

KINERJA BETON *SELF COMPACTING CONCRETE* DENGAN BAHAN TAMBAH LIMBAH *POLYETHYLENE TEREPHTHALAE*

Raka Kana Pila^{1✉}, Amalia², Jonathan Saputra³

^{1,2,3}Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI, Depok, 16424.

✉ e-mail : ¹rkanapila@gmail.com, ²amalia@sipil.pnj.ac.id, ³jonathan.saputra@sipil.pnj.ac.id

Abstract

Self Compacting Concrete (SCC) is only has high flow and pass abilities at the formwork and reinforcement systems, but also no required vibration work for compaction. This research aims to investigate the physical and mechanical behavior of fresh and hard concrete. This research was arranged by making SCC concrete specimens with an initial 0.3 according to ACI 211.4R- 93, and statistical methods of regression with SPSS. Objects were tested using a polyethylene terephthalae (PET) variation of 0%, 0.30%, 0.50%, 1.00% and 0.8% superplastisizer. The physical behavior of the concrete SCC which were tested consists of flowability, passing ability, binding time and weight. For the mechanical behavior of concrete SCC which were tested consists of compressive strength, split tensile strength, tensile strength, and elastic modulus. The results of this research indicate that the use of PET in SCC can increase the passing ability by 0.92, PET can increase the weight value of SCC up to 1.16%. SCC binding time with 0.50% PET has the fastest binding time of 232 minutes. The compressive strength of concrete using 1.00% PET at the age of 3, 7, 14, and 28 days had the greatest value. The split tensile strength of 1.00% PET has the largest value, spesifically 2.48 Mpa. In the flexural tensile strength test, the use of 0.50% PET and 1.00% PET increased the flexural strength by 6.45% -17.37% compared to the flexural strength at 0% PET. The modulus of elasticity increased in all variations of PET by 8.34% -25.08% compared to SCC without PET. Based on testing the quality of fresh concrete and hard concrete, the optimum variation in the use of PET is 1.00%

Keywords: *Compressive strength; PET; SCC*

Abstrak

Self Compacting Concrete (SCC) tidak hanya memiliki sifat mampu mengalir dan menerobos pada sistem acuan-perancah dan tulangan, tetapi juga tidak mensyaratkan kerja pengetaran untuk pematatan. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti perilaku fisis dan mekanis pada beton segar dan beton keras. Penelitian ini dilakukan dengan cara membuat benda uji beton SCC dengan fas awal 0,3 sesuai ACI 211.4R-93, serta metode statistik uji regresi dengan SPSS. Benda uji yang dikerjakan menggunakan variasi polyethylene terephthalae (PET) 0%, 0,30%, 0,50%, 1,00% serta menggunakan superplastisizer 0,8%. Perilaku fisis beton SCC yang diuji terdiri dari flowabilty, passing abilty, waktu ikat dan berat isi. Untuk perilaku mekanis beton SCC yang diuji terdiri dari kuat tekan, kuat tarik belah, kuat tarik lentur dan modulus elastisitas. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan PET pada SCC mampu meningkatkan passing ability sebesar 0,92, PET mampu meningkatkan nilai berat isi SCC hingga 1,16%. Waktu ikat SCC dengan variasi 0,50% memiliki waktu ikat paling cepat sebesar 232 menit. Kuat tekan beton menggunakan PET sebesar 1,00% pada umur 3,7,14, dan 28 hari memiliki nilai paling besar. Kuat tarik belah pada variasi PET 1,00% memiliki nilai terbesar yaitu 2,48 Mpa. Pada pengujian kuat tarik lentur penggunaan PET 0,50% dan 1,00% meningkatkan kuat lentur sebesar 6,45%-17,37% dibanding kuat tarik lentur pada PET 0%. Modulus elastisitas mengalami peningkatan pada semua variasi PET sebesar 8,34%-25,08% dibanding tanpa PET. Berdasarkan pengujian kualitas beton segar dan beton keras diperoleh variasi optimum penggunaan PET sebesar 1,00%.

