran beton. Untuk membuat beton mutu tinggi ini, agregat kasar dengan sengaja tidak digunakan dalam campuran beton agar agregat kasar tidak menjadi titik lemah komponen struktur beton. Hingga saat ini, rekomendasi desain komponen struktur yang terbuat dari beton tanpa agregat kasar masih sangat sedikit, bahkan hampir tidak ada. Kurangnya

rekomendasi desain ini dapat menyebabkan kegagalan pada struktur yang harus dihindari, terutama kegagalan yang bersifat getas seperti kegagalan geser beton.

Beton merupakan material yang kuat terhadap tekan dan lemah terhadap tarik (Park & Paulay, 1975). Struktur material beton dapat diidealisasikan terdiri dari 3 bagian, yaitu agregat, pasta semen terhidrasi, dan zona transisi antarmuka (*interfacial*). Untuk beton mutu normal, zona transisi antarmuka memiliki kekuatan yang paling kecil dibandingkan dengan agregat dan pasta semen. Ketika beton dibebani dalam kondisi tekan, akan terbentuk retakan mikro di dalam struktur material beton. Karena zona transisi antarmuka adalah yang paling lemah, maka retakan mikro akan terbentuk di bidang pertemuan agregat dan pasta semen pada tegangan sekitar 40% tegangan ultimit. Retakan ini akan menyebar melalui pasta semen pada tegangan yang lebih tinggi dan akhirnya akan membentuk retakan yang besar hingga tercapainya keruntuhan. Penyebaran retakan ini menyebabkan kurva tegangan-regangan beton tidak bersifat linear. Saat tegangan tekan beton sekitar 75% tegangan ultimitnya, retakan akan terbentuk dengan sangat cepat atau spontan yang akan menyebabkan kegagalan beton (Moehle, 2015). Proses pembentukan ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses pembentukan retakan mikro pada beton (Moehle, 2015)

Pada beton mutu tinggi, pasta semen memiliki kekuatan yang jauh lebih tinggi. Hal ini menyebabkan bentuk kurva tegangan-regangan yang hampir linear dekat tegangan puncak. Zona transisi antarmuka (*interfacial transition zone*) juga mengalami peningkatan kekuatan sehingga seringkali agregat kasarlah yang memiliki kekuatan yang paling rendah. Fraktur yang terjadi melalui agregat akan menyebabkan kegagalan beton secara tiba-tiba (Moehle, 2015). Dengan demikian, semakin tinggi mutu beton, semakin getas kegagalan yang akan terjadi.

Untuk menghindari kegagalan fraktur yang terjadi melalui agregat kasar pada beton mutu tinggi, maka agregat kasar perlu dieliminasi dari campuran beton untuk mencapai kekuatan yang lebih tinggi. Beton ini sering disebut sebagai beton tanpa agregat kasar atau *reactive powder concrete*.

Kuat tarik beton

Kuat tarik beton berkisar antara 8% sampai dengan 15% dari kuat tekan beton tersebut (Wight, 2016). Untuk beton mutu tinggi, rasio kuat tarik belah terhadap kuat tekan dapat mencapai 5% (ACI 363R-10). Rasio yang lebih rendah ini juga dapat ditemukan dari hasil pengujian kuat tarik belah beton berbobot ringan (*lightweight*) (Wight, 2016). Kuat tarik belah pada beton dengan agregat batu yang dihancurkan (*crushed-rock-aggregate*) lebih besar sekitar 8% dibandingkan agregat kerikil. Pada umur beton 28 hari, penelitian-penelitian juga menunjukkan rasio kuat tarik belah terhadap kuat lentur sekitar 70% (ACI 363R-10).

