



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research
Volume 4 Nomor 4 Tahun 2024 Page 16148-16162
E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246
Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

Pengaruh Limbah Puntung Rokok dalam Proses *Self Healing Concrete* Terhadap Kuat Tekan Beton

Lirawati^{1✉}, Hasbi Rizki Suardi², Raihan Ahmad Fadhilah³, Dikri Maulana⁴, Eneng Devi Susilawati⁵,
Ivaldy Aqshaprayza⁶
Universitas Pakuan

Email: lirawati.0424057903@unpak.ac.id^{1✉}

Abstrak

Pengaruh penggunaan Limbah Puntung Rokok dan Bakteri *Bacillus Subtilis* terhadap sifat mekanik beton serta potensinya dalam meningkatkan performa *Rigid Pavement*. Beton adalah material konstruksi yang dominan dalam infrastruktur sipil karena kekuatannya yang tinggi dan ketahanannya terhadap cuaca. Namun, pembuatan beton konvensional sering kali menimbulkan dampak lingkungan yang signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi masalah tersebut dengan memanfaatkan Limbah Puntung Rokok sebagai sumber serat selulosa tambahan dalam beton, serta menggunakan *Bacillus Subtilis* untuk meningkatkan proses *Self-Healing Concrete*. Metode penelitian melibatkan eksperimen laboratorium untuk menguji kuat tekan, kuat tarik, dan ketahanan terhadap retakan beton yang diperkaya dengan Limbah Puntung Rokok dan Bakteri *Bacillus Subtilis*. Hasil eksperimen ini akan memberikan pemahaman mendalam tentang bagaimana kombinasi ini mempengaruhi sifat mekanik beton serta biaya produksi. Manfaat dari penelitian ini mencakup pengurangan dampak lingkungan dari Limbah Puntung Rokok, inovasi dalam penggunaan material alternatif untuk beton, dan peningkatan performa infrastruktur jalan. Diharapkan bahwa hasil penelitian ini dapat memberikan landasan untuk pengembangan beton yang lebih Ramah Lingkungan dan tahan lama, serta kontribusi yang signifikan terhadap pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan di masa depan.

Kata Kunci: *Limbah Puntung Rokok, Bakteri Bacillus Subtilis, Rigid Pavement Self-Healing Concrete.*

Abstract

The effect of the use of Cigarette Butt Waste and Bacillus Subtilis Bacteria on the mechanical properties of concrete and its potential in improving the performance of Rigid Pavement. Concrete is the dominant construction material in civil infrastructure due to its high strength and resistance to weather. However, the manufacture of conventional concrete often has a significant environmental impact. This research aims to overcome this problem by utilizing Cigarette Butt Waste as a source of additional cellulose fibers in concrete, as well as using Bacillus Subtilis to improve the Self-Healing Concrete process. The research method involves laboratory experiments to test the compressive strength, tensile strength, and resistance to concrete cracks enriched with Cigarette Butt Waste and Bacillus Subtilis bacteria. The results of this experiment will provide an in-depth understanding of how this combination affects the mechanical properties of concrete as well as production costs. The benefits of this research include reducing the environmental impact of Cigarette Butts Waste, innovations in the use of alternative materials for concrete, and improving the performance of road infrastructure. It is hoped that the results of this research can provide a foundation for the development of more environmentally friendly and durable concrete, as well as a significant contribution to sustainable infrastructure development in the future.

Keyword: *Cigarette Butt Waste, Bacillus Subtilis Bacteria, Rigid Pavement Self-Healing Concrete.*

PENDAHULUAN

Dalam pekerjaan konstruksi sipil, beton merupakan material yang sangat populer digunakan dalam berbagai macam konstruksi karena memiliki kekuatan yang tinggi serta ketahanan terhadap cuaca dan lingkungan. Beton menjadi pilihan utama untuk berbagai elemen bangunan seperti pondasi, kolom, balok, maupun plat. Selain itu, beton juga banyak digunakan dalam pembuatan *Rigid Pavement*, saluran samping, gorong-gorong, dan berbagai pekerjaan infrastruktur lainnya. Pertumbuhan populasi penduduk yang terus meningkat setiap tahunnya mendorong permintaan akan infrastruktur yang lebih kuat dan tahan lama, sehingga teknologi yang menuntut perkembangan inovasi beton pun terus meningkat.