Kata kunci: *Kuat tekan; PET; SCC.*

Pendahuluan

Beton adalah suatu material kontruksi yang tidak dapat dipisahkan dengan kehidupan sosial modern, banyak penelitian muncul untuk memenuhi kebutuhan tersebut, salah satu hasil penelitian tersebut adalah beton memadat sendiri (*Self Compacting Concrete*). *Self Compacting Concrete* (SCC)

merupakan beton yang mampu memadat sendiri dengan *slump* yang cukup tinggi. Dalam proses penempatan pada volume bekisting (*placing*) dan proses pematatannya (*compaction*), SCC tidak memerlukan proses pengetaran seperti beton normal. SCC mempunyai *flowability* yang tinggi sehingga

mampu mengalir, memenuhi bekisting, dan mencapai kepadatan tertingginya sendiri [1]

Beton memiliki sifat getas yang tidak baik digunakan untuk daerah tahanan gempa. Dibutuhkan beton yang bersifat daktil untuk daerah gempa tinggi. Salah satu caranya untuk meningkatkan daktilitas beton dengan memberikan serat limbah plastik tersebut.

Sampah plastik merupakan masalah bagi lingkungan, karena racun dari plastik ini terlepas pada saat terbakar, sehingga tidak ada satu bakteri pun yang dapat menguraikan sampah plastik ini. Botol plastik adalah plastik yang terbuat dari *polyethylene terephthalae* (PET) [2] Untuk mencegah terjadinya kerusakan tanah dan lingkungan yang berlebihan, maka perlu dicari alternatif lain. Salah satu alternatif yang dapat digunakan adalah campuran bahan air, semen tipe I, agregat dan potongan botol plastik untuk dibuat beton serat. Botol plastik adalah plastik yang terbuat dari *polyethylene terephthalae* (PET). Bahan baku plastik berasal dari hasil olahan minyak bumi yang memiliki sifat ringan, tahan air, lentur, tidak menghantarkan listrik, dan mudah dibentuk yang memiliki berat jenis 0,96 t/m³. Karena beton mempunyai kuat tarik rendah, potongan botol plastik di sini digunakan sebagai serat yang berfungsi untuk menambah kuat tarik pada beton dan menahan ketahanan terhadap retak. Karena beton serat ini tahan terhadap tarik, maka beton serat ini sering dipakai pada perkerasan jalan raya, landasan kereta api dan pada bagian beton yang tipis agar tidak mudah retak". Berdasarkan latar belakang di atas, maka perlu dilakukan penelitian tentang kinerja beton SCC yang menggunakan limbah serat plastik.

Dalam penelitian ini, beton memiliki sifat getas yang tidak baik untuk daerah tahanan gempa dan memiliki dampak yang merugikan terhadap beton. Adapun penggunaan limbah plastik PET sebagai bahan tambah beton SCC dapat meningkatkan daktilitas pada beton SSC, selain itu dapat mengurangi produksi sampah limbah plastik. Limbah plastik PET menjadi salah satu masalah di seluruh dunia seiring dengan peningkatan produksi plastik yang terus meningkat dari tahun ke tahun.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meneliti sifat fisis dan mekanis beton

segar dan beton keras SCC dengan bahan tambah limbah serat plastik PET, meneliti pengaruh limbah serat plastik PET terhadap sifat fisik dan mekanis pada beton SCC dan menentukan komposisi optimum limbah serat plastik PET yang menghasilkan sifat fisis dan mekanis beton SCC paling baik.

Batasan dalam penelitian ini adalah tidak menentukan target kekuatan minimal, digunakan FAS sebesar 0,3; air yang digunakan berasal dari sumber air Laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta, Variasi PET sebagai bahan tambah 0%, 0,30%, 0,50% dan 1,0% dan semen yang digunakan adalah Semen OPC tipe 1 dan *Fly Ash* tipe F.