Kushartomo dan Ivan (2017) menunjukkan bahwa kuat tarik belah beton tanpa agregat kasar akan meningkat seiring meningkatnya kandungan serat baja dalam beton yang akan mencapai nilai optimum pada kandungan serat baja sebesar 1,5% volume total. Selain itu, penambahan serat kaca juga dapat meningkatkan kuat tarik belah beton tanpa agregat kasar, tetapi peningkatannya relatif lebih kecil dibandingkan penambahan serat baja untuk variasi kandungan serat sebesar 1% sampai dengan 2% volume total.

Kuat tarik beton digunakan dalam berbagai persamaan desain dalam ACI 318M-14, seperti kuat geser beton dan panjang penyaluran tulangan. Untuk memperhitungkan kuat tarik beton berbobot ringan (*lightweight*) yang lebih rendah dibandingkan beton berbobot normal (*normalweight*), ACI 318M-14 menggunakan faktor modifikasi λ yang merupakan rasio kuat tarik belah beton berbobot ringan (*lightweight*) terhadap beton berbobot normal (*normalweight*) yang dapat dinyatakan dengan Persamaan 1.

$$\lambda = \frac{f_{sp}}{0,56(f_{cm})^{0,5}} \leq 1 \quad (1)$$

dengan λ = faktor modifikasi kuat tarik belah, f_{sp} = kuat tarik belah beton (MPa), dan f_{cm} = kuat tekan beton rata-rata (MPa). Dengan cara ini, persamaan-persamaan yang dipengaruhi kuat tarik beton dapat digunakan untuk beton berbobot normal (*normalweight*) maupun beton berbobot ringan (*lightweight*).

Untuk menentukan faktor modifikasi λ , diperlukan uji tarik belah silinder berdasarkan ASTM C496 dan uji tekan silinder (Wight, 2016). Dalam uji tarik belah silinder, silinder diletakkan pada sisi selimut silinder dan gaya tekan diaplikasikan di sepanjang benda uji silinder beton hingga tercapai kegagalan. Pembebanan tekan dilakukan seperti ini agar tegangan tarik dapat timbul pada bidang tempat beban uji diaplikasikan disertai tegangan tekan yang cukup tinggi tepat di daerah sekitar beban uji. Pada kondisi ini, silinder berada dalam kondisi tekan triaksial, sehingga beton mampu menahan tegangan tekan yang lebih tinggi. Silinder beton akan mengalami kegagalan tarik terlebih dahulu sebelum kegagalan tekan. Nilai tegangan tarik pada saat benda uji silinder beton mengalami kegagalan dalam pengujian ini sering disebut sebagai kuat tarik belah beton (f_{sp}) yang dihitung dengan Persamaan 2.

$$f_{sp} = \frac{2P}{\pi DL} \quad (2)$$

dengan f_{sp} = kuat tarik belah beton (MPa), P = beban tekan saat terjadi kegagalan silinder (N), D = diameter silinder (mm), dan L = tinggi silinder (mm).

Kuat geser beton

Terdapat 5 mekanisme transfer geser pada komponen struktur beton tanpa tulangan transversal. Mekanisme pertama adalah tegangan geser pada beton tak retak, yang berkontribusi secara signifikan pada struktur dengan aksial tekan dan setelah tulangan longitudinal mengalami leleh yang signifikan. Mekanisme kedua adalah transfer geser *interface* atau *aggregate interlock*, yaitu transfer geser di sepanjang retakan geser akibat ketahanan terhadap slip yang disediakan oleh kekasaran lokal pada bidang retakan. Semakin kasar bidang retakan, seperti pada beton mutu tinggi, semakin besar pula transfer geser *interface*. Mekanisme ketiga adalah aksi dowel yang terjadi ketika retakan terbentuk melintasi tulangan longitudinal. Gaya dowel akan meningkatkan kuat tarik pada beton di sekitarnya dengan kombinasi aksi baji (*wedging action*) dari deformasi batang tulangan. Mekanisme keempat adalah aksi busur (*arch*), yaitu mekanisme transfer beban atau gaya terpusat secara langsung ke perletakan. Mekanisme ini cukup signifikan pada struktur balok tinggi, korbil, dan struktur dengan area D lainnya. Mekanisme kelima adalah tegangan tarik residual, yang terjadi karena tidak terjadinya pemisahan yang bersih ketika beton pertama kali retak. Potongan kecil dari beton akan menjembatani retakan dan terus menyalurkan gaya tarik hingga lebar retakan dalam rentang 0,05 mm sampai 0,15 mm sehingga beton retak di sekitar ujung retak terinklinasi dan retak lentur juga dapat memikul tegangan geser (ACI 445R-99).

