

## POTENSI ABU CANGKANG KERANG LOKAN DAN *CRYSTALLINE ADMIXTURE* SEBAGAI AGEN *SELF-HEALING* PADA MORTAR: NARRATIVE REVIEW

Rahmadani<sup>1\*</sup>, Monita Olivia<sup>1</sup>, Gunawan Wibisono<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Sipil, Universitas Riau, Pekanbaru, Riau

\*Email: rahmadani7155@grad.unri.ac.id

### Abstrak

Mortar merupakan material yang sangat rentan mengalami keretakan mikro maupun makro. Keretakan ini menjadi jalan masuknya zat agresif seperti klorida dan sulfat yang dapat memicu korosi tulangan dan menurunkan durabilitas struktur secara signifikan. Salah satu solusi inovatif sekaligus ramah lingkungan untuk mengatasi masalah degradasi ini adalah pemanfaatan teknologi *self-healing* yang memungkinkan mortar memperbaiki dirinya secara mandiri. Artikel ini bertujuan untuk mengkaji literatur secara komprehensif mengenai potensi penggabungan abu cangkang kerang lokan (*Geloina erosa*) sebagai material lokal yang melimpah dan *crystalline admixture* sebagai agen *self-healing*. Metode yang digunakan adalah studi literatur (*literature review*) dari berbagai publikasi jurnal terdahulu. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa abu cangkang kerang lokan, yang kaya akan senyawa kalsium, berfungsi sangat baik sebagai *micro-filler* dan donor kalsium reaktif yang mendukung kelangsungan reaksi hidrasi lanjutan. Sementara itu, *crystalline admixture* berperan esensial sebagai pemacu reaksi kimia yang membentuk endapan kristal penutup pori secara cepat saat terpapar kelembaban. Gabungan dari kedua material ini, khususnya jika diaplikasikan pada lingkungan dinamis bersiklus basah-kering, secara teoritis mampu menyegel celah retakan secara optimal, persisten, dan stabil. Kesimpulannya, sinergi kedua agen ini sangat potensial untuk dikembangkan menjadi mortar infrastruktur yang lebih awet, kedap air, dan berkelanjutan.

**Kata kunci:** abu cangkang kerang, *crystalline admixture*, durabilitas, mortar, *self-healing*

### Abstract

*Mortar is a material highly prone to micro- and macro-cracking. These cracks provide entry points for aggressive substances such as chlorides and sulphates, which can trigger reinforcement corrosion and significantly reduce structural durability. An innovative, eco-friendly solution to address this degradation is the application of self-healing technology, which enables mortar to repair itself autonomously. This article aims to comprehensively review the literature on the potential combination of abundant local marsh clam shell ash (*Geloina erosa*) and crystalline admixture as healing agents. The method employed is a literature review of various previous journal publications. The review indicates that marsh clam shell ash, rich in calcium compounds, effectively serves as a microfiller and a reactive calcium donor, supporting further hydration reactions. Concurrently, crystalline admixture plays an essential role as a chemical accelerator, rapidly forming pore-sealing crystal deposits upon moisture exposure. The synergy of these two materials, particularly under dynamic wet-dry cycling conditions, theoretically provides optimal, persistent, and stable crack sealing. In conclusion, the combination of these agents has significant potential to develop more durable, watertight, and sustainable infrastructure mortars.*

**Keywords:** *crystalline admixture, durability, marsh clam shell ash, mortar, self-healing*

## 1. PENDAHULUAN

Mortar merupakan material yang sangat sering digunakan dalam industri konstruksi, tetapi mortar memiliki kelemahan bawaan berupa kuat tarik yang rendah sehingga rentan mengalami keretakan. Retak ini menjadi jalan masuknya zat agresif ke dalam pori-pori, yang menyebabkan korosi dan dapat memperpendek umur layan struktur (Mohamed dkk., 2023). Terlepas dari masalah kerusakan struktural, sektor konstruksi saat ini juga terus didorong untuk beralih ke penggunaan bahan yang lebih ramah lingkungan guna menekan emisi karbon akibat penggunaan semen. Sebagai respons terhadap tantangan tersebut, pengembangan material dengan kemampuan memperbaiki keretakan secara mandiri (*self-healing*) menjadi solusi cerdas untuk memperpanjang umur layan struktur sekaligus mengurangi pemborosan material bangunan.

