

## **Pengaruh Jenis Bakteri Staphylococcus Aureus Dan Escherichia Coli Terhadap Hidrofobik & Self Healing Mortar**

**Zahwa Septia<sup>1</sup>, Ratnawulan<sup>2</sup>, Fadhila Ulfa Jhora<sup>3</sup>, Yenni Darvina<sup>4</sup>**

<sup>1234</sup>Program Studi Fisika, Universitas Negeri Padang  
e-mail: [zahwaseptia8@gmail.com](mailto:zahwaseptia8@gmail.com)

### **Abstrak**

Penelitian ini mengeksplorasi pengaruh jenis bakteri, khususnya Staphylococcus aureus dan Escherichia coli, terhadap sifat hidrofobik dan kemampuan self-healing mortar. Metode eksperimental dilakukan dengan variasi jenis bakteri sebagai variabel bebas dan kontrol terhadap bahan baku dan suhu. Hasil analisis menunjukkan bahwa kedua jenis beton memiliki komposisi kimia yang serupa. Kuat tekan beton yang menggunakan Staphylococcus aureus sedikit lebih tinggi, demikian juga dengan sudut kontak permukaan, menunjukkan sifat hidrofobik yang lebih baik. Analisis SEM menunjukkan bahwa campuran kedua bakteri dapat mengurangi keretakan dan porositas beton, meningkatkan ketahanan terhadap air. Temuan ini mengindikasikan potensi penggunaan bakteri untuk memperbaiki mortar. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan mortar yang lebih tahan terhadap air dan memiliki kemampuan self-healing, dengan implikasi praktis dalam perpanjangan masa pakai bangunan dan pengurangan biaya perawatan.

**Kata kunci:** *Mortar, Escherichia Coli, Staphylococcus Aureus, Self Healing, Hidrofobik.*

### **Abstract**

This research explores the influence of bacterial types, especially Staphylococcus aureus and Escherichia coli, on the hydrophobic properties and self-healing ability of mortar. The experimental method was carried out with various types of bacteria as independent variables and controls for raw materials and temperature. The analysis results show that the two types of concrete have a similar chemical composition. The compressive strength of concrete using Staphylococcus aureus is slightly higher, as is the surface contact angle, indicating better hydrophobic properties. SEM analysis shows that the mixture of the two bacteria can reduce cracking and porosity of concrete, increasing water resistance. These findings indicate the potential use of bacteria to repair mortar. This research contributes to the development of mortars that

are more resistant to water and have self-healing capabilities, with practical implications in extending the service life of buildings and reducing maintenance costs

**Keywords:** *Mortar, Escherchia Coli, Staphylococcus Aureus, Self Healing, Hidrofobik.*

## PENDAHULUAN

Perkembangan infrastruktur dan kebutuhan akan perumahan telah mendorong inovasi di bidang rekayasa struktur, khususnya dalam teknologi bahan bangunan. Salah satu bahan konstruksi yang penting adalah mortar, yang memiliki peran vital dalam menyusun struktur bangunan (Wijyaningtyas, 2021). Mortar harus memiliki sifat-sifat yang baik, termasuk ketahanan terhadap air, kelembaban, dan kekuatan mekanik. Seiring dengan kemajuan teknologi, sifat hidrofobik telah diidentifikasi sebagai faktor penting dalam meningkatkan daya tahan mortar terhadap kondisi lingkungan (Sumadi, 2023). Sifat hidrofobik memungkinkan mortar untuk lebih tahan terhadap air dan kelembaban, yang pada gilirannya memperpanjang masa pakai bangunan yang menggunakan mortar tersebut. Metode modifikasi, seperti penggunaan bakteri, telah diusulkan untuk meningkatkan sifat hidrofobik mortar (LESTARI, 2021). Penelitian ini menyoroti pentingnya pemahaman tentang hubungan antara bakteri tertentu, seperti *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*, dengan sifat hidrofobik dan kemampuan self-healing mortar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bakteri dapat memengaruhi sifat-sifat fisik dan kimia dari mortar, termasuk ketahanan terhadap air. Namun, perlu dicatat bahwa kolonisasi bakteri juga dapat menghasilkan biofilm yang kompleks, yang mungkin mempengaruhi sifat-sifat tersebut secara negatif.

