



Pengaruh Penambahan Limbah Kaca Terhadap Perilaku Mekanis Beton

Seska Nicolaas¹, Rilya Rumbayan², Michelle Maleke³

Program Studi D-IV Konstruksi Bangunan Gedung

Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado

e-mail: ¹snicolaas@yahoo.com, ²rilya.rumbauan@gmail.com

Abstrak

Limbah merupakan masalah serius seiring berkembangnya teknologi. Limbah kaca merupakan salah satu limbah yang banyak dihasilkan dari kehidupan masyarakat terutama di kota-kota besar. Limbah kaca merupakan material anorganik sehingga ketika dibuang ke alam tidak dapat didaur ulang secara alami. Dengan demikian agar limbah tidak mencemari lingkungan maka perlu ada tindakan yang tepat untuk menanganiinya yaitu dengan menggunakan kembali. Oleh karena banyaknya penggunaan beton dan potensi kaca dilihat dari kandungan kimia silika yang tinggi, maka peneliti bermaksud meneliti pengaruh pemanfaatan limbah kaca sebagai bahan tambah untuk campuran beton. Penelitian yang dilakukan ialah uji kuat tekan, kuat lentur serta penyerapan beton. Kaca yang dapat menjadi material pozzolan ketika dihancurkan hingga menjadi serbuk diharapkan bisa bermanfaat sebagai filler dan binder. Pengujian terhadap beton dengan penambahan kaca dilakukan dengan variasi 0%, 3%, 4% dan 5% dari berat semen. Kaca yang digunakan ialah kaca yang lolos saringan no. 4 (ukuran butir maksimum 4,75 mm). Hasil kuat tekan dan kuat lentur yang diperoleh mencapai nilai tertinggi dengan penambahan kaca 5%, dengan nilai kuat tekan yang diperoleh sebesar 25,348 MPa, nilai tersebut meningkat 21,440 % dari variasi 0% sebagai beton normal dan nilai kuat lentur yaitu sebesar 5,919 MPa. Dengan demikian limbah kaca dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah untuk campuran beton sebab dapat memberikan pengaruh positif bagi kinerja beton.

Kata kunci—Beton, Limbah kaca, Kuat Tekan, Kuat Lentur

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan di Indonesia erat kaitannya dengan pembangunan infrastruktur. Adanya pembangunan infrastruktur memenuhi berbagai kebutuhan masyarakat dan negara. Pertumbuhan ekonomi dapat semakin berkembang, mobilitas barang lebih cepat, dan timbulnya daya saing antardaerah merupakan beberapa dampak dari pembangunan infrastruktur. Oleh sebab itu Indonesia terus mengusahakan kegiatan pembangunan infrastruktur.

Beton merupakan salah satu mata rantai pasok konstruksi. Lebih dari 60 % proyek pembangunan konstruksi di Indonesia menggunakan beton (Berita PUPR, 2013). Beton merupakan campuran antara agregat kasar, agregat halus, semen, air, dan bahan tambahan bila diperlukan. Meningkatnya kebutuhan akan beton menuntut adanya alternatif yang dapat menghasilkan beton yang bermutu dan efisien.

Limbah menjadi masalah serius seiring berkembangnya teknologi. Limbah yang dihasilkan dari suatu proses produksi ada yang dapat diolah kembali menjadi sesuatu yang bernilai dan berguna, tetapi ada pula yang dibuang secara sembarangan ke lingkungan. Limbah kaca merupakan salah satu contoh limbah yang banyak dihasilkan dari kehidupan masyarakat. Limbah kaca merupakan material anorganik sehingga ketika dibuang ke alam tidak dapat didaur ulang secara alami. Agar limbah tidak mencemari lingkungan maka perlu penanganan yang tepat yaitu dengan menggunakan kembali.