Kuat geser beton normal dipengaruhi oleh banyak parameter yang saling berinteraksi dengan kompleks. Terdapat 4 parameter penting yang mempengaruhi kuat geser beton secara signifikan, yaitu kuat tarik beton, rasio tulangan longitudinal, rasio bentang geser terhadap tinggi efektif penampang (a/d), dan *size effect*. Kuat geser beton meningkat seiring meningkatnya kuat tarik beton dan rasio tulangan longitudinal. Pada umumnya, kuat tarik beton dinyatakan sebagai fungsi dari kuat tekan beton, seperti $(f'_c)^{0,5}$. Semakin kecil rasio a/d , semakin besar aksi busur yang terjadi. Penelitian menunjukkan bahwa rasio $a/d = 2,744$ menghasilkan kuat geser balok beton yang terkecil. Kuat geser beton juga dipengaruhi *size effect* karena beton merupakan material getas. *Size effect* menyebabkan tegangan geser maksimum beton menurun seiring bertambahnya ukuran penampang elemen struktur beton. Untuk beton normal tanpa tulangan transversal dan gaya aksial, ACI 318M-19 memberikan formula kuat geser beton (v_c) yang dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.

$$v_c = 0,66\lambda_s\lambda(\rho)^{1/3}(f'_c)^{0,5} \quad (3)$$

dengan v_c = kuat geser beton (MPa), λ_s = faktor *size effect*, λ = faktor modifikasi kuat tarik belah, ρ = rasio tulangan longitudinal, dan f'_c = kuat tekan beton (MPa). Nilai λ_s bernilai 1 untuk komponen struktur tanpa tulangan transversal dengan tinggi efektif penampang tidak lebih dari 250 mm.

Pengaruh rasio tulangan longitudinal pada kuat geser beton tanpa agregat kasar telah diteliti oleh Christianto et al. (2021). Analisis lebih lanjut oleh Christianto et al. (2022b) menunjukkan bahwa kuat geser beton tanpa agregat kasar berbanding lurus dengan $(\rho)^{4/9}$. Li et al. (2022) menunjukkan bahwa kuat geser beton tanpa agregat kasar dengan tambahan serat baja sebanyak 2% volume total akan mengalami peningkatan seiring meningkatnya rasio tulangan longitudinal dan menurunnya rasio a/d balok. Christianto et al. (2020) juga menunjukkan bahwa beton tanpa agregat kasar juga mengalami *size effect*. Christianto et al. (2022a) menunjukkan bahwa *size effect* yang terjadi sesuai dengan teori mekanika fraktur nonlinear yang diadopsi oleh ACI 318M-19. Dalam penelitian-penelitian kuat geser balok beton tanpa agregat kasar yang telah dilakukan, pengaruh kuat tarik belah beton masih belum diperhitungkan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memperoleh faktor kuat tarik belah beton tanpa agregat kasar dan pengaruhnya pada kuat geser beton.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, Semua benda uji silinder dibuat dengan komposisi campuran beton tanpa agregat kasar sesuai dengan Tabel 1. Sebanyak 6 benda uji silinder berukuran 150 mm × 300 mm dan 5 benda uji silinder berukuran 100 mm × 200 mm akan diuji tekan menggunakan mesin uji tekan universal. Semua benda uji ini akan melalui proses curing selama 58 hari sebelum dilakukan pengujian agar kekuatannya sudah tercapai saat pengujian. Sebanyak 3 benda uji dari setiap ukuran silinder digunakan untuk memperoleh kuat tarik belah sesuai ASTM C496 dan sisanya digunakan untuk memperoleh kuat tekan beton. Untuk memperoleh kuat tekan beton, benda uji silinder diberi gaya tekan sejajar sumbu longitudinal atau sejajar tinggi silinder hingga mengalami keruntuhan. Untuk memperoleh kuat tarik belah beton, benda uji silinder diletakkan di sisi selimut silinder dan diberikan gaya tekan sejajar diameter silinder hingga mengalami keruntuhan.