Penelitian yang dilakukan sebelumnya telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam mengembangkan mortar dengan sifat hidrofobik dan kemampuan self-healing. Namun, tantangan yang perlu diatasi adalah pengembangan metode yang dapat memastikan kualitas mortar yang optimal tanpa mengorbankan kemampuan self-healingnya. Dengan pemahaman yang lebih mendalam tentang interaksi antara bakteri dan mortar, diharapkan dapat ditemukan solusi yang lebih efektif untuk meningkatkan kualitas material konstruksi dalam menghadapi tantangan mikrobiologis. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan metode perlindungan dan pemeliharaan yang lebih efektif terhadap material konstruksi. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang interaksi antara bakteri dan mortar, diharapkan dapat ditemukan solusi yang inovatif untuk meningkatkan daya tahan dan keberlanjutan infrastruktur masa depan. Sehingga mendapati suatu permasalahan yang akan di teliti yaitu: bagaimana pengaruh jenis bakteri *staphylococcus aureus* dan *escherichia coli* terhadap sifat hidrofobik & *healing* mortar. Kemudian mempunyai suatu tujuan penelitian ialah untuk mengetahui pengaruh jenis bakteri *staphylococcus aureus* dan *escherichia coli* terhadap sifat hidrofobik & self healing mortar. mortar didefinisikan sebagai suatu campuran yang terbuat dari semen portland, air, agregat halus (pasir) yang dicampur menjadi satu dalam proporsi perbandingan tertentu dengan membentuk suatu massa yang jika dibiarkan mengeras akan seperti batuan

dan mempunyai fungsi utama berupa menambah lekatan dan ketahanan ikatan dengan bagian-bagian penyusun suatu konstruksi., mortar mempunyai nilai penyusutan yang relatif kecil. Mortar harus tahan terhadap penyerapan air serta kekuatan gesernya dapat memikul gaya-gaya yang bekerja pada mortar. Jika penyerapan air pada mortar terlalu besar atau cepat, maka mortar akan mengeras dengan cepat dan kehilangan ikatan adhesinya (Pratama, 2023). Selanjutnya, untuk sifat yang dimiliki hidrofobik berasal dari bahasa Yunani yang terdiri dari dua kata yaitu Hydro (air) dan phobos (takut) yang berarti takut air. Saat molekul hidrofobik dicampurkan ke dalam air maka akan ditolak oleh permukaan air atau molekul akan berkumpul. Pada permukaan hidrofobik yang ditetesi air akan membuat air mengumpul dan menunjukkan sudut kontak air yang besar (Sari, 2022). Kemudian sudut kontak Jika suatu permukaan tidak basah dan selalu terlihat bersih, maka permukaan tersebut dapat dikatakan hidrofobik (anti air). Tetesan air yang menggulung ke permukaan bisa mengangkat partikel kotor yang menempel, sehingga bisa membersihkan diri sendiri (selfcleaning). Permukaan hidrofobik dapat diamati dari sudut kontak antara air dan permukaan uji yang terbentuk. Semakin besar sudut kontak permukaan, maka semakin sulit untuk membasahi permukaan (Syahara, 2016). Bakteri *Staphylococcus Aureus* merupakan bakteri fakultatif anaerob. Bakteri tumbuh pada suhu optimum 37°C. Tetapi membentuk pigmen paling baik pada suhu kamar (20-25°C). Koloni pada perbenihan berwarna abu-abu sampai kuning keemasan berbentuk bundar, halus, menonjol dan berkilau (AGUSTIANA, 2022). Lebih dari 90% isolat klinik menghasilkan *S. aureus* yang mempunyai kapsul polisakarida atau selaput tipis yang berperan dalam virulensi bakteri (Sahli, 2023). Bakteri *Escherichia Coli* adalah bakteri flora normal yang sering dijumpai pada usus manusia, bersifat unik karena dapat menyebabkan infeksi primer seperti diare (Karsinah dkk, 2011). Beton Self Healing Self healing of concrete (SHC) adalah ide yang berkembang untuk menawarkan material berkualitas tinggi yang dikombinasikan dengan kemampuan untuk memperbaiki retakan. Penerapannya mendapat banyak apresiasi dari sektor konstruksi. Oleh karena itu, mekanisme penyembuhan diri mungkin mampu menurunkan biaya perbaikan dan pemeliharaan secara signifikan. Penyembuhan diri pada beton dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok.