Kaca mempunyai kandungan kimia silica yang tinggi. Kaca ketika dihancurkan dan menjadi serbuk memiliki potensi sebagai material pozzolan sehingga bisa dimanfaatkan sebagai *filler* dan *binder*. Dengan demikian peneliti bermaksud meneliti pengaruh pemanfaatan limbah kaca sebagai bahan tambah untuk campuran beton. Penggunaan limbah kaca sebagai bahan tambah diharapkan dapat meningkatkan kinerja beton sekaligus dapat mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah kaca.

Pada penelitian sebelumnya twntang Pengaruh Penambahan Serbuk Kaca dan *Water Reducing High Range Admixtures* terhadap Kuat Desak dan Modulus Elastisitas pada Beton terdahulu yang dilakukan oleh Wibowo (2013), penelitian menunjukkan kuat desak beton serbuk kaca lolos saringan No. 200 dengan variasi 3%, 5%, dan 7% lebih tinggi dibanding dengan beton normal yang direncanakan. Kuat desak beton serbuk kaca 56 hari dengan variasi 3%, 5%, dan 7% berturut-turut sebesar 33,76 MPa, 31,31 MPa, dan 30,49 MPa, sedangkan kuat desak beton normal pada 28 hari sebesar 26,25 MPa. Hasilnya komposisi optimum serbuk kaca yang dapat digunakan dalam pembuatan beton adalah sebesar 3% karena dapat meningkatkan kuat desak sebesar 17,05%.

1.2 *Rumusan Masalah*

Permasalahan yang akan diangkat pada penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana pengaruh pemanfaatan limbah kaca sebagai bahan tambah terhadap kemudahan penggeraan beton dilihat dari nilai *slump*?
- b. Bagaimana pengaruh pemanfaatan limbah kaca sebagai bahan tambah terhadap nilai kuat tekan beton?
- c. Berapa kadar optimum penambahan limbah kaca yang sudah dihaluskan pada campuran beton?

1.3 *Tujuan Penelitian*

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Mengetahui pengaruh pemanfaatan limbah kaca sebagai bahan tambah terhadap kemudahan penggeraan beton dilihat dari nilai *slump*.
- b. Mengetahui pengaruh pemanfaatan limbah kaca sebagai bahan tambah terhadap nilai kuat tekan beton.
- c. Mengetahui kadar optimum penambahan serbuk kaca yang sudah dihaluskan pada campuran beton.

1.4 *Manfaat Penelitian*

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

- a. Bagi dunia konstruksi yaitu sebagai inovasi dalam meningkatkan kinerja beton dengan bahan tambah limbah.

- b. Bagi pemerintah yaitu sebagai bahan pertimbangan dalam membuat kebijakan atau regulasi yang dapat melestarikan lingkungan.
- c. Bagi masyarakat agar terdorong mengolah limbah di lingkungan sekitar menjadi lebih bernilai dan berguna.

2. DASAR TEORI

2.1 *Beton*

Beton merupakan bahan konstruksi yang banyak digunakan saat ini. Beton memiliki keunggulan yaitu mempunyai kuat tekan yang tinggi, mudah dibentuk, tahan terhadap api dan memiliki biaya perawatan yang relatif murah. Bahan penyusun dari beton ialah semen, agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah jika diperlukan. Bahan tambah dapat merubah sifat-sifat tertentu dari beton. Semen merupakan bahan campuran yang akan bereaksi secara kimiawi setelah bercampur dengan air. Sedangkan agregat merupakan bahan pengisi beton yang dapat mencegah terjadinya perubahan volume beton dan memperbaiki keawetan beton.

Kualitas beton dipengaruhi oleh bahan-bahan penyusun beton. Dalam merencanakan struktur beton, kinerja yang perlu diperhatikan ialah kekuatan beton dan kemudahan penggerjaan beton. Namun berdasarkan berbagai penelitian yang telah dilakukan terdapat kontradiksi dimana kekuatan tekan tinggi akan dihasilkan ketika penggunaan air atau faktor air terhadap semen kecil, akan tetapi ini akan menyebabkan kesulitan dalam penggerjaan.