Tabel 1. Komposisi campuran beton tanpa agregat kasar

Material	Komposisi
Semen OPC	30% massa semen total
Semen putih	70% massa semen total
Air	18,9% massa semen total
Pasir silika (saringan No. 30 dan 50)	100% massa semen total
<i>Superplasticizer</i>	2,5% massa semen total
<i>Silica fume</i>	20% massa semen total
Tepung marmer (saringan No. 200)	20% massa semen total

Untuk perbandingan prediksi kuat geser beton dengan dan tanpa penerapan faktor kuat tarik belah, data pengujian geser balok beton tanpa agregat kasar dari Christianto et al. (2020) akan digunakan. Komposisi campuran beton yang digunakan Christianto et al. (2020) diberikan pada Tabel 2. Hasil pengujian kuat geser balok beton tanpa agregat kasar diberikan pada Tabel 3. Semua balok tidak memiliki tulangan transversal dan diberikan 2 tulangan longitudinal berdiameter 16 mm dengan as tulangan di 16 mm dari tepi bawah balok.

Tabel 2. Komposisi campuran beton tanpa agregat kasar yang digunakan Christianto et al. (2020)

Material	Komposisi
Semen	100% massa semen total
Air	19% massa semen, <i>silica fume</i> , dan tepung marmer
Pasir silika (saringan No. 30 dan 50)	110% massa semen total
<i>Superplasticizer</i>	2,5% massa semen total
<i>Silica fume</i>	20% massa semen total
Tepung marmer (saringan No. 200)	10% massa semen total

Tabel 3. Hasil pengujian kuat geser balok beton tanpa agregat kasar oleh Christianto et al. (2020)

Spesimen	Ukuran Balok	f'_c (MPa)	V_u (kN)	Kegagalan
1B	60 mm × 60 mm × 1100 mm	92,960	18,6769	Geser
1,5B	60 mm × 90 mm × 1100 mm	96,185	18,7360	Geser
2B	60 mm × 120 mm × 1100 mm	63,710	22,0098	Geser
2,5B	60 mm × 150 mm × 1100 mm	91,195	23,8756	Geser
3B	60 mm × 180 mm × 1100 mm	68,690	20,2236	Geser

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil uji tekan silinder beton berukuran 150 mm × 300 mm sebanyak 3 buah dan 100 mm × 200 mm sebanyak 2 buah, diperoleh gaya tekan P saat silinder beton mengalami kegagalan. Kuat tekan beton (f'_c) diperoleh dengan membagi gaya tekan P dengan luas alas silinder. Hasil uji tekan dan kuat tekan tiap silinder beton dapat dilihat pada Tabel 4. Dapat dilihat bahwa kuat tekan beton untuk formulasi kuat tarik belah berkisar dari 45,99 MPa hingga 67,14 MPa. Untuk analisis berikutnya, mutu beton tiap sampel dirata-ratakan untuk ukuran silinder beton yang sama dan diperoleh nilai f_{cm} . Berdasarkan hal ini, silinder beton berukuran 150 mm × 300 mm memiliki kuat tekan rata-rata (f_{cm}) sebesar 50,87 MPa dan silinder beton berukuran 100 mm × 200 mm memiliki kuat tekan rata-rata (f_{cm}) sebesar 60,67 MPa.