Metode Penelitian

Metode yang dipergunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen dengan merencanakan campuran beton sesuai dengan ACI 211.4R-93 [3]. Benda uji dibuat dengan faktor air semen sebesar 0,3 pemakaian *admixture superplasticizer* naptha 511p sebanyak 0,8% dari berat semen. Benda uji dibuat dengan menggunakan semen sebesar 90% dan *fly ash* sebesar 10% dari berat total semen. Penggunaan *fly ash* sebagai material *pozzolan* pada penelitian ini ditujukan untuk mereduksi kandungan kalsium hidroksida pada beton, dan menciptakan *kalsium-silikat-hidrat* tambahan yang merupakan sumber kekuatan beton. *Fly Ash* yang umumnya berbutir halus juga dapat mengisi pori pada beton dan meningkatkan kerapatan beton sehingga air yang memiliki sifat agresif lebih sukar dalam melakukan penetrasi pada beton. Pada penelitian ini juga digunakan limbah plastik PET sebagai material yang ditujukan untuk bahan tambah. Variasi penggunaan limbah plastik PET pada penelitian ini adalah 0%, 0,30%, 0,50%, dan 1,0%. Kinerja beton segar yang diuji meliputi *slump flow*[4], *l-box* [5], berat isi beton segar[6], dan waktu ikat. Kinerja beton keras yang diuji meliputi berat isi beton keras, kuat tekan[7], kuat tarik belah [8]kuat tarik lentur[9]. Untuk meneliti perkembangan kuat tekan, beton diuji pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari, berat isi beton keras diuji pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari,

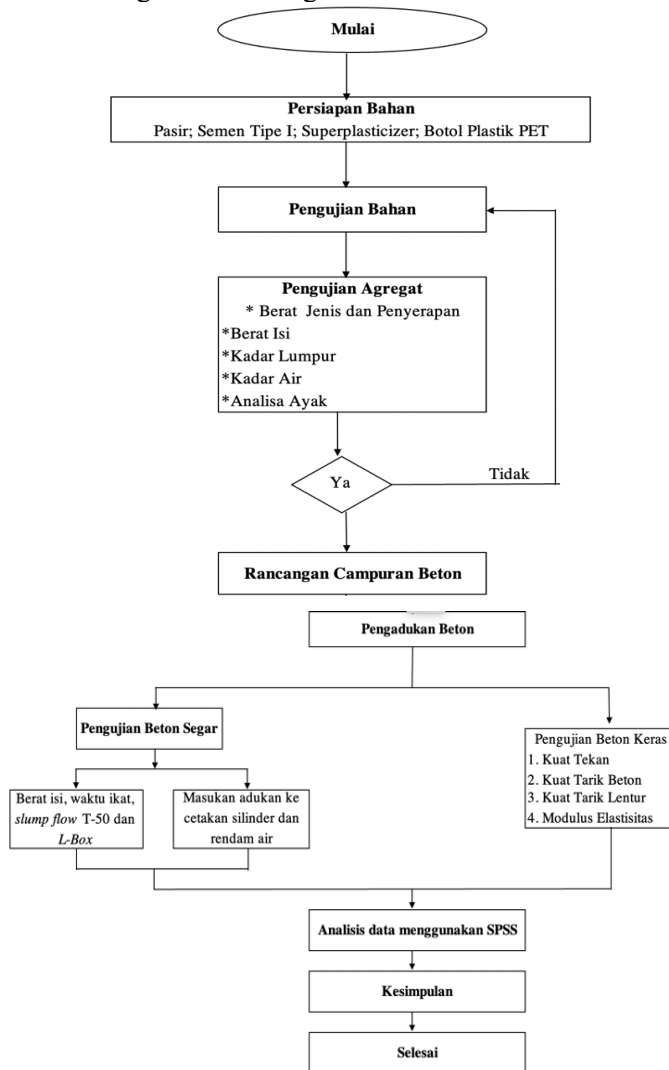
kuat tarik belah dan kuat lentur diuji pada umur 28 hari,