Kuat tekan beton merupakan salah satu kinerja beton dalam menerima gaya tekan persatuannya luas. Pemeriksaan kekuatan tekan beton biasanya dilakukan pada umur 3 hari, 7 hari, dan 28 hari. Nilai yang diambil ialah nilai rata-rata dari minimum 2 buah benda uji.

Kemudahan penggerjaan (*workability*) merupakan tingkat kemudahan dalam mengerjakan beton mulai dari diaduk, diangkut, dituang, dan dipadatkan. Penggerjaan perlu dilakukan tanpa mengurangi homogenitas beton. Tingkat kemudahan penggerjaan beton diketahui dari nilai *slump*. Semakin beton encer dan mudah dikerjakan maka nilai *slump* semakin besar, sebaliknya semakin beton kental dan sulit dikerjakan maka nilai *slump* semakin kecil.

Tingkatan mutu beton dapat dihasilkan dari perencanaan yang memahami bahan-bahan penyusun beton serta komposisinya. Menurut SNI 2847:2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, kuat tekan beton struktural tidak boleh kurang dari 17 MPa dan tidak boleh kurang dari 20 MPa untuk rangka momen khusus, dinding struktur khusus, dan semua komponen dinding struktur khusus.

2.2 *Kaca*

Kaca merupakan zat cair yang sangat dingin. Kaca memiliki ketahanan terhadap abrasi serta ketahanan terhadap cuaca atau serangan kimia yang baik (Fanisa dkk, 2013). Limbah kaca dikelola dengan memisahkannya berdasarkan penggunaan akhirnya, dan biasanya dibagi menjadi tiga warna yaitu bening/tidak berwarna, hijau, dan coklat. Secara berurutan limbah kaca biasanya digunakan sebagai alat rumah tangga, botol minuman bir, dan botol minuman ringan.

Limbah kaca ketika dihancurkan menjadi serbuk mempunyai sifat sebagai pozzolan. Pozzolan merupakan bahan yang mengandung senyawa silica dan alumina, tidak mempunyai sifat seperti semen tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air maka senyawa-

senyawa tersebut akan bereaksi secara kimiawi dengan senyawa hasil rekasi antara semen dengan air yaitu kalsium hidroksida. Pozzolan dapat dipakai sebagai bahan tambah atau pengganti sebagai semen Portland. Jika dipakai sebagai bahan tambah maka beton dapat lebih mudah diaduk, lebih rapat air, dan lebih tahan terhadap serangan kimia. Material pozzolan dapat berupa material alami ataupun didapat dari sisa industri.

Unsur kimia yang terdapat dalam kaca sebagian sama dengan semen. Perbandingan komposisinya dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Komposisi Zat Kimia dari Semen dan Kaca

Komposisi	Semen	Kaca
SiO₂	20,2	72,5
Al₂O₃	4,7	0,4
Fe₂O₃	3	0,2
CaO	61,9	9,7
MgO	2,6	3,3
Na₂O	0,19	13,7
K₂O	0,82	0,1
SO₃	3,9	-
Loss of ignition	1,9	0,36
Finenessa %	97,4	80
passing (sieve size)	(45 μm)	(45 μm)

3. METODE PENELITIAN

Metode dan Jenis Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan dengan metode eksperimen. Metode eksperimen adalah metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendalikan (Sugiyono, 2011). Dalam hal ini peneliti ingin mengetahui pengaruh pemanfaatan limbah kaca untuk campuran beton.

Campuran beton direncanakan berdasarkan SNI-03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Perencanaan campuran beton dilakukan setelah mendapatkan hasil dari pengujian agregat dengan kuat tekan f_c 20 MPa. Hasil yang diperoleh dalam kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*) dapat dilihat pada Tabel 2, yaitu berupa komposisi campuran bahan penyusun beton untuk beton normal dan beton yang divariasikan dengan bahan tambah limbah kaca yang sudah dihaluskan.