Tabel 4. Hasil pengujian kuat tekan beton tanpa agregat kasar

Spesimen	Ukuran silinder	P (kN)	f'_c (MPa)	f_{cm} (MPa)
S1.1	150 mm × 300 mm	812,7	45,99	50,87
S1.3	150 mm × 300 mm	870,0	49,23	50,87
S1.7	150 mm × 300 mm	1014,0	57,38	50,87
S2.4	100 mm × 200 mm	527,2	67,13	60,67
S2.6	100 mm × 200 mm	425,7	54,20	60,67

Berdasarkan hasil uji tarik belah silinder beton berukuran 150 mm × 300 mm sebanyak 3 buah dan 100 mm × 200 mm sebanyak 3 buah, diperoleh gaya tekan P saat silinder beton mengalami kegagalan. Kuat tarik belah beton (f_{sp}) diperoleh dengan membagi gaya tekan P dengan setengah luas selimut silinder sesuai dengan ASTM C496. Hasil uji tarik belah dan kuat tarik belah tiap silinder beton dapat dilihat pada Tabel 5. Dapat dilihat bahwa kuat tarik belah beton berkisar dari 4,67 MPa hingga 7,45 MPa. Dengan menggunakan nilai f_{cm} , faktor kuat tarik belah (λ) dapat dihitung berdasarkan Persamaan 1. Berdasarkan hasil pengujian, nilai λ untuk beton tanpa agregat kasar dengan kuat tekan beton sebesar 50,87 MPa hingga 60,67 MPa berkisar antara 1,17 dan 1,71.

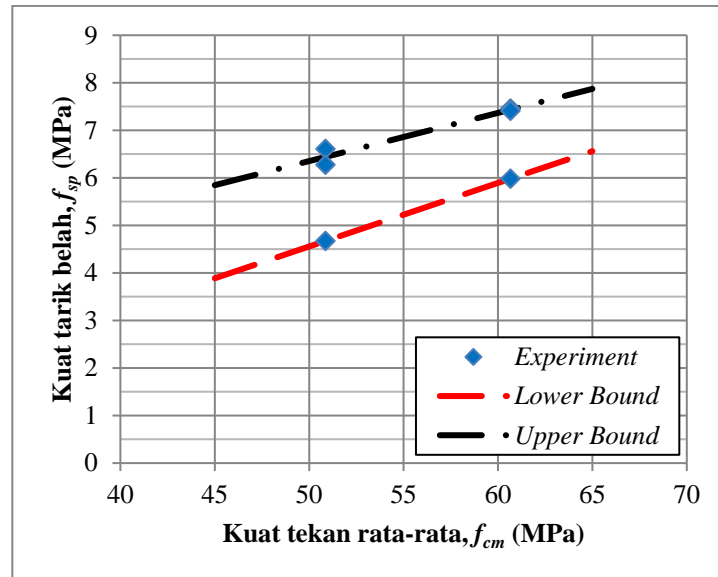
Tabel 5. Hasil pengujian kuat tarik belah beton tanpa agregat kasar

Spesimen	Ukuran silinder	f_{cm} (MPa)	P (kN)	f_{sp} (MPa)	λ
S1.4	150 mm × 300 mm	50,87	467,1	6,61	1,65
S1.5	150 mm × 300 mm	50,87	443,4	6,27	1,57
S1.6	150 mm × 300 mm	50,87	330,2	4,67	1,17
S2.1	100 mm × 200 mm	60,67	234,2	7,45	1,71
S2.2	100 mm × 200 mm	60,67	187,9	5,98	1,37
S2.3	100 mm × 200 mm	60,67	232,8	7,41	1,70

Hubungan antara kuat tarik belah (f_{sp}) dan kuat tekan (f_{cm}) untuk beton tanpa agregat kasar ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2, kuat tarik belah beton tanpa agregat kasar akan meningkat seiring meningkatnya kuat tekan beton. Hal ini sama seperti yang terjadi pada beton normal dengan agregat kasar.