Bahan yang digunakan pada penelitian adalah sebagai berikut:

1. Ordinary Portland Cement (OPC) tipe 1
2. Agregat Kasar Ukuran Maksimum 20mm
3. Agregat Halus (Pasir Belitung)
4. Fly Ash Tipe F
5. Limbah Plastik PET
6. Superplasticizer Naptha 511P

Analisis data menggunakan software SPSS. Adapun analisis yang akan dilakukan yaitu analisis uji regresi untuk mengetahui hubungan antar variabel dan persamaan hubungannya. Ada 2 regresi yang digunakan pada penelitian ini regresi linear sederhana dan regresi non linear quadratic [10].

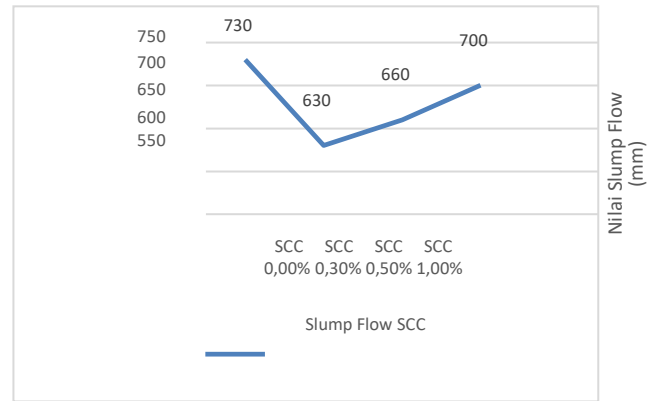
Prosedur penelitian digambarkan dengan diagram alir sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Prosedur Penelitian

Hasil dan Pembahasan

Beton Segar *Slump Flow*



Gambar 2. Nilai *Slump Flow*

Didapatkan nilai *slump flow* tertinggi diperoleh oleh SCC dengan variasi 0% sebesar 730 mm. Nilai *slump flow* SCC menurun pada variasi 0,30%, lalu mengalami kenaikan sampai dengan variasi 1,00%. Dengan persentase penurunan sebesar 13,7% pada variasi 0,30%, lalu kenaikan pada variasi 0,50%, dan 1,00% sebesar 9,59% dan 4,11%. Namun hal ini masih menunjukkan nilai *slump flow* yang sesuai dengan rencana.

Bedasarkan pengolahan data dengan software SPSS persamaan regresi non linear yang didapat adalah $Y = 723,025x - 315,765 + 295,730x^2$ dan nilai *r-square* sebesar 0,808. Untuk lebih menjelaskan hasil persamaan tersebut maka dilihat pula nilai koefisien determinasi (R^2), serta nilai signifikansi. Berdasarkan nilai (R^2), PET berpengaruh sebesar 80,8% dan didapatkan nilai signifikansi sebesar 0,439 dimana nilainya lebih besar dari 0,05 yang menjelaskan bahwa variasi PET tidak berpengaruh secara signifikan terhadap nilai *slump flow*. Dapat disimpulkan berdasarkan analisa data statistik bahwa PET tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai *slump*.

L-box

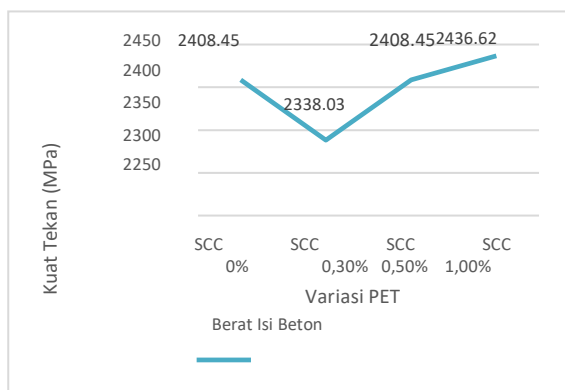
Tabel 1. Perbedaan Nilai L-Box pada tiap variasi PET

Kode Beton	H1 (mm)	H2 (mm)	Blocking Ratio H2/H1
SCC 0,00%	640	500	0.78
SCC 0,30%	600	530	0.88
SCC 0,50%	600	550	0.92
SCC 1,00%	600	530	0.88

Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa nilai L-box meningkat seiring dengan peningkatan kadar PET. PET 0,3% memiliki rasio L-box sebesar 0,88 sedangkan PET 0,5% sebesar 0,92 keduanya masih memenuhi syarat SCC yaitu sebesar 0,8 – 1,0.