Secara alami, mekanisme pemulihan pada mortar terjadi melalui pengendapan senyawa kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) di dalam celah retakan. Namun, efektivitas reaksi tersebut sangat bergantung pada ketersediaan kalsium dalam matriks mortar. Untuk menyalahi hal ini, limbah pesisir seperti abu cangkang

kerang lokan (*Geloina erosa*) yang kaya akan kalsium memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai pengganti sebagian semen (Olivia dkk., 2020). Meskipun ketersediaan kalsium sudah ditingkatkan, *self-healing* seringkali kurang maksimal dalam menutup retakan yang tergolong lebar. Kehadiran agen kimia *self-healing* tambahan, seperti *crystalline admixture*, menjadi sangat esensial karena bahan ini mampu bereaksi secara persisten dengan air dan kalsium untuk membentuk kristal yang tidak larut air guna menyumbat pori-pori retakan secara permanen (Roig-Flores dkk., 2016; Sisomphon dkk., 2012).

Di sisi lain, studi literatur terdahulu menunjukkan bahwa sebagian besar evaluasi *self-healing* dilakukan dalam kondisi perendaman statis. Padahal, kondisi infrastruktur nyata di lapangan lebih sering berhadapan dengan lingkungan dinamis yang terpapar siklus basah-kering, yang dinilai memberikan tantangan yang lebih realistis terhadap efisiensi dan stabilitas penutupan retak (Cuenca dkk., 2018; Xue, 2022). Kesenjangan inilah yang menunjukkan bahwa potensi kolaborasi antara material penyedia kalsium (abu cangkang kerang) dan material pemercepat kristalisasi (*crystalline admixture*) dalam skenario lingkungan basah-kering sangat mendesak untuk dievaluasi secara teoritis. Berdasarkan pemaparan tersebut, tujuan penelitian literatur ini adalah untuk mengkaji secara komprehensif karakteristik kinerja *self-healing* mortar yang menggunakan kombinasi abu cangkang kerang lokan dan *crystalline admixture* saat dihadapkan pada siklus basah-kering.

Meskipun telah banyak studi mengenai *self-healing* mortar menggunakan material lokal (Olivia dkk., 2015; Tayeh dkk., 2019; Seo dkk., 2019) kajian yang secara spesifik membahas sinergi material lokal seperti abu cangkang kerang lokan dengan *crystalline admixture* pada kondisi dinamis basah-kering masih sangat terbatas. *Research gap* inilah yang menjadi kebaruan (*novelty*) dari kajian ini. Luaran dari artikel ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis yang komprehensif bagi peneliti selanjutnya dalam mengembangkan material infrastruktur yang durabel, murah, dan adaptif terhadap lingkungan yang agresif.

## 2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur (*literature review*) dengan pendekatan kualitatif deskriptif. Metode ini dipilih untuk mengumpulkan, mengevaluasi, dan mensintesis hasil-hasil penelitian terdahulu secara komprehensif guna memperoleh wawasan baru mengenai potensi sinergi material alternatif dalam mortar *self-healing*.

Data yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya merupakan data sekunder yang diekstraksi dari basis data akademik bereputasi seperti *Scopus*, *ScienceDirect*, dan *Google Scholar*. Pencarian literatur dilakukan menggunakan kombinasi kata kunci (*keywords*) yang meliputi *self-healing* mortar, *Geloina erosa shell ash*, *crystalline admixture*, dan *crack closure*. Proses pengumpulan data dilakukan dengan menetapkan kriteria spesifik, yaitu literatur yang berfokus pada (1) mekanisme *self-healing* pada material berbasis semen; (2) karakteristik abu cangkang kerang sebagai material substitusi dan sumber kalsium; (3) kinerja *crystalline admixture* sebagai agen *self-healing* aktif; serta (4) pengaruh simulasi perawatan lingkungan basah-kering. Pencarian literatur difokuskan pada publikasi dalam kurun waktu 10-15 tahun terakhir untuk memastikan relevansi dan kebaruan teknologi material yang dikaji.