Tabel 2. Komposisi Material Beton untuk 1 m³

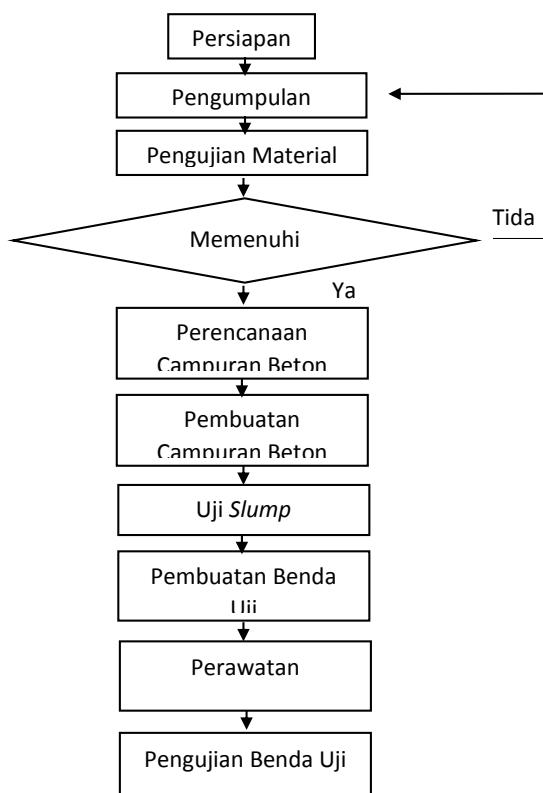
Kode	Semen (PPC Tonasa)	Pasir (Tendeki)	Kerikil (Kema)	Air	Kaca
	kg	kg	kg	kg	kg
BN	409,09	695,69	941,22	225,00	0
Beton + kaca 3%	409,09	695,69	941,22	225,00	12,27
Beton + kaca 4%	409,09	695,69	941,22	225,00	16,36
Beton + kaca 5%	409,09	695,69	941,22	225,00	20,45

Berdasarkan Tabel 2 tentang komposisi material beton untuk 1 m³ maka dapat diketahui bahwa campuran beton terdiri dari 18% semen, 30,6% pasir, 41,4% kerikil dan 10% air.

Komposisi campuran beton yang didapatkan dari *mix design* dapat dikoreksi dengan memperhitungkan jumlah air bebas yang terdapat dalam agregat ataupun yang masih dibutuhkan oleh agregat. Oleh karena itu pengujian kadar air dan penyerapan agregat perlu dilakukan

Berikut Merupakan Bagan alir Penelitian yang akan dilakukan (Gambar 1)

Bagan Alir Penelitian :



Gambar 1. Bagan alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Beton

Slump Beton

Pengujian slump dilakukan pada beton segar untuk mengetahui kemudahan penggerjaan beton. Alat yang digunakan berbentuk kerucut terpancung dan dilengkapi dengan tongkat pemadat. Pengujian slump ini dilakukan setelah proses pengadukan (*mixing*) dengan molen. Selisih antara tinggi kerucut dan tinggi beton ketika cetakan diangkat merupakan nilai slump dari beton segar. Pada penelitian ini nilai slump yang direncanakan ialah 8-12 cm. Hasil pengujian slump dari pengecoran masing-masing variasi dapat dilihat pada Tabel

Tabel 3. Hasil Pengujian Slump

Kode	Slump (cm)
BN	8,5
Beton + kaca 3%	9,2
Beton + kaca 4%	9
Beton + kaca 5%	8,2

Dari Tabel 3 diatas dapat dilihat bahwa nilai uji slump dari setiap variasi memenuhi nilai slump rencana. Penambahan kaca pada beton sebanyak 3 % hingga 4% dapat menambah nilai slump hingga akhirnya nilai slump menurun pada penambahan kaca sebanyak 5%.