## METODE

Kajian dari penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen dan menggunakan tahapan penelitian berupa tahap studi literatur, persiapan bahan, pembuatan beton SNI dan beton variasi campuran, variabel dalam penelitian ini variabel terikat yaitu besar sudut kontak permukaan sedangkan variabel kontrol semen 500 gram, pasir 1375 gram, air 250 ml, jumlah CaCO 50 gram, dan temperatur 60C. teknik pengumpulan data langsung dan tidak langsung, yang mana data langsung adalah nilai variasi konsentrasi bakteri sedangkan karakteristik menggunakan SEM dan XRD. Kemudian teknik analisis data yaitu sudut di peroleh dalam karakteristik

menggunakan XRD dapat dianalisis struktur kristal dan partikel sampel. Selanjutnya nilai FWHM pada grafik yang di peroleh XRD di ukur dengan *Scherrer*

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil Penelitian

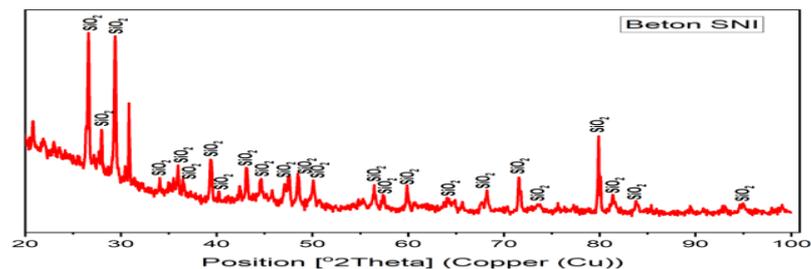
#### 1. XRD

Hasil data dari pengecekan sampel beton dengan menggunakan alat XRD akan berupa sebuah grafik. Data grafik ini akan diolah kembali atau dianalisis menggunakan aplikasi PANalytical X'Pert Highscore Plus dengan tipe 3.0.0. Aplikasi ini dapat menganalisis data grafik XRD dengan lengkap, seperti data intensitas peak pada sumbu x dan sumbu y. Data mineral per puncak grafik dan variasi grafik mineral juga dapat dianalisis menggunakan aplikasi ini. Data-data beton yang diteliti menggunakan XRD dan analisis dengan aplikasi PANalytical X'Pert Highscore Plus dapat diperhatikan pada penjelasan berikut:

- a Sampel Beton SNI pada hari ke 7

Pola difraksi sinar x Beton SNI dapat di perhatikan pada Gambar 1.

Gambar 1. Grafik XRD Beton SNI



Berdasarkan Gambar 1, pola difraksi terdiri dari beberapa peak. Mineral yang ada pada beton SNI berupa SiO<sub>2</sub> atau dikenal juga dengan nama silika. Intensitas peak diplot dalam sumbu y dan sudut difraksi yang terukur diplot dalam sumbu x.

- b Sampel beton E Coli pada hari ke 7

Pola difraksi sinar-x beton hidrofobik pada konsentrasi 103 sel/ml dapat diperhatikan pada Gambar 2:

Berdasarkan gambar 2 pola difraksi terdiri dari beberapa peak. Intensitas peak diplot dalam sumbu y dan sudut difraksi yang terukur diplot dalam sumbu x. Setiap peak atau reflection dalam pola difraksi terjadi akibat sinar x yang terdifraksi dari bidang atau planes dalam specimen atau material yang diuji menggunakan XRD. Setiap peak memiliki tinggi intensitas yang berbeda. Intensitas yang terjadi berbanding lurus dengan jumlah fonon sinar x yang telah terdeteksi oleh detektor untuk setiap sudut. Posisi peak-peak yang terjadi pada uji XRD tergantung dari struktur kristalnya.