Berat Isi Beton Segar

Hasil pengujian berat isi beton segar pada Gambar 3. Dari gambar tersebut didapatkan bahwa nilai berat isi beton segar tertinggi diperoleh oleh beton dengan variasi ke-4 (PET 1,0%) sebesar 2436,62 Kg/m³. Kemudian variasi ke-2 (PET 0,30%) menjadi variasi yang memiliki berat isi terkecil sebesar 2338,03 Kg/m³.



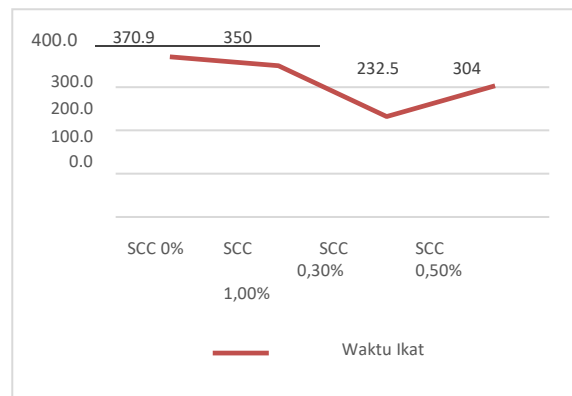
Gambar 3. Perbedaan Nilai Berat Isi Beton Segar pada Tiap Variasi PET

Dapat disimpulkan berdasarkan Gambar 3, bahwa terjadi naik turun berat isi beton segar pada setiap penambahan persentase PET. Kenaikan berat isi beton segar tersebut disebabkan oleh PET, dan mengakibatkan kenaikan di setiap penambahan variasi beton SCC dengan PET.

Pada analisa berat isi beton segar ini didapatkan bahwa penggunaan PET 1,0% mampu meningkatkan nilai berat isi beton segar 1,16%.

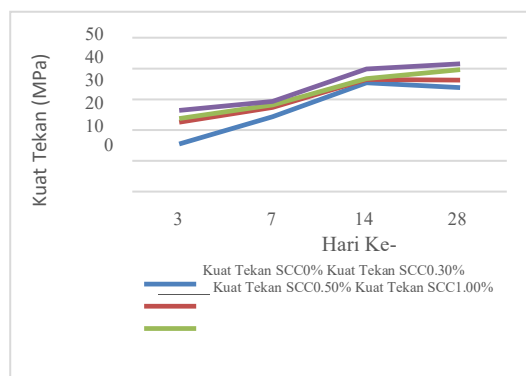
Gambar 4. Perbedaan Nilai Waktu Ikat pada Tiap Variasi PS Ball

Berdasarkan Gambar 4, menunjukkan perbandingan waktu ikat yang fluktuatif, yaitu penambahan PET belum tentu mempercepat atau memperlambat waktu ikat. Hal ini dikarenakan adanya banyak faktor



yang mempengaruhi kecepatan waktu ikat, seperti kondisi cuaca, kelembapan, dll. Waktu ikat tercepat dicapai pada variasi PET 0,50% yaitu 232,5 menit sedangkan waktu ikat paling lambat dicapai pada variasi PET 0% yaitu selama 370,9 menit.