Berat Volume Beton

Berat volume beton adalah perbandingan antara berat benda uji dengan volume beton. Berat benda uji diperoleh sesudah proses perawatan dan sebelum melakukan pengujian kuat tekan pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Berat Volume Rata-rata

Kode	Berat volume rata-rata (g/cm ³)		
	7 hari	14 hari	28 hari
BN	2,282	2,319	2,447
Beton + kaca 3%	2,269	2,282	2,333
Beton + kaca 4%	2,291	2,341	2,305
Beton + kaca 5%	2,277	2,315	2,276

Berdasarkan hasil pengujian maka benda uji yang ada sesuai dengan klasifikasi beton normal yaitu 2200 – 2500 kg/m³ (SNI 03-2847-2002).

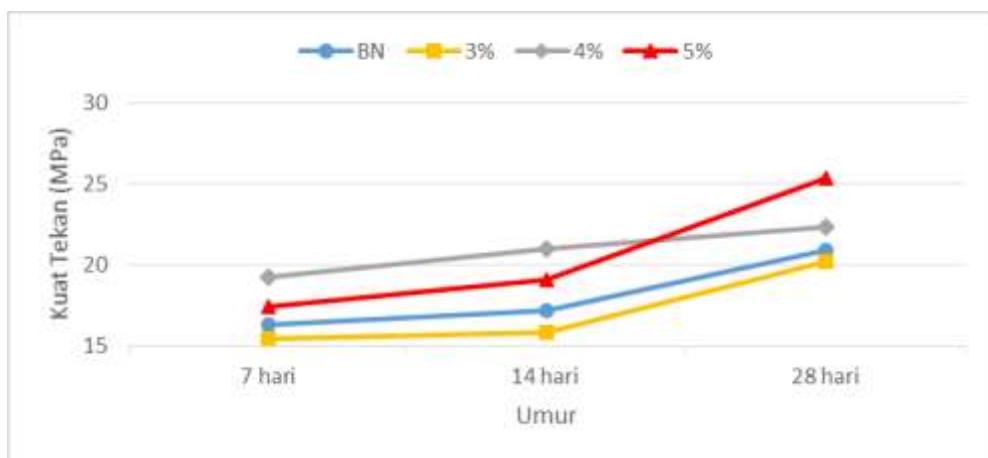
Kuat Tekan Beton

Nilai kuat tekan beton diperoleh dari pengujian sampel silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Tiap variasi terdiri dari 3 sampel silinder dan diujikan saat beton berumur 7

hari, 14 hari dan 28 hari. Nilai kuat tekan rata-rata yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 2

Tabel 5. Kuat Tekan Rata-rata

Kode	Kuat tekan rata-rata beton (MPa)		
	7 hari	14 hari	28 hari
BN	16,298	17,172	20,873
Beton + kaca 3%	15,462	15,828	20,176
Beton + kaca 4%	19,250	21,010	22,351
Beton + kaca 5%	17,394	19,075	25,348



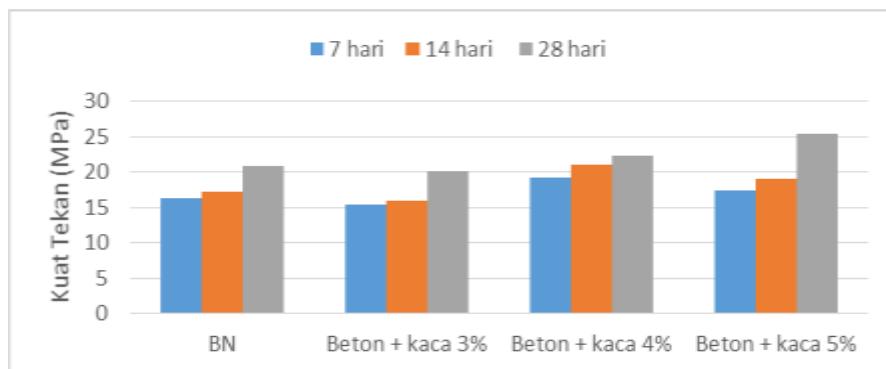
Gambar 2. Kuat tekan rata-rata masing-masing variasi

Pengujian kuat tekan beton dengan variasi penambahan limbah kaca dilakukan untuk mengetahui pengaruh jumlahnya terhadap kekuatan tekan beton. Kekuatan tekan beton normal (variasi kaca 0%) sebagai kontrol mencapai 20,873 MPa. Kekuatan tekan beton variasi kaca 3%, 4% dan 5% berturut-turut mencapai 20,176 MPa, 22,351 MPa dan 25,348 MPa. Dari hasil yang diperoleh dapat dilihat bahwa penambahan limbah kaca dengan persentase 4% dan 5% dapat meningkatkan kekuatan tekan beton dan penambahan limbah kaca 3 % menurunkan kekuatan tekan beton.