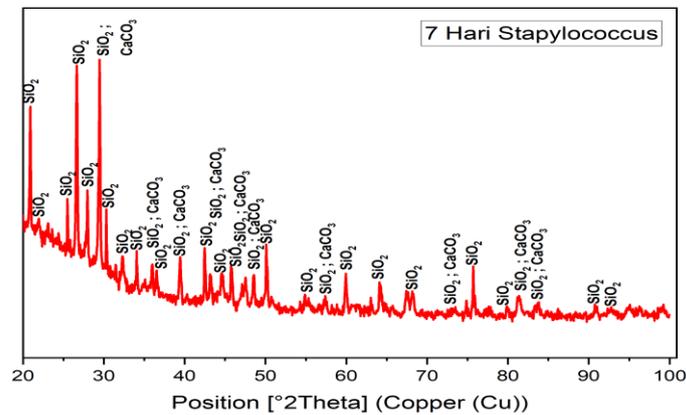
Data yang diperoleh dari hasil pengukuran tidak hanya intensitas ( $I$ ) dan sudut difraksi ( $2\theta$ ), namun hasil tersebut juga dapat menunjukkan jarak antar bidang ( $d$ ) dan intensitas relatif.

c Sampel beton *Staphylococcus* pada hari ke 7

Pola difraksi sinar-x beton hidrofobik pada konsentrasi 103 sel/ml dapat diperhatikan pada Gambar 3.

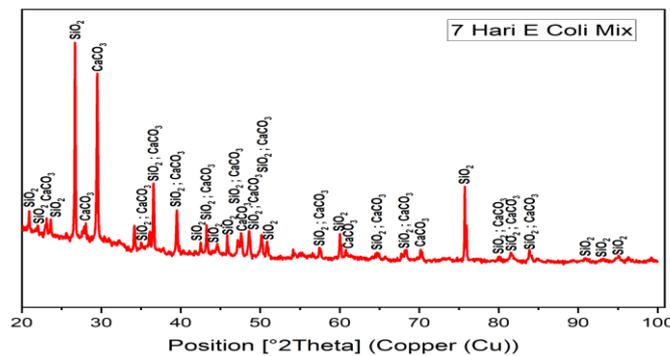
Gambar 3. Grafik XRD Sampel Beteon Copper CU

berdasarkan gambar 3. Data yang diperoleh dari hasil pengukuran tidak hanya intensitas ( $I$ ) dan sudut difraksi ( $2\theta$ ), namun hasil tersebut juga dapat menunjukkan jarak antar bidang ( $d$ ) dan intensitas relatif.



2. Pengaruh Konsentrasi Bakteri terhadap Sudut kontak pada Permukaan Beton Hidrofobik

Pengukuran sudut kontak dari pengujian pada sampel beton yang diberi perlakuan konsentrasi bakteri *E. Coli* dan *Staphylococcus* dengan konsentrasi sebesar  $10^3$  sel/ml pada campuran pasta pembuatan beton. Beton yang dibuat memiliki ukuran 5 cm x 5 cm. Beton juga di oven untuk proses pengeringan

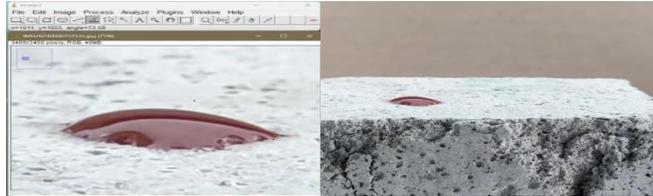


pada temperatur 60 °C

1) Hari ke 7 Beton SNI

Pengukuran sudut kontak pada sampel beton SNI pada hari ke 7 pada gambar 4 yaitu:

Gambar 4 Sudut Kontak benton SNI



Berdasarkan gambar 4 mendapati hasil pengukuran sudut kontak beton SNI dengan nilai pada tabel 1. sebagai berikut:

**Tabel 1. Sudut Kontak Beton SNI**

No	Sudut Kontak (°)
1	73,58
2	73,62
3	73,80

2) Beton yang diberi bakteri E coli dengan konsentrasi 10<sup>3</sup> sel/ml

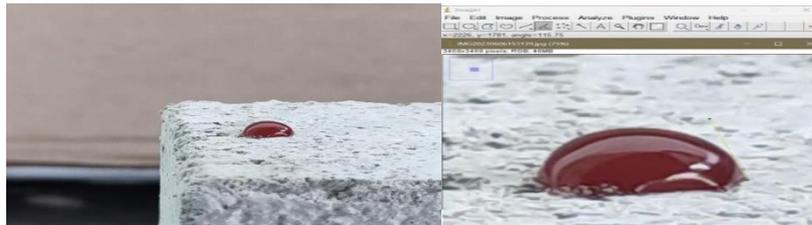
Pengukuran sudut kontak pada sampel beton yang diberi bakteri *E. Coli* dengan konsentrasi 10<sup>3</sup> sel/ml pada hari ke 7 dapat diperhatikan pada Gambar 5 yaitu:

Gambar 5. Sudut Kontak Sampel beton E Coli



Berdasarkan gambar 5 beton diberikan tetesan air untuk mengetahui sudut kontakannya. Lalu difoto menggunakan kamera, hasil

fotonya akan diolah menggunakan aplikasi image J. Berikut ini Tabel 7 hasil pengukuran sudut kontak pada konsentrasi 10<sup>3</sup> sel/ml pada hari ke



7.

**Tabel 2. Sudut Kontak Sampel Beton E Coli**

No	Sudut Kontak (°)
1	110,05
2	110,00
3	110,08

Pengukuran sudut kontak terhadap beton dilakukan berulang untuk mengurangi kesalahan paralaks ataupun salah menempatkan garis awal pada pengukuran.

- 3) Beton yang diberi bakteri Staphylococcus dengan konsentrasi 10<sup>3</sup> sel/ml Pengukuran sudut kontak pada sampel beton dengan konsentrasi 10<sup>3</sup> sel/ml pada hari ke 7 dapat diperhatikan pada Gambar 6.

Gambar 6 sudut Kontak sampel beton staphylococcus

Berdasarkan pada Gambar 6, beton diberikan tetesan air untuk mengetahui sudut kontak. Lalu difoto menggunakan kamera, hasil fotonya akan diolah menggunakan aplikasi image J. Berikut ini Tabel hasil pengukuran sudut kontak pada konsentrasi 10<sup>3</sup> sel/ml pada hari ke 7.

**Tabel 3. Sudut Kontak Sampel Beton Staphylococcus**

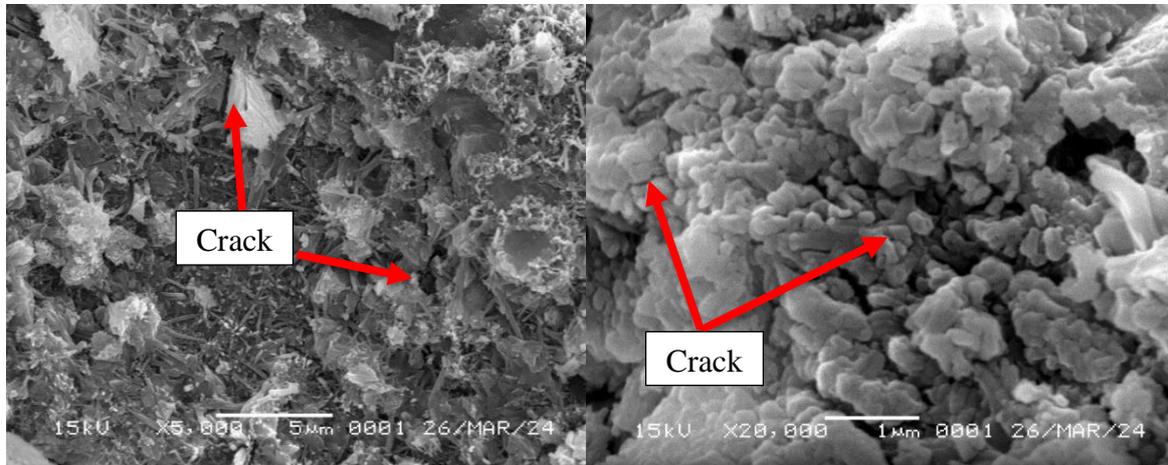
No	Sudut Kontak (°)
1	115,75
2	115,80
3	115,98

Pengukuran sudut kontak terhadap beton dilakukan berulang untuk mengurangi kesalahan paralaks ataupun salah menempatkan garis awal pada pengukuran.