Kuat Tekan



Gambar 5. Perbedaan Kuat Tekan Variasi PET Pada Tiap Umur Pengujian

Berdasarkan Gambar 5, semua nilai kuat tekan beton SCC pada tiap variasi mengalami peningkatan. Penggunaan PET sebagai bahan tambah pada beton SCC dapat meningkatkan kuat tekan beton untuk

berbagai umur pengujian. Pengujian yang dilakukan pada umur 3 hari memiliki kuat tekan paling rendah. PET 0% memiliki peningkatan kuat tekan awal yang rendah dibanding dengan penggunaan PET pada variasi 0,30% sampai 1,00% yang memiliki peningkatan kuat tekan awal tinggi. Setelah umur 14 hari, PET 0% cenderung mengalami peningkatan kuat tekan. Sedangkan beton SCC yang menggunakan PET dengan variasi 0,50%, dan 0,30% cenderung mengalami persamaan nilai kuat tekan di umur 14 hari.

Nilai kuat tekan SCC umur 3 hari mengalami fluktuasi. Penggunaan PET sampai 0,30% terus mengalami kenaikan kuat tekan sampai PET 1,00%. penggunaan PET dengan takaran 0,30%- 1,0% mampu meningkatkan kuat tekan 3 hari sebesar 45,34% - 70,41% dibandingkan dengan beton SCC tanpa menggunakan PET.

Nilai kuat tekan umur 7 hari mengalami peningkatan. Penggunaan PET sampai 0,30% terus mengalami kenaikan kuat tekan sampai PET 1,00%. penggunaan PET dengan variasi 0,30%- 1,00% mampu meningkatkan kuat tekan 7 hari sebesar 12,40% - 20,54% dibandingkan dengan beton SCC tanpa menggunakan PET.

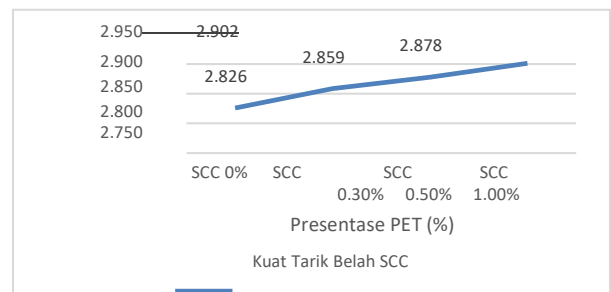
Nilai kuat tekan umur 14 hari mengalami peningkatan. Penggunaan PET sampai 0,30% terus mengalami kenaikan kuat tekan sampai 1,00%. penggunaan PET dengan variasi 0,30%- 1,00% mampu meningkatkan kuat tekan 14 hari sebesar 2,93% - 12,53% dibandingkan dengan beton SCC tanpa menggunakan PET.

Nilai kuat tekan umur 28 hari mengalami peningkatan. Penggunaan PET sampai 0,30%, terus mengalami kenaikan kuat tekan sampai ke variasi PET 1,00%. Penggunaan PET dengan variasi 0,30 - 1,00% mampu meningkatkan kuat tekan 28 hari sebesar 6,96% - 22,56% dibandingkan dengan beton SCC tanpa menggunakan PET.

Dari pernyataan - pernyataan tersebut, dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan variasi PET berpengaruh terhadap nilai kuat tekan beton. Penggunaan variasi PET 1,0% adalah variasi optimum pada setiap umur pengujian. Menurut Gati Annisa Hayu (2016) Berdasarkan hasil pengujian beton segar dapat diketahui bahwa adukan beton SCC yang direncanakan masih memenuhi ketiga syarat SCC. Hasil terbaik ditunjukkan oleh PET 5%. Sedangkan untuk kuat tekan, nilai

paling besar diperoleh oleh PET 5% juga sedangkan paling kecil adalah PET 10%. Secara garis besar dapat dilihat bahwa PET 5% memberika perilaku yang paling baik diantara varian-varian yang ada. Hal ini disebabkan karena dengan komposisi tersebut masih memungkinkan terjadinya ikatan yang baik anatara material penyusun beton dengan PET. Semakin banyak komposisi PET maka daya lekat antar material penyusun beton akan semakin kecil. Daya lekat y ang baik tentu saja akan meningkatkan kuat tekan beton dan juga porositas beton itu sendiri [12].