Rigid Pavement, sebagai salah satu jenis struktur jalan yang sangat penting dalam infrastruktur transportasi, memerlukan beton dengan kekuatan dan ketahanan yang optimal. Namun, pembuatan beton konvensional seringkali menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia karena penggunaan bahan-bahan yang tidak ramah lingkungan serta penggunaan sumber daya alam yang besar.

Oleh karena itu, penelitian dan pengembangan teknologi baru dalam produksi

beton menjadi sangat penting. Salah satu inovasi terkini adalah penggunaan teknologi *self-healing concrete* (beton *self-healing*), yang mampu memperbaiki retak kecil secara otomatis tanpa perlu intervensi manusia. Teknologi ini mengintegrasikan mikrokapsul atau bahan lainnya yang dapat aktif mengisi retakan kecil yang terjadi pada beton, meningkatkan ketahanan dan umur pakai beton tersebut.

Selain itu, dalam upaya untuk mengurangi penggunaan bahan-bahan baru yang berpotensi merusak lingkungan, Limbah Puntung Rokok menjadi salah satu kandidat yang menarik untuk dimanfaatkan sebagai salah satu komponen dalam pembuatan beton. Puntung rokok mengandung serat selulosa yang dapat memberikan kekuatan tambahan pada beton. Bakteri *Bacillus Subtilis* juga telah diidentifikasi sebagai agen potensial untuk digunakan dalam produksi beton karena kemampuannya memproduksi bahan kimia seperti kalsium karbonat, yang membantu dalam proses *self-healing* beton.

Dengan menggabungkan teknologi *self-healing concrete* dengan penggunaan Limbah Puntung Rokok dan bakteri *Bacillus Subtilis* sebagai campuran beton, diharapkan dapat diciptakan beton yang memiliki kekuatan tekan yang lebih tinggi serta ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menjelajahi potensi dan pengaruh dari kombinasi teknologi ini terhadap kinerja beton pada rigid pavement, sehingga dapat memberikan kontribusi positif dalam pengembangan infrastruktur jalan yang lebih berkelanjutan dan tahan lama.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan selama 4 Bulan, di Laboratorium Mekanika Tanah dan Beton, Fakultas Teknik, Universitas Pakuan. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental dengan memanfaatkan limbah kapas puntung rokok yang berada di daerah Universitas Pakuan. Metode eksperimen adalah metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendalikan (Sugiyono 2011).

Teknik analisis data yang digunakan peneliti adalah variabel bebas dengan kapas puntung rokok 0%, dan 0,5%. Penggunaan benda uji dalam penelitian adalah benda uji Silinder Beton dengan ukuran 15 x 30 cm.

Uji kuat tekan beton adalah upaya mendapatkan nilai estimasi kuat tekan beton pada struktur eksisting, dengan cara melakukan tekanan pada sampel beton dari struktur yang sudah dilaksanakan.

Uji kuat tarik beton adalah ukuran kuat beton yang diakibatkan oleh suatu gaya yang cenderung untuk memisahkan sebagian beton akibat tarikan. Kuat tarik beton berkisar seper-delapan belas kuat desak pada waktu umurnya masih muda, dan berkisar seper-dua puluh sesudahnya. Kuat tarik juga merupakan bagian penting didalam menahan retak-retak akibat perubahan kadar air dan suhu. Pengujian kuat tarik biasanya diadakan untuk pembuatan konstruksi jalan raya dan terbang (L. J. Murdock dan K. M. Brook,1991). Berikut Merupakan Metode Penelitian yang di lakukan selama dilaksanakannya penelitian.

1. Batasan Penelitian

Pada Penelitian kali ini, yaitu menggunakan metode eksperimental dengan memanfaatkan limbah kapas puntung rokok, yang diantaranya sebagai berikut:

- a. Mengumpulkan limbah kapas puntung rokok di daerah Universitas Pakuan.
- b. *Mix design* menggunakan metode SNI (Standar Nasional Indonesia).
- c. Bahan material yang digunakan yaitu air, semen Portland Composite (PCC), agregat halus, agregat kasar yang memiliki kadar lumpur yang sangat kecil, dan Limbah Puntung Rokok yang sudah di cuci.
- d. Penelitian menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan dimensi diameter (D) 15 cm dan tinggi (H) 30 cm.
- e. Sampel benda uji silinder yang dibuat sebanyak 18 buah.
- f. Pembuatan benda uji ini berlokasi di Laboratorium Mekanika Tanah dan Beton, Fakultas Teknik, Universitas Pakuan.
- g. Waktu perendaman (curing) benda uji untuk kuat tekan dan Tarik selama 28 hari dan pengujian benda uji berlokasi di Laboratorium Mekanika Tanah dan Beton, Fakultas Teknik, Universitas Pakuan.
- h. Bakteri yang digunakan adalah bakteri *Bacillus Subtillis* yang sudah di perkembangbiakan.
- i. Uji Kuat Tekan dan Uji Kuat Tarik pada Beton di lakukan pada beton berumur 28 Hari.
- j. Waktu perendaman benda uji untuk proses self-healing concrete selama 14 hari.
- k. Mengamati bakteri *Bacillus Subtillis* dalam menutupi keretakan pada beton dengan cara pengamatan secara visual.

2. *Mix Design*

Menurut SNI 03-2834-2000 yaitu tentang "Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal". Standar ini memberikan panduan dan prosedur untuk merancang campuran beton normal yang memenuhi kekuatan dan kinerja yang diinginkan dalam

konstruksi. Dengan tujuan untuk menentukan komposisi bahan beton (semen, agregat kasar, agregat halus, air, bahan tambah) untuk mencapai kekuatan tekan yang diinginkan. Dan menjamin konsistensi dan kualitas beton. Dengan mengikuti langkah-langkah ini sesuai SNI 03-2834-2000, desain campuran beton dapat menjamin beton yang berkualitas dan memenuhi spesifikasi proyek.

3. Uji Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah kapasitas beton untuk menahan beban tekan per satuan luas. Pengujiannya dilakukan menggunakan benda uji berbentuk silinder (diameter 15 cm, tinggi 30 cm). Perhitungan kuat tekan dilakukan dengan rumus $f_c = \frac{P}{A}$ di mana f_c adalah kuat tekan dalam MPa, P adalah beban maksimum dalam Newton, dan A adalah luas penampang dalam milimeter persegi.