### 3. Karakteristik SEM

Hasil pengujian Sampel beton SNI, dengan bakteri *E Coli* dan *Staphylococcus* dapat dilihat pada gambar 7.

#### Gambar 7. Pembesaran Menggunakan SEM



Sampel Beton SNI 5000x

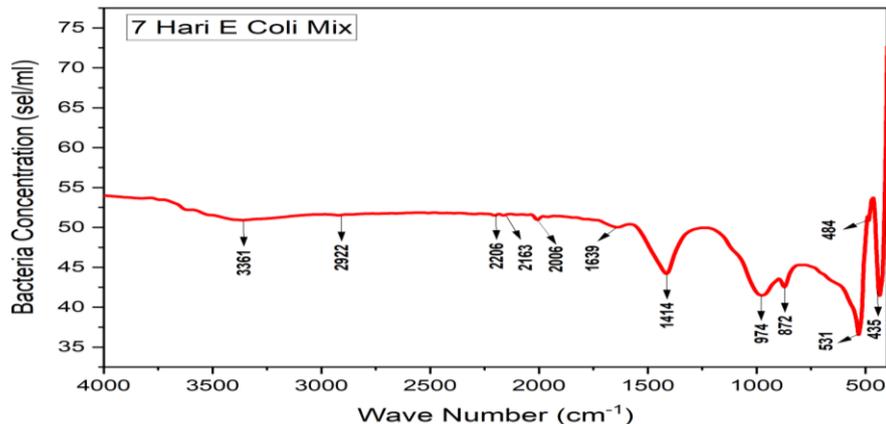
Sampel Beton SNI 20000x

Pada gambar 7 menjelaskan pada sampel beton SNI memiliki banyak rongga retakan dibandingkan dengan sampel beton yang telah diberikan campuran bakteri. Selain itu, sampel beton bakteri *E Coli* dan *Staphylococcus* dengan konsentrasi 10<sup>3</sup> sel/ml lebih padat dalam struktur mikro dibandingkan dengan sampel beton SNI, yang artinya bahwa hal itu meningkatkan kekuatan beton. Dari analisis SEM, kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) sebagai kristal kalsit dapat dibedakan dengan jelas di dalam pori-pori beton bakteri yang diendapkan oleh sel bakteri dan tidak dimiliki pada sampel beton SNI.

### 4. FTIR

Sampel beton pertama yaitu konsentrasi bakteri *E. coli* dengan konsentrasi 10<sup>3</sup> sel/ml. Pengukuran dilakukan pada rentang bilangan gelombang 3361 cm<sup>-1</sup> - 435 cm<sup>-1</sup>. Hasil karakterisasi dengan FTIR dengan konsentrasi 10<sup>3</sup> sel/ml dapat dilihat pada Gambar 8.

**Gambar 8** Hasil karakteristik FTIR sampel Beton E Coli



5. Pengaruh Konsentrasi Bakteri terhadap Kuat Tekanan Beton Hidrofobik Pada hari ke 7 data hasil pengukuran kuat tekan pada ketiga sampel beton dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4** Hasil pengukuran Kuat tekan beton pada hari ke7

No	Sampel Beton	Berat (kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Beban Tekan (kgf)	Kuat Tekan (kg/cm)
1	SNI	0,296	25	3980	159,4
2	Tercampur bakteri E Coli	0,314	25	4510	180,6
3	Tercampur bakteri Staphylococcus	0,308	25	4530	181,2

Berdasarkan tabel 4 pengukuran kuat tekan yang dilakukan pada hari ke 7 pada sampel beton. Pengukuran kuat tekan untuk sampel beton SNI yang dilakukan dengan berat 0,296 kg. Kemudian, untuk beton yang dicampurkan dengan bakteri E Coli dengan berat 0,314 kg. Sedangkan beton yang dicampurkan dengan bakteri *staphylococcus* dengan berat 0,308 kg. Luas penampang yang digunakan untuk ketiga sampel adalah 25 cm<sup>2</sup>. Nilai Beban tekan beton masing-masing sebesar 3980, 4510, dan 4530 kgf. Nilai kuat tekan beton masing-masing yaitu 159,4; 180,6; dan 181,2 kg/cm.