Kuat Tarik Belah



Gambar 6. Perbedaan Nilai Kuat Tarik Belah pada variasi PET

Kekuatan beton dalam tarik merupakan suatu sifat yang mempengaruhi perambatan dan ukuran retak pada suatu struktur. Pengujian tarik belah ditujukan untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat dipikul beton hingga mengalami retak atau belah. Berdasarkan Gambar 6 didapatkan nilai kuat tarik belah beton SCC meningkat pada Penggunaan PET 0,30%

– 1,00% mampu meningkatkan kuat tarik belah sebesar 1,06% - 2,68% dibandingkan tanpa PET. Nilai kuat tarik belah paling tinggi dicapai pada penggunaan bahan tambah PET 1,00% yaitu sebesar 2.902 Mpa. Sedangkan pada penggunaan variasi PET 0% memiliki nilai kuat tarik belah paling rendah sebesar 2.826 MPa. Dibandingkan variasi 0%, penggunaan PET 1,00% menaikkan nilai kuat tarik belah sebesar 2.68%.

Besarnya hasil uji kuat tarik belah beton dapat digunakan sebagai acuan untuk mengestimasi beban retak beton atau momen retak [13], maka semakin besar nilai kuat tarik beton, maka kinerja beton dalam menahan retak semakin baik. Berdasarkan

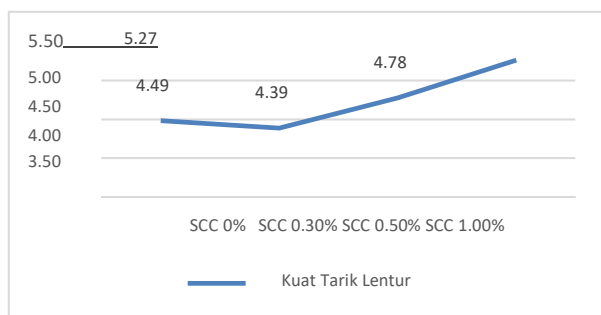
hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa beton SCC dengan variasi PET sebagai bahan tambah memiliki kemampuan menahan retak lebih baik dibandingkan beton SCC tanpa PET.

Tabel 2. Perbandingan Nilai Pengujian Kuat Tarik Belah dengan Rumus $f_{cr} = 0,33 \sqrt{f'_c}$

Variasi	Hasil Pengujian (Mpa)	Kuat Tarik Formula
PET 0%	2,82	2,11
PET 0,30%	2,85	2,33
PET 0,50%	2,88	2,44
PET 1%	2,92	2,20

Berdasarkan Tabel 2 nilai pengujian kuat tarik belah SCC sudah melebihi dari syarat perhitungan di SNI. Menurut Rocky (2018) hasil kuat Tarik belah beton mengalami peningkatan yang optimum pada persentase 0,6 %. Pada persentase 0,6 % kekuatan tarik belah beton meningkat sebesar 23,29 % dari beton normal dengan nilai 2,753 Mpa karena jumlah cacahan serat botol plastik PET yang mengandung sifat polimer meningkatkan kuat tarik belah beton. Hasil kuat tarik belah pada persentase 0,7% menurun dari persentase 0,6% karena terlalu banyaknya campuran serat cacahan botol plastik yang mengakibatkan berkurangnya volume beton sehingga fungsi daribahanbahan beton menjadi berkurang [11].

Kuat Lentur



Gambar 7. Perbedaan Nilai Kuat Lentur pada variasi PET

Pada Gambar 7, grafik kuat tarik lentur terhadap variasi PET. Terlihat bahwa penggunaan PET berpengaruh secara fluktuatif terhadap kuat tarik lentur. Kuat tarik lentur tertinggi terdapat pada variasi PET 1,00% yaitu sebesar 5.265 Mpa. Sedangkan, kuat tarik lentur terendah

terdapat pada beton variasi PET 0,30% yaitu sebesar 4.388 Mpa. Beton dengan variasi PET 0,30% mengalami penurunan kuat tarik lentur sebesar 2,16 % dibandingkan dengan beton SCC yang menggunakan PET 0%. Menurut Aulia (2019) kuat lentur PET 0,5% mengalami peningkatan menjadi 11,89 MPa. Dan peningkatan terbesar terjadi pada BS0,7% dengan kuat lentur sebesar 12,26 MPa. Pola retak yang umumnya terjadi menunjukkan pola retak lentur (*flexural crack*) [12].