Proses analisis data dilakukan dengan mengelompokkan literatur berdasarkan fokus bahasan materi. Data dari berbagai jurnal tersebut kemudian diekstraksi, dibandingkan, dan dievaluasi secara silang, khususnya terkait parameter efisiensi penutupan retak (*crack closure*), peningkatan durabilitas, dan interaksi kimia antarmaterial. Hasil sintesis dari perbandingan ini digunakan untuk menarik kesimpulan teoritis yang memperkuat rancangan penelitian eksperimental di masa mendatang.

Proses pengumpulan dan seleksi literatur dilakukan dengan menetapkan parameter yang ketat untuk memastikan relevansi dan validitas kajian. Kriteria inklusi dan eksklusi diterapkan sebagai batasan dalam menyeleksi artikel dari berbagai basis data akademik. Rincian mengenai kriteria seleksi studi literatur yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Inklusi dan Eksklusi Pemilihan Literatur

Kriteria	Inklusi (Yang Dimasukkan)	Eksklusi (Yang Ditolak)
Rentang Waktu	10-15 tahun terakhir	Publikasi yang terlalu lama / using
Topik Utama	Mekanisme <i>self-healing</i> berbasis semen, abu cangkang kerang ( <i>Geloina erosa</i> ), <i>crystalline admixture</i>	Material non-semen (misal: aspal) atau <i>self-healing</i> dengan agen biologis (bakteri)
Simulasi Lingkungan	Pengaruh lingkungan dinamis bersiklus basah-kering ( <i>wet-dry</i> )	Lingkungan perendaman air murni yang sepenuhnya statis tanpa variasi
Sumber Data	Artikel jurnal dari basis data bereputasi ( <i>Scopus</i> ,	Blog, opini, atau artikel website tidak

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan tinjauan literatur dari berbagai studi terdahulu, pengembangan mortar *self-healing* sangat dipengaruhi oleh karakteristik material penyusun serta kondisi lingkungan dalam perawatannya. Kajian ini membagi pembahasan ke dalam tiga aspek utama: karakteristik kalsium pada abu cangkang kerang, reaktivitas *crystalline admixture*, dan pengaruh siklus lingkungan.

#### 3.1. Karakteristik Abu Cangkang Kerang sebagai Material Substitusi

Jenis kerang yang menjadi fokus kajian ini secara spesifik adalah kerang lokan (*Geloina erosa*). Untuk dapat dimanfaatkan sebagai agen *self-healing*, cangkang kerang mentah harus melalui tahap preparasi yang meliputi pencucian, pengeringan, dan penumbukan kasar. Selain itu, serpihan cangkang kerang dikalsinasi (dibakar) pada suhu tinggi sekitar 800°C selama beberapa jam untuk mengonversi senyawa kalsium karbonat menjadi kalsium oksida (CaO) yang lebih reaktif. Hasil pembakaran tersebut kemudian digiling dan disaring menggunakan saringan No. 200 agar menghasilkan partikel abu halus dengan ukuran yang setara dengan partikel semen. Cangkang kerang lokan mengandung kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) yang sangat tinggi. Melalui proses kalsinasi pada suhu tinggi, senyawa ini terkonversi menjadi kalsium oksida (CaO) yang bersifat reaktif saat bertemu dengan air. Studi oleh Olivia dkk. (2015) menunjukkan bahwa abu cangkang kerang secara efektif berfungsi sebagai *micro-filler* yang menyumbat celah mikro dan meningkatkan densitas matriks mortar. Lebih lanjut, (Tayeh dkk., 2019) dan (Seo dkk., 2019) mengonfirmasi bahwa kandungan CaO yang tinggi pada abu kerang secara aktif mendukung reaksi lanjutan dan bertindak sebagai aditif ekspansif. Dalam konteks *self-healing*, material ini tidak hanya mengurangi porositas, tetapi juga menyediakan cadangan ion kalsium yang berlimpah untuk mempercepat proses presipitasi yang menutup retak, bahkan dalam lingkungan yang agresif (Hidayatun dkk., 2025; Olivia dkk., 2020).