Peningkatan nilai kuat tekan beton akibat penambahan limbah kaca yang sudah dihaluskan dapat terjadi karena tumbukan kaca berperan sebagai *filler* dan *binder*. Kaca yang halus setelah ditumbuk dapat mengisi ruang-ruang kosong antara agregat dan pasta semen. Selanjutnya kaca sebagai material pozzolan dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida yang merupakan sisa dari hasil hidrasi semen. Reaksi yang terjadi dan mengisi ruang-ruang kosong dapat menambah daya lekat agregat dan pasta semen sehingga memberikan kekuatan pada beton. Proses ini menjadi sebuah keuntungan dikarenakan sisa bahan yang tidak aktif yang terdapat pada semen dapat dimanfaatkan dengan penambahan material pozzolan. Hasilnya kekuatan beton meningkat seiring dengan berkurangnya sisa bahan yang tidak aktif pada semen.

Pengujian pada umur beton 7 hari, 14 hari dan 28 hari dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu terhadap kekuatan tekan beton. Pengaruh yang dapat terjadi disebabkan oleh

penggunaan limbah kaca yang berpotensi sebagai material pozzolan, dimana diketahui bahwa reaksi pozzolanik berlangsung secara lambat. Perbandingan kenaikan kuat tekan dilihat dari umur beton tiap variasi dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3. Hubungan kuat tekan dan umur beton

Gambar 3 menunjukkan penambahan limbah kaca 4 % mencapai nilai kuat tekan tertinggi di umur 7 hari dan 14 hari, sedangkan nilai kuat tekan tertinggi di umur 28 hari dicapai oleh beton dengan penambahan limbah kaca 5%.

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, penambahan limbah kaca pada campuran beton meningkatkan dan menurunkan mutu beton. Perbandingan nilai kuat tekan beton antara masing-masing kaca dengan beton normal di umur beton 28 hari dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Kuat Tekan pada Umur Beton 28 Hari

Kode	f'_c (MPa)	Selisih (MPa)	%
BN	20,873	0	100,000
Beton + kaca 3%	20,176	-0,697	96,661
Beton + kaca 4%	22,351	1,479	107,084
Beton + kaca 5%	25,348	4,475	121,440

Tabel 6 menunjukkan kuat tekan beton pada umur 28 hari dengan tambahan kaca 3% menurunkan mutu sebesar 0,697 MPa (3,339 %) terhadap beton normal, beton dengan tambahan kaca 4% meningkatkan mutu sebesar 1,479 MPa (7,084 %) terhadap beton normal, dan beton dengan tambahan kaca 5% meningkatkan mutu sebesar 4,475 MPa (21,440 %) terhadap beton normal. Dengan demikian dapat dilihat bahwa beton dengan kaca 5% mengalami kenaikan kuat tekan terbesar dibandingkan dengan variasi lainnya yaitu 3% dan 4%.