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang diperoleh dapat diketahui bahwa: PET memberikan kontribusi dalam meningkatkan kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur beton SCC, hal ini sejalan dengan pernyataan Irniaryanti, 2008. Akan tetapi perilaku fisis dan mekanis tersebut dapat tercapai jika PET masih dalam batas variasi tertentu. Dari komposisi yang diteliti disini dapat diketahui bahwa PET 1,0% memiliki nilai terbesar dibanding dengan variasi PET lainnya, penggunaan PET sebagai bahan tambah dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton SCC pada umur 28 hari sebesar 22,56%, nilai kuat tarik belah beton SCC meningkat sebesar 2,68%.

Saran

Saran yang dapat diberikan terkait hasil penelitian yang sudah dilakukan yaitu:

1. Ukuran plastik PET sebaiknya diperkecil agar mendapat hasil pengadukan yang optimum tidak terjadi penggumpalan
2. Melakukan penambahan variasi PET agar mendapatkan hasil fisis dan mekanis SCC yang lebih maksimal
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan PET pada SCC dengan melakukan pengujian beton segar dengan *V funnel*
4. Untuk Penggunaan material agregat kasar dapat mengganti ukuran maksimum 20 mm dengan agregat kasar ukuran maksimum 12,5 mm atau 9,5 mm untuk menghasilkan *flowability* yang lebih baik.

Daftar Pustaka

- [1] EFNARC, "Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete," Rep. from EFNARC, vol. 44, no. February, p. 32, 2002, doi: 0 9539733 4 4.
- [2] M. N. Lutfian Pura, D. Nurtanto, and W. Y. Widiarti, "Penggunaan Limbah Plastik Daur Ulang Sebagai Pengganti Agregat Halus Pada Beton Scc (Self Compacting Concrete)," Digit Repos. UNEJ, pp. 1–91, 2017, [Online]. Available: <http://repository.unej.ac.id/handle/123456789/82835>.
- [3] G. R. Mass et al., "Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete With Portland Cement and Fly Ash," ACI Mater. J., vol. 90, no. 3, 1993, doi: 10.14359/9754.
- [4] SNI 1972:2008, "Cara Uji Slump Beton," Badan Standar Nas. Indones., p. 5, 2008.
- [5] S. N. Indonesia and B. S. Nasional, "beton memadat sendiri dengan L-Box," 2017.
- [6] B. S. Nasional, "SNI 03-1973-1990 Standar Nasional Indonesia Metode Pengujian Berat Isi Beton," 1990.
- [7] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 03-1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder," Badan Stand. Nas. Indones., p. 20, 2011.
- [8] SNI 03-2491, "Metode pengujian kuat tarik belah beton," Badan Standar Nas. Indones., p. 14, 2002.
- [9] SNI 4431:2011, "Cara uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan," Standar Nas. Indones., p. 16, 2011.
- [10] Sugiyono, "Statistik Untuk Penelitian" pp. 1–370, 2007, doi: 10.1016/S0969-4765(04)00066-9.
- [11] L. Botol, P. Polyethylene, T. Pet and R. Armidion, "Peningkatan nilai kuat tarik belah beton dengan campuran limbah botol plastik polyethylene terephthalate (pet)," pp. 117–126, 2018.
- [12] A. Setiawan and A. A. Masagala, "Pengaruh Penambahan Serat Limbah Plastik Polyethylene Terephthalate (Pet) Dengan," pp. 8–9, 2019.