4. Uji Tarik Tekan Beton

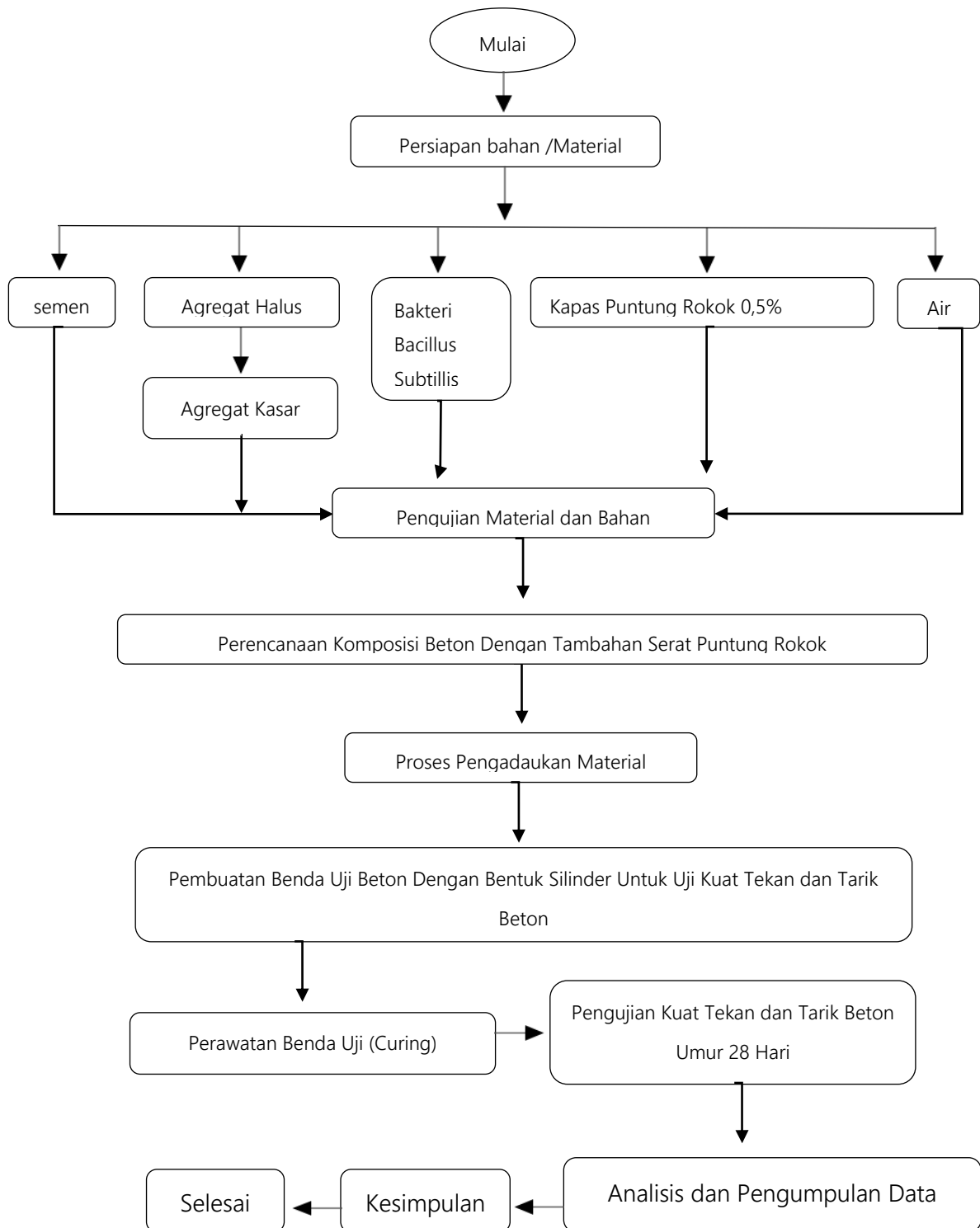
Kuat tarik beton, yang biasanya sekitar 10-15% dari kuat tekan, diuji dengan dua metode utama: tarik belah (split tensile test) dan lentur (flexural test). Pada uji tarik belah, silinder beton ditekan horizontal hingga retak memanjang, dan kuat tarik belah dihitung dengan rumus $f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD}$, di mana f_{ct} adalah kuat tarik belah dalam MPa, P adalah beban maksimum dalam Newton, L adalah panjang benda uji dalam milimeter, dan D adalah diameter benda uji dalam milimeter.

5. *Self-healing Concrete*

Self healing concrete (SHC) adalah teknologi beton yang memiliki kemampuan untuk menyembuhkan retak-retak kecil secara mandiri. Teknologi ini memanfaatkan berbagai bahan aditif, seperti bakteri, enzim, dan polimer, yang dapat bereaksi dengan air dan menghasilkan zat penyembuh.

Self healing concrete atau perbaikan mandiri beton merupakan sebuah inovasi untuk beton yang pertama kali diperkenalkan oleh Dr. Henk Joankers 2006 seorang ahli microbiologist Delfi University, Netherland yang dikerjakan selama kurang lebih 3 tahun. Inovasi beton ini memanfaatkan bakteri bacillus subtilis sebagai agen perbaikan mandiri, bakteri ini dipilih karena terbukti dapat mengeluarkan endospora berupa CaCO₃ kalsium karbonat dimana kemampuan ini hanya dimiliki oleh beberapa bakteri salah satunya dari genus bacillus.

6. Diagram Alir Riset



Gambar 1. Diagram Alir Riset

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Beton, Fakultas Teknik, Universitas Pakuan. Yakni melakukan penelitian terhadap teknologi beton yang memiliki kemampuan untuk menyembuhkan retak-retak kecil secara mandiri dan jenis beton yang berserat Limbah Kapas Puntung Rokok. Hasil dari penelitian tersebut yaitu sebagai berikut.

1. Pengujian Material Beton

Beton adalah bahan konstruksi yang terdiri dari campuran agregat (pasir dan kerikil), semen, dan air, yang mengeras melalui proses hidrasi. Seringkali, bahan tambahan ditambahkan untuk meningkatkan sifat-sifat tertentu seperti kekuatan dan durabilitas. Proses pembuatannya melibatkan pengadukan hingga homogen, pengecoran ke dalam cetakan, pemadatan untuk menghilangkan rongga udara, dan perawatan untuk mencegah kehilangan air. Namun sebelum digunakan sebagai bahan penyusun beton, terlebih dahulu material tersebut harus melalui beberapa proses pengujian agar mengetahui bahwa material tersebut memenuhi syarat yang telah ditentukan oleh metode yang digunakan sebagai pedoman.