Meskipun ACI 318M-14 membatasi faktor kuat tarik belah beton (λ) agar tidak lebih dari 1, batasan ini dapat diabaikan karena beton tanpa agregat kasar berbeda dengan beton berbobot ringan (*lightweight concrete*). Kuat tarik beton berhubungan dengan kuat tekan beton dan matriks penyusunnya. Oleh karena itu, faktor λ untuk beton tanpa agregat kasar tidak perlu dibatasi pada nilai 1 karena beton ini memiliki kekuatan yang umumnya lebih tinggi dibandingkan beton berbobot normal (*normalweight concrete*).

Berdasarkan Tabel 3, mutu beton balok yang diuji berkisar dari 63,710 MPa hingga 96,185 MPa. Karena mutu beton balok melebihi rentang mutu beton yang digunakan dalam penentuan faktor kuat tarik belah (λ), maka dipilih nilai *lower bound* untuk mutu beton 60,67 MPa pada Gambar 2, yaitu $\lambda = 1,37$. Hasil perbandingan rasio kuat geser beton (v_{test}/v_c) dengan $\lambda = 1$ dan $\lambda = 1,37$ diberikan pada Tabel 6 dan Gambar 3. Kuat geser beton berdasarkan pengujian (v_{test}) dihitung dengan Persamaan 4.



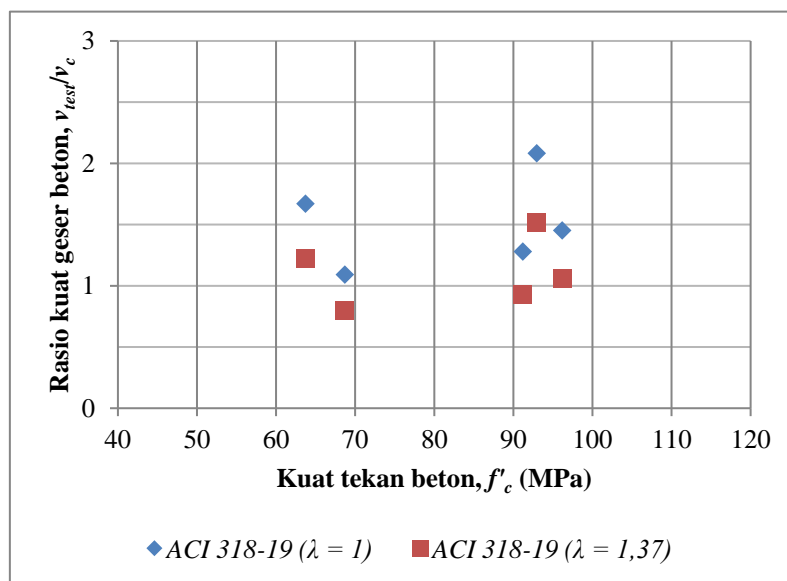
Gambar 2. Hubungan kuat tarik belah dan kuat tekan beton tanpa agregat kasar

Tabel 6. Pengaruh faktor λ pada rasio kuat geser balok beton tanpa agregat kasar

Spesimen	v_{test} (MPa)	ACI 318-19 ($\lambda = 1$)		ACI 318-19 ($\lambda = 1,37$)	
		v_c (MPa)	v_u/v_c	v_c (MPa)	v_u/v_c
1B	7,075	3,398	2,082	4,656	1,520
1,5B	4,220	2,907	1,452	3,982	1,060
2B	3,527	2,112	1,670	2,894	1,219
2,5B	2,970	2,322	1,279	3,181	0,933
3B	2,055	1,884	1,091	2,581	0,796
Rata-rata =			1,515	Rata-rata =	1,106

$$v_{test} = \frac{V_u}{bd} \tag{4}$$

dengan v_{test} = kuat geser beton berdasarkan pengujian (MPa), V_u = gaya geser balok (N), b = lebar balok (mm), dan d = tinggi efektif penampang balok (mm). Dapat dilihat bahwa rata-rata v_{test}/v_c dengan $\lambda = 1,37$ lebih mendekati nilai 1. Hal ini berarti, prediksi kekuatan geser dengan $\lambda = 1,37$ lebih mendekati hasil pengujian.