Penambahan kaca yang dilakukan dengan jumlah persentase yang sama yaitu 5 % terhadap berat semen mengalami peningkatan lebih besar jika dibandingkan dengan pengujian Wibowo (2013) yaitu sebesar 8,556 % yang menggunakan kaca lolos saringan no. 200 sebagai bahan tambah mineral. Dengan demikian diketahui bahwa penambahan kaca dengan ukuran butir lolos saringan no.4 (ukuran butir maksimum 4,75 mm) akan menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih besar dibandingkan penggunaan kaca lolos saringan no.200. Hasil ini juga sesuai dengan pengujian Herbudiman dan Januar (2011) yang menguji pengaruh ukuran serbuk kaca

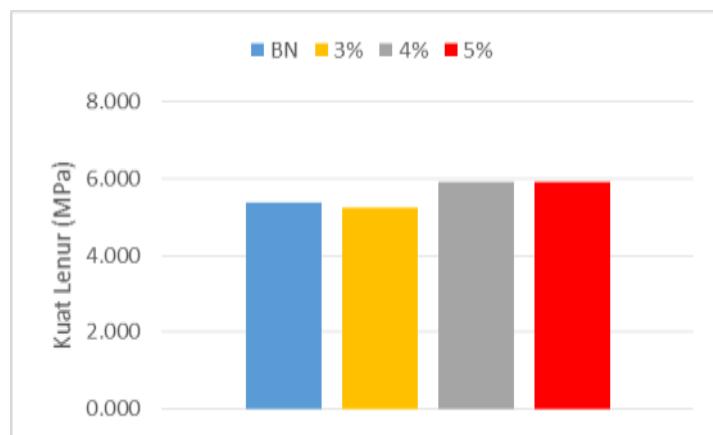
terhadap sifat mekanis beton, dimana komposisi serbuk kaca gabungan dari tiga fraksi ukuran kaca mempunyai nilai kuat tekan paling tinggi dibandingkan dengan penggunaan serbuk kaca dari satu atau dua fraksi ukuran kaca.

Kuat Lentur Beton

Pengujian kuat lentur bertujuan untuk mendapatkan nilai modulus runtuh beton (*modulus of rupture*). Sampel yang digunakan adalah balok beton berukuran 50x10x10 cm sebanyak tiga buah sampel untuk setiap variasinya. Beban yang diberikan pada balok adalah beban terpusat di tengah bentang. Nilai rata-rata yang diperoleh dari uji lentur beton dapat dilihat pada Tabel 7 dan Gambar 3. Nilai modulus runtuh yang diperoleh menunjukkan kemampuan beton tanpa tulangan dalam memikul kuat tarik.

Tabel 7. Kuat Lentur Rata-Rata

Kode	Kuat lentur rata-rata (MPa)
BN	5,378
Beton + kaca 3%	5,228
Beton + kaca 4%	5,914
Beton + kaca 5%	5,919



Gambar 4. kuat lentur rata-rata beton umur 28 hari

Dari hasil pengujian pada umur beton 28 hari diperoleh nilai kuat lentur beton normal sebesar 5,378 MPa, sedangkan pada beton dengan bahan tambah kaca variasi 3%, 4% dan 5% dari berat semen berturut-turut sebesar 5,228 MPa, 5,914 MPa dan 5,919 MPa. Hasil yang diperoleh menunjukkan penambahan limbah kaca 3 % menurunkan nilai kuat lentur beton dan penambahan limbah kaca 4% dan 5% meningkatkan nilai kuat lentur beton.

5. KESIMPULAN

Penelitian pemanfaatan limbah kaca sebagai bahan tambah untuk campuran beton menunjukkan pengaruh terhadap kekuatan tekan, kekuatan lentur dan penyerapan beton, hasil yang diperoleh selama penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Komposisi material beton untuk 1 m³ yang digunakan dalam penelitian dengan mutu rencana 20 MPa ialah 409,09 kg semen, 695,69 kg pasir, 941,22 kg kerikil dan 225 liter air. Komposisi ini divariasikan dengan penambahan kaca terhadap berat semen yaitu 3% sebanyak 12,27 kg, 4% sebanyak 16,36 kg dan 5% sebanyak 20,45 kg.
2. Kekuatan tekan beton normal (variasi kaca 0%) mencapai 20,873 MPa dan kekuatan tekan beton variasi kaca 3%, 4% dan 5% berturut-turut mencapai 20,176 MPa, 22,351 MPa dan 25,348 MPa. Hasil penelitian menunjukkan beton variasi kaca 5% mengalami kenaikan kuat tekan terbesar dibandingkan dengan variasi lainnya yaitu sebesar 21,440% terhadap beton normal.
3. Kekuatan lentur balok beton normal (variasi kaca 0%) mencapai 5,378 MPa dan kekuatan lentur balok beton variasi kaca 3%, 4% dan 5% berturut-turut mencapai 5,228 MPa, 5,914 MPa dan 5,919 MPa. Hasil penelitian menunjukkan beton variasi kaca 5% memiliki kuat lentur terbesar.
4. Nilai penyerapan (Absorpsi) beton cenderung menurun seiring bertambahnya penggunaan kaca pada campuran beton. Pada umur beton 28 hari, penyerapan beton 0%, 3%, 4% dan 5% berturut-turut sebesar 1,46%, 1,62%, 1,40% dan 1,20%.