Tabel 1. Hasil Pengujian Material Beton

No	Pengujian	Hasil	Satuan
1.	Kadar Lumpur Agregat Halus	1	%
2.	Kadar Lumpur Agregat Kasar	0,5	%
3.	Berat Jenis Agregat Halus	2,18	
4.	Berat Jenis Agregat Kasar	2,33	
5.	Berat Satuan Agregat Halus	1,09	gr/cm ³
6.	Berat Satuan Agregat Kasar	1,16	gr/cm ³
7.	Analisa Saringan Agregat Halus	2,54	
8.	Analisa Saringan Agregat Kasar	3,94	
9.	Kehalusan Agregat Kasar	2,43	%
10.	Kehalusan Agregat Halus	4	%

Sumber: Analisa Data

2. *Mix Design*

Metode *mix design* atau perencanaan pembuatan beton yang dipakai untuk penelitian kali ini adalah metode SNI (Standar Negara Indonesia) tepatnya SNI 03-2834-2000. Berikut merupakan hasil atau kebutuhan yang diperlukan dengan memanfaatkan bahan tambah Limbah Puntung Rokok dan Bakteri *Bacillus Subtilis*. Formulir perhitungan

mix design atau campuran beton merupakan hasil dari perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya guna mempermudah dalam proses pembuatan benda uji beton. Berisikan tentang data-data yang harus dipenuhi dan diharapkan hasil dari beton dapat sesuai dengan mutu rencana, yang dapat di lihat Sebagai berikut.

Tabel 2. *Mix Design*

No	Pengujian	Hasil	Satuan
1.	Kuat tekan umur 28 hari	16,664	Mpa
2.	Deviasi standar	8,3	Mpa
3.	Nilai tambah	8.336	Mpa
4.	Kuat tekan rata-rata	15,755	Mpa
5.	Jenis semen	PCC	
6.	FAS	0,5	
7.	Kebutuhan air	145,016	kg/m ³
8.	Kebutuhan semen	415,148	kg/m ³
9.	Kebutuhan Agregat Halus	675,402	kg/m ³
10.	Kebutuhan Agregat Kasar	1109,434	kg/m ³

Sumber: Analisa Data

Tabel 3. Kebutuhan bahan untuk beton normal dengan bakteri 0,5%

No	Pengujian	Nilai	Satuan
1.	Benda Uji	9	silinder
2.	Volume Benda Uji	0,0477	m ³
3.	Kebutuhan Air	8,1	kg
4.	Kebutuhan Semen	24,473	kg
5.	Kebutuhan Agregat Halus	44,113	kg
6.	Kebutuhan Agregat Kasar	70,56	kg
7.	Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> 0,5%	50	ml

Sumber: Analisa Data

Tabel 4. Kebutuhan bahan untuk beton limbah puntung rokok dengan bakteri 0,5%

No	Pengujian	Nilai	Satuan
1.	Benda Uji	9	silinder
2.	Volume Benda Uji	0,0477	m ³
3.	Kebutuhan Air	7	kg
4.	Kebutuhan Semen	23.026	kg
5.	Kebutuhan Agregat Halus	39.681	kg
6.	Kebutuhan Agregat Kasar	60.858	gr
7.	Kebutuhan Puntung Rokok	4,5	kg
8.	Bakteri <i>Bacillus Subtilis</i> 0,5%	50	ml

Sumber: Analisa Data

3. Nilai *Slump Test* Beton

Nilai *slump test* adalah prosedur untuk mengevaluasi konsistensi dan kemampuan aliran adukan beton segar. Konsistensi beton ini mengacu pada tingkat kelembaban atau aliran campuran beton yang mempengaruhi kemudahan pengerjaannya. Pengujian slump dilakukan setelah proses pengadukan material beton dengan menggunakan mesin mixer selesai. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai slump atau kelecakan (*workability*) dari beton hasil campuran. Pengujian ini melibatkan pengukuran perbedaan tinggi adukan dalam cetakan berbentuk kerucut terpancung sebelum dan sesudah cetakan diangkat. Hubungan antara parameter bahan dan penentuan komposisi beton basah dinyatakan dalam tabel-tabel berikut:

Tabel 5. Ukuran *Slump* yang di anjurkan untuk berbagai jenis kontruksi

No	Uraian	<i>Slump</i> (mm)	
		Maksimum	Minimum
1.	Dinding pelat pondasi dan pondasi telapak bertulang	80	25
2.	Pondasi telapak tidak bertulang, kaison dan kontruksi di bawah tanah	80	25
3.	Pelat, balok, kolom, dan dinding	100	25
4.	Perkerasan Jalan	80	25
5.	Pembetonan Masal	50	25

Catatan: Nilai pada tabel 5 di atas berlaku untuk pemadatan menggunakan alat penggetar. Untuk cara pemadatan yang lain, nilai slump dapat di naikan 25 mm lebih

besar.

4. Hasil Pengujian Berat Volume Beton

Pengujian berat beton dilakukan sebelum proses pengujian kuat tekan dan kuat tarik beton dilakukan, sehingga pengujian berat beton dilakukan pada beton dengan umur 14 hari dan 28 hari. Berikut hasil pengujian berat beton pada tabel 6:

Tabel 6. Hasil Pengujian Berat Rata-rata Volume Beton

No.	Variasi Beton	Test Uji	Umur Beton Hari	Berat Beton (kg)			Berat Rata-rata (kg)
				Sample 1	Sample 2	Sample 3	
				1	Beton Normal	Tekan	
		Tekan	28	11,78	11,98	11,80	11,853
		Tarik	28	11,78	11,74	11,74	11,753
2	Beton Serat	Tekan	14	11,34	11,24	11,26	11,28
	Puntung Rokok (0,5%)	Tekan	28	11,30	11,38	11,54	11,406
		Tarik	28	11,46	11,42	11,52	11,466

Sumber: Analisa Data

5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

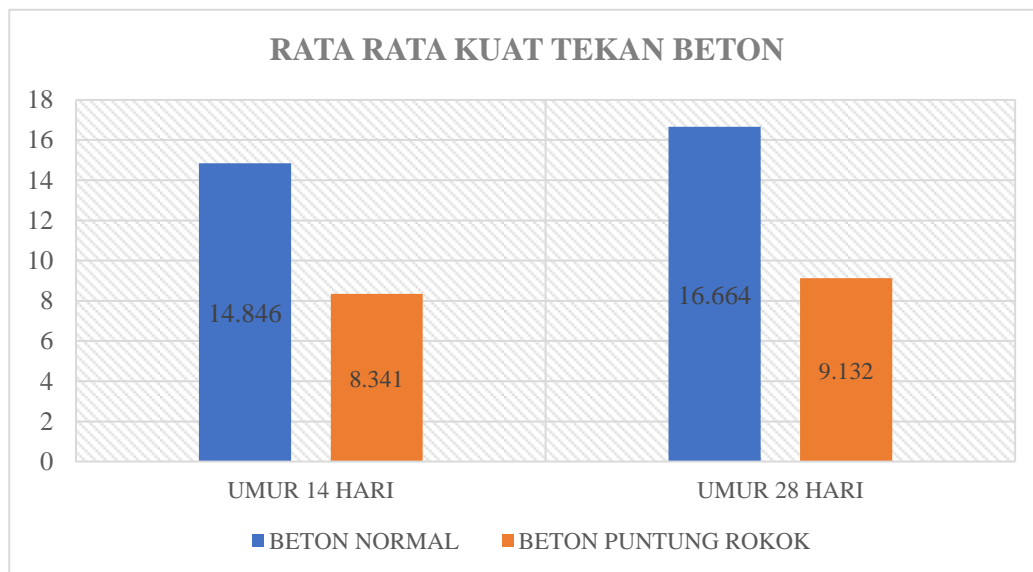
Pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah beton dilakukan perawatan (*curing*) dengan umur 14 dan 28 hari. Berikut merupakan tabel hasil dari pengujian kuat tekan beton pada umur 14 dan 28 hari.