Gambar 3. Pengaruh faktor λ pada rasio kuat geser balok beton tanpa agregat kasar

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, kuat tarik belah (f_{sp}) beton tanpa agregat kasar berkisar dari 4,67 MPa hingga 7,45 MPa untuk kuat tekan beton berkisar dari 50,87 MPa hingga 60,67 MPa. Sama seperti beton berbobot normal (*normalweight*), kuat tarik belah beton tanpa agregat kasar juga meningkat seiring meningkatnya kuat tekan beton. Untuk beton tanpa agregat kasar yang diuji, faktor kuat tarik belah (λ) tidak bernilai konstan, namun meningkat seiring meningkatnya kuat tekan beton. Nilai λ berkisar dari 1,17 hingga 1,71 untuk beton tanpa agregat kasar dengan kuat tekan beton sebesar 50,87 MPa hingga 60,67 MPa. Rasio kuat geser beton pengujian terhadap formula ACI 318-19 dengan menggunakan $\lambda = 1,37$ memberikan hasil prediksi kuat geser beton tanpa agregat kasar yang lebih baik dibandingkan dengan formula ACI 318-19 yang menggunakan $\lambda = 1$.

DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute Committee 318. (2014). *Building code requirements for structural (ACI 318M-14) and commentary (ACI 318RM-14)*.
- American Concrete Institute Committee 318. (2019). *Building code requirements for structural (ACI 318M-19) and commentary (ACI 318RM-19)*.
- American Concrete Institute Committee 363. (2010). *Report on high-strength concrete (ACI 363R-10)*.
- American Concrete Institute & American Society of Civil Engineers Committee 445. (1999). *Recent approach to shear strength of structural concrete (ACI 445R-99)*.
- Christianto, D., Makarim, C. A., & Tavio. (2021). Influence of longitudinal reinforcement ratio on shear capacity of no coarse-aggregate concrete. *International Journal of GEOMATE*, 21(86), 122-130. <https://doi.org/10.21660/2021.86.j2288>
- Christianto, D., Makarim, C. A., Tavio, & Jusuf, A. H. (2022a). A proposed formula for predicting size effect on shear strength of concrete beams without coarse aggregate. *International Journal on Engineering Applications (I.R.E.A.)*, 10(3), 220–226. <https://doi.org/10.15866/irea.v10i3.20552>
- Christianto, D., Makarim, C. A., Tavio, & Liucius, Y. U. (2020). Size effect on shear stress of concrete beam without coarse aggregate. *Journal of Physics: Conference Series*, 1477(5), 1–7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1477/5/052043>
- Christianto, D., Makarim, C. A., Tavio, & Pratama, I. D. (2022b). Modified EC2's shear strength equation for no coarse aggregate RC beams. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, 12(6), 2211–2216. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.12.6.15247>
- Kushartomo, W. & Ivan, R. (2017). Effect of glass fiber on compressive, flexural and splitting strength of reactive powder concrete. *MATEC Web of Conferences*, 138, 1–6. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713803010>
- Li, Y., Yang, H., & Liu, C. (2022). Experimental study on shear behavior of reactive powder concrete. *Journal of Physics: Conference Series*, 2148(1), 1–6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2148/1/012032>
- Moehle, J. (2015). *Seismic design of reinforced concrete buildings*. McGraw-Hill Education.
- Park, R., & Paulay, T. (1975). *Reinforced concrete structure*. John Wiley & Sons Inc.
- Wight, J. K. (2016). *Reinforced concrete: Mechanics and design*. Prentice Hall.