## **B. Analisis data dari karakteristik XRD**

Hasil analisis XRD pada ketiga sampel beton ditunjukkan pada gambar 21. Pada beton SNI fasa yang didapatkan yaitu SiO<sub>2</sub> (Silicon Oxide). Pada sampel beton yang dicampurkan dengan bakteri E Coli dan Staphylococcus fasa yang didapatkan yaitu SiO<sub>2</sub> (Silicon Oxide) dan CaCO<sub>3</sub> (Carbon Carbonate) muncul. CaCO<sub>3</sub> dihasilkan dari metabolisme bakteri yang diendapkan pada beton. Penambahan bakteri E Coli dan Staphylococcus kedalam campuran beton mempengaruhi struktur kristal dan mineral. Pada pola XRD terlihat puncak baru untuk mineral CaCO<sub>3</sub>. Terlihat pada grafik, penambahan bakteri E Coli memiliki puncak yang lebih tinggi daripada penambahan bakteri Staphylococcus. Sehingga, penambahan bakteri E Coli menunjukkan potensi yang lebihh besar untuk selfhealing dibandingkan dengan bakteri Staphylococcus

## **C. Analisis Data dari karakteristik sudut kontak**

Dari data sudut kontak yang sudah didapatkan dapat disimpulkan bahwa beton yang ditambahkan bakteri E. Coli dan Staphylococcus kedalam olahan dalam pasta semennya, memiliki sudut kontak yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton SNI yang tidak ditambahkan bakteri. Hal ini membuktikan bahwa penambahan bakteri dapat memperkuat beton menjadi lebih rapat dibandingkan SNI. Data sudut kontak beton yang ditambahkan konsentrasi bakteri juga bersifat hidrofobik sedangkan beton SNI tidak bersifat hidrofobik. Pernyataan ini sesuai menurut Gusrita, 2014 bahwa permukaan dengan sudut kontak <90o dinamakan sebagai hidrofolik dan permukaan dengan sudut kontak >90o dinamakan sebagai hidrofobik.

## **D. Hasil Analisis Karakteristik SEM**

Berdasarkan data Analisa SEM yang didapatkan membuktikan bahwa kondisi pada beton SNI yang tidak ditambahkan bakteri menunjukkan keretakan, yang sangat jelas. Pada beton SNI ini juga tidak ditemukan pada data SEM adanya proses perbaikan atau penambahan endapan kalsium karbonat. Sedangkan, penambahan konsentrasi bakteri berpengaruh terhadap keretakan mikro. Keretakan yang terdapat pada beton yang ditambah bakteri memunculkan endapan kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>).

Endapan kalsium karbonat ini berasal dari aksi langsung dari bakteri E. coli dan Staphylococcus yang sudah tercampur dari awal pada proses pembuatan beton. Ketika beton yang ditambahkan bakteri diberikan stimulus retakan mikro, maka dalam masa perbaikannya bakteri akan berada pada masa aktif. Pada masa aktif ini lah bakteri akan menghasilkan dari metabolismenya berupa kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>). Kalsium karbonat yang dihasilkan akan menjadi bahan penutup terhadap keretakan mikro yang terjadi pada beton. Ketika keretakan sudah tertutup maka bakteri akan berubah ke masa hibernasi

## **E. Hasil analisis Karakterisasi dengan FTIR**

Hasil karakterisasi FTIR pada setiap sampel menunjukkan gugus fungsi pada setiap puncak serapan dengan rentang panjang gelombang antara 500-1750 cm<sup>-1</sup>,

dominan dengan gugus C-C dan C-O. Pada gugus fungsi dengan unsur O dan H yang menyatu dengan unsur C berada rentang panjang gelombang 500-1500  $\text{cm}^{-1}$ .