Tabel 7. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

No	Variasi Beton	Umur (Hari)	Beban (kN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-rata (Mpa)
1.	Beton Normal (BN)	14 Hari	277	15,683	14,846
			259	14,664	
			251	14,211	
		28 Hari	333	18,854	16.664
			258	14,607	
			292	16,532	
2.	Beton Serat	14 Hari	110	6,228	8.341
			173	9,795	
			159	9,002	

Puntung Rokok	28 Hari	167	9,455	9,132
0,5% (BPR)		186	10,531	
		131	7,410	

Sumber: Analisa Data



Gambar 2. Grafik kuat rata rata tekan beton

Sumber: Analisa Data

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan pada beton dengan umur 14 dan 28 hari, maka didapat nilai rata-rata kuat tekan beton, yaitu:

- 1) Pada umur beton 14 hari didapat nilai rata-rata kuat tekan pada BN yaitu 14,846 MPa, sedangkan pada BPR 0,5% didapat nilai kuat tekan rata-rata yaitu 8,341 Mpa. Sehingga, nilai kuat tekan rata-rata pada beton dengan umur 14 hari mengalami penurunan pada penggunaan serat puntung rokok dibandingkan dengan beton normal.
- 2) Pada umur beton 28 hari didapat nilai rata-rata kuat tekan pada BN yaitu 16,664 MPa, sedangkan pada BPR 0,5% didapat nilai kuat tekan rata-rata yaitu 9,132 Mpa. Sehingga, nilai kuat tekan rata-rata pada beton dengan umur 28 hari mengalami penurunan pada penggunaan serat puntung rokok dibandingkan dengan beton normal.

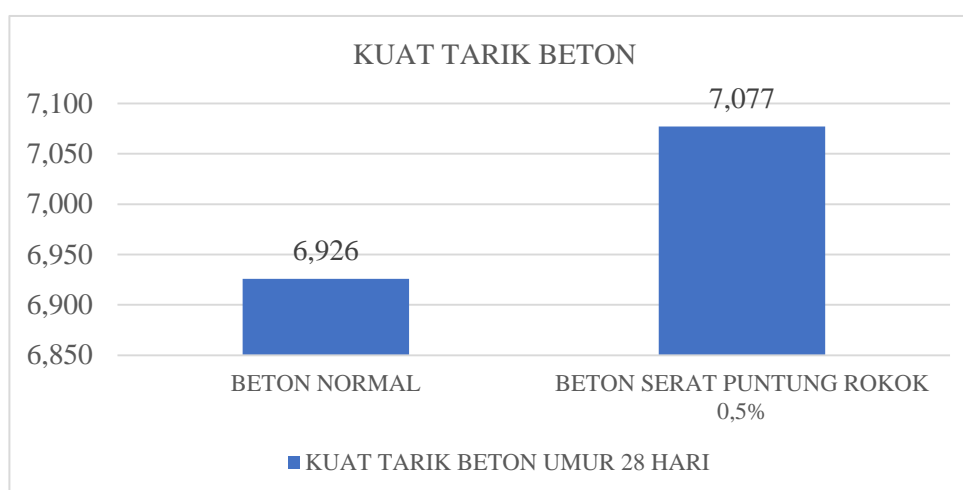
6. Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton

Pengujian kuat tarik beton dilakukan setelah beton dilakukan perawatan (*curing*) dengan umur 28 hari. Berikut merupakan tabel hasil dari pengujian kuat tarik beton pada umur 28 hari.

Tabel 8. Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton

No	Variasi Beton	Umur (Hari)	Beban (kN)	Kuat Tarik (Mpa)	Kuat Tarik Rata-rata (Mpa)
1.	Beton Normal (BN)	28 Hari	111	6,285	6.926
			115	6.511	
			141	7.983	
2.	Beton Serat Puntung Rokok 0,5% (BPR)	28 Hari	140	7.926	7.077
			132	7.473	
			103	5.832	

Sumber: Analisa Data



Gambar 3. Grafik kuat rata rata tarik beton

Sumber: Analisa Data

Didapat nilai kuat tarik dengan umur beton 28 hari pada beton normal (BN) 6,926 MPa, sedangkan pada BSP 1% didapat nilai rata-rata kuat tarik yaitu 7,077 Mpa. Sehingga, nilai kuat tarik pada beton dengan umur 28 hari mengalami kenaikan pada BPR 0.5% .