Dengan demikian hasil pengujian menunjukkan bahwa limbah kaca dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah untuk campuran beton, sebab pemanfaatan limbah kaca sebagai bahan tambah dapat memberikan pengaruh positif bagi kinerja beton.

6. SARAN

Adapun saran yang dapat disampaikan untuk penyempurnaan penelitian seputar pemanfaatan limbah kaca ialah:

1. Penggunaan kaca berwarna dapat diteliti lebih lanjut untuk membandingkan nilai kekuatan beton.
2. Perbanyak jumlah variasi kaca dengan ukuran butir yang serupa sebagai bahan tambah untuk campuran beton.
3. Lakukan penelitian dengan memperhatikan gradasi butiran kaca sebagai bahan tambah dengan baik.
4. Buatlah benda uji pengujian dalam sekali pengecoran untuk membandingkan kekuatan beton dengan tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bajad, M.N., Dkk. 2011. *Effect of Glass on Strength of Concrete Subjected To Sulphate Attack*. International Journal of Civil Engineering Research and Development. Vol.1.
- [2] Fanisa E., Gunawan T., 2013. *Pengaruh Sulfat Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Variasi Bubuk Kaca Subsitusi Sebagian Pasir dengan w/c 0,60 dan 0,65*. Jurnal Teknik Sipil Universitas Sriwijaya
- [3] Herbudiman, B., dan Januar, C. 2011. *Pemanfaatan Serbuk Kaca sebagai Powder pada Self-Compacting Concrete*
- [4] Mulyono, T. 2018. *Teknologi Beton: Dari Teori Ke Praktek*. Jakarta State University
- [5] N.N. 2013. *Peranan Beton dalam Pembangunan Infrastruktur Indonesia*. Berita PUPR

- [6] Paul Nugraha, Anthon, 2007. *Teknologi Beton dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. Penerbit Andi Edisi I.
- [7] Purnomo, H., dan Hisyam, E.S. 2014. *Pemanfaatan Serbuk Kaca sebagai Substitusi Parsial Semen pada Campuran Beton Ditinjau dari Kekuatan Tekan dan Kekuatan Tarik Belah Beton*. Jurnal *Fropil* Vol. 2.
- [8] Bajad M N, Modhera S D, 2009. *Effect of Glass Powder on Concrete Resistance to Sulphate Attack*. International Journal of Civil Engineering Research and Development (IJCERS) 1 (1).
- [9] SNI 2847:2013 tentang *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*
- [10] Sugiyono. 2011. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: CV Alfabeta.
- [11] Waani, J.E., dan Elisabeth, L. 2017. *Susbtitusi Material Pozolan Terhadap Semen pada Kinerja Campuran Semen*. Jurnal Teknik Sipil ITB.
- [12] Wibowo, L. 2013. *Pengaruh Penambahan Serbuk Kaca dan Water Reducing High Range Admixtures terhadap Kuat Desak dan Modulus Elastisitas pada Beton*.
- [13] Wijaya, V.D. 2015. *Pengaruh Serbuk Kaca sebagai Substitusi Sebagian Agregat Halus dan sebagai Filler terhadap Sifat Mekanik Beton*.