#### F. Hasil analisis dari kuat beton

Nilai kuat tekan di hari ke 7 pada sampel beton acuan atau beton SNI memiliki nilai sebesar 159,4  $\text{kg/cm}^2$ . Sedangkan untuk data kuat tekan beton yang memiliki variasi bakteri *E. coli* yaitu 180,6  $\text{kg/cm}^2$  dan nilai kuat tekan beton pada variasi bakteri *Staphylococcus* sebesar 181,2  $\text{kg/cm}^2$ . Pengaruh konsentrasi bakteri terhadap kuat tekan beton dapat disimpulkan, bahwa beton yang diberikan bakteri *Staphylococcus* pada campuran pasta olahan beton nilai kuat beton yang dihasilkan lebih tinggi dari pada beton yang diberikan bakteri *E. coli* sehingga dapat memperkuat beton.

#### G. Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian, penambahan bakteri, khususnya *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*, pada beton menghasilkan peningkatan nilai kuat tekan dan sudut kontak beton. Beton yang ditambahkan bakteri menunjukkan kuat tekan yang lebih tinggi daripada beton standar, menunjukkan keunggulan dalam kekuatan. Selain itu, penambahan bakteri juga meningkatkan sifat hidrofobik beton, terlihat dari peningkatan sudut kontak yang sesuai dengan standar hidrofobik. Hasil analisis menggunakan XRD dan FTIR menunjukkan bahwa penambahan bakteri mempengaruhi endapan kalsit dalam beton, yang mengindikasikan proses self-healing. Analisis SEM menunjukkan adanya proses penyembuhan diri pada retakan beton, menegaskan kemampuan beton untuk memperbaiki diri. Kesimpulannya, penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan bakteri pada beton memiliki potensi dalam meningkatkan kekuatan, sifat hidrofobik, dan kemampuan self-healing beton.

### SIMPULAN

*aureus* dan *escherichia coli* terhadap sifat hidrofobik & self healing mortar. Perbandingan antara beton hidrofobik dari variasi bakteri yang diberikan pada sampel beton memiliki pengaruh yang jelas. Dari hasil analisis menggunakan alat XRD dan FTIR menunjukkan sampel beton menggunakan bakteri *E. coli* dan *Staphylococcus* mengandung mineral  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{CaCO}_3$  dengan score semical formula yang berbeda. Kuat tekan dan sudut kontak sampel beton yang dicampurkan bakteri *Staphylococcus* lebih tinggi dibandingkan sampel beton yang dicampurkan bakteri *E. coli*. Pada uji karakterisasi SEM sampel beton yang dicampurkan dengan bakteri *E. coli* dan *Staphylococcus* terlihat mampu mengurangi keretakan pada beton SNI (Self-healing), Beton yang telah dicampurkan bakteri mampu mengecilkan pori-pori dan tahan terhadap air (Hidrofobik)

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustiana, S. F. (2022). Uji Daya Hambat Ekstrak Rebung Bambu Kuning (*Bambusa Vulgaris* Schred) terhadap Bakteri *Staphylococcus Aureus*. *Doctoral dissertation, Poltekkes Kemenkes Bengkulu*.
- Lestari, K. R. (2021). *Buku: Sintesis, Klasifikasi, Dan Sifat Bahan Nano*. Jakarta: Gramedia.
- Pratama, R. A. (2023). Pengaruh Perawatan Mortar Menggunakan Air Gambut Terhadap Kuat Tekan Mortar. *Sainstek*.
- Sahli, I. T. (2023). Protein Biofilm Bakteri *Staphylococcus aureus* Dan Produksi Antibodi Poliklonal. *Feniks Muda Sejahtera*.
- Sari, N. (2022). Uji aktivitas ekstrak etanol daun sungkai (*Peronema canescens* Jack) terhadap penyembuhan luka bakar pada kelinci putih jantan (*Oryctolagus cuniculus*). *Doctoral dissertation, Farmasi*.
- Sumadi, R. D. (2023). Sintesis dan Karakterisasi Membran Komposit dari Hidroksiapatit Kerang Dara-Kitosan sebagai Aplikasi Biokomposit. *Doctoral dissertation, Universitas Jambi*.
- Syahara, M. A. (2016). Pengukuran Sudut Kontak Untuk Mengetahui Polaritas Cairan Sebagai Bahan Modul Praktikum Tegangan Permukaan. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Wijayaningtyas, M. N. (2021). Pengaruh Pandemi Covid-19 Pada Pelaksanaan Proyek Konstruksi Bangunan. *Persepsi Kontraktor*.