7. Pengujian *Self-healing concrete*

Berdasarkan hasil penelitian, pengujian self-healing pada beton menunjukkan hasil yang memuaskan. Spesimen beton yang telah direndam dalam air selama 14 hari pengujian menunjukkan penurunan signifikan pada lebar dan kedalaman retakan. Pengamatan visual mengonfirmasi bahwa retakan telah tertutup secara substansial. Evaluasi lebih lanjut terhadap ketahanan beton terhadap air menunjukkan peningkatan ketahanan yang signifikan, membuktikan bahwa self-healing concrete efektif dalam memperbaiki retakan dan meningkatkan durabilitas beton. Dengan demikian, penelitian ini berhasil membuktikan bahwa self-healing concrete dapat menjadi solusi inovatif untuk

meningkatkan umur panjang dan ketahanan struktur beton. Hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 4. retakan beton sebelum pengujian *self-healing concrete*

Sumber: Dokumentasi Pengujian



Gambar 5. retakan beton setelah perendaman selama 7 Hari

Sumber: Dokumentasi Pengujian



Gambar 6. retakan beton setelah perendaman selama 14 Hari

Sumber: Dokumentasi Pengujian

SIMPULAN

Kesimpulan pada penelitian kali ini dapat mengevaluasi, bahwa pengaruh limbah puntung rokok pada kuat tekan dan kuat tarik beton serta efektivitas *self-healing concrete* dengan bakteri *Bacillus Subtilis*. Dari data-data penelitian yang telah diperoleh dan Analisa

yang telah dilakukan, maka dapat di ambil Kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan limbah puntung rokok sebagai serat tambahan dalam beton menunjukkan penurunan kuat tekan pada kedua umur beton yang diuji, yaitu 14 dan 28 hari. Beton dengan tambahan limbah puntung rokok 0,5% mengalami penurunan kuat tekan yang signifikan dibandingkan dengan beton normal. Pada umur 14 hari, beton dengan limbah puntung rokok mencapai nilai rata-rata kuat tekan 8,341 MPa, sementara beton normal mencapai 14,846 MPa. Pada umur 28 hari, beton dengan limbah puntung rokok mencapai 9,132 MPa, sedangkan beton normal mencapai 16,664 MPa. Namun, pada pengujian kuat tarik beton pada umur 28 hari, beton dengan limbah puntung rokok 0,5% menunjukkan sedikit peningkatan dengan nilai kuat tarik 7,077 MPa dibandingkan beton normal yang mencapai 6,926 MPa. Ini menunjukkan bahwa penambahan limbah puntung rokok dapat meningkatkan kuat tarik beton meskipun tidak signifikan.
2. Pengujian self-healing concrete dengan bakteri *Bacillus Subtilis* menunjukkan bahwa spesimen beton yang direndam dalam air selama 14 hari mengalami penurunan signifikan pada lebar dan kedalaman retakan. Pengamatan visual menunjukkan bahwa retakan telah tertutup secara substansial. Hasil ini mengindikasikan bahwa bakteri *Bacillus Subtilis* efektif dalam memperbaiki retakan kecil pada beton, yang meningkatkan ketahanan dan durabilitas beton.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan potensi manfaat dari penggunaan limbah puntung rokok sebagai bahan tambahan dalam beton dan penggunaan bakteri *Bacillus Subtilis* untuk self-healing concrete. Namun, penurunan kuat tekan pada beton dengan limbah puntung rokok menunjukkan perlunya penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan proporsi bahan tambahan ini. Selain itu, penelitian lebih lanjut juga diperlukan untuk mengevaluasi performa jangka panjang dari beton dengan bahan tambahan limbah puntung rokok dan bakteri *Bacillus Subtilis* dalam kondisi lapangan nyata.

DAFTAR PUSTAKA

ACI Committee 318 (1999), *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary* (ACI 318-99/ACI 318R-99), *American Concrete Institute, Detroit*, 315-318.

American Standard Testing of Materials (ASTM). (1918), Concrete and Material Agregates (Including Manual of Agregates and Concrete Testing). ASTM Philadelphia, Philadelphia.

Gumelar F, Nuraini R (2020), *Bakteri Bacillus Subtilis Sebagai Agen Self Healing Concrete Dengan Variasi Persentase Dan Nilai PH*, Jurnal Rekayasa Vol.10No.02.142-152.

Standar Nasional Indonesia (2002), *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)*. Bandung

SNI 03-1974-1990. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.