Secara kimiawi, proses kalsinasi pada suhu tinggi (sekitar 800°C) bertujuan untuk mengurai senyawa kalsium karbonat murni di dalam cangkang kerang menjadi kalsium oksida dan melepaskan gas karbon dioksida. Reaksi termal tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:



Kalsium oksida (CaO) murni inilah yang memegang peran vital. Ketika material ini terpapar air di dalam matriks mortar, reaksi hidrasi sekunder akan terjadi secara eksotermik untuk menghasilkan kalsium hidroksida:



Senyawa Ca(OH)<sub>2</sub> inilah yang nantinya akan berekspansi dan bereaksi dengan gas CO<sub>2</sub> dari luar untuk membentuk endapan kristal kalsium karbonat yang menambal celah retakan.

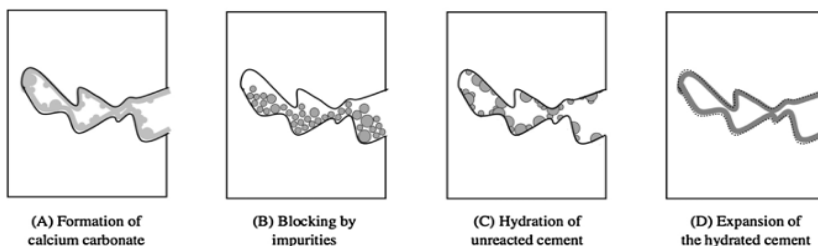
#### 3.2. Kinerja *Crystalline Admixture* pada *Self-healing Mortar*

Dalam sistem *self-healing* ini, abu cangkang kerang dan *crystalline admixture* tidak digunakan sebagai pelapis luar (*coating*) untuk memperbaiki beton yang sudah rusak. Sebaliknya, kedua bahan ini dicampurkan sejak awal ke dalam adukan mortar segar (*pre-mixed*). Literatur menyarankan dosis *crystalline admixture* sebesar 1,5% hingga 2% dari berat semen. Setelah mortar mengeras, agen-agen ini akan bersiap di dalam matriks dan langsung bereaksi, membentuk kristal penutup setiap kali ada air yang masuk melalui celah retakan.

Meskipun kalsium dari abu cangkang kerang memicu *autogenous self-healing*, efisiensinya sering kali terbatas pada retakan mikroskopis. Kehadiran *crystalline admixture* (CA) sebagai agen *self-healing* aktif terbukti mampu mengatasi keterbatasan tersebut. Bahan aditif hidrofolik ini akan segera bereaksi saat air masuk ke dalam celah retakan, lalu berinteraksi dengan produk hidrasi semen untuk membentuk formasi kristal jarum yang tidak larut dalam air. Penelitian oleh Sisomphon dkk. (2012) dan Roig-Flores dkk. (2016) menegaskan bahwa kristal inilah yang secara fisik menyumbat pori-pori retakan secara permanen, sehingga pemulihan tingkat kedap air dan durabilitas material dapat dicapai.

Secara konseptual, proses pemulihan alami (*autogenous healing*) pada material sementisius tidak terjadi melalui satu cara tunggal. Danish dkk. (2020) merangkum bahwa terdapat empat faktor utama

penyebab tertutupnya celah retakan, yaitu: (a) terbentuknya formasi kalsium karbonat atau kalsium hidroksida; (b) penyumbatan fisik oleh residu kotoran dalam air atau serpihan partikel beton yang terlepas; (c) reaksi hidrasi lanjutan dari butiran semen sisa yang tidak bereaksi; dan (d) pemuaian atau ekspansi matriks semen yang terhidrasi di area sekitar sisi-sisi retakan. Visualisasi keempat mekanisme alami tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi mekanisme *Autogenous/Natural Self-healing* (Danish dkk., 2020).

Dari keempat mekanisme di atas, penambahan abu cangkang kerang dan *crystalline admixture* secara spesifik ditujukan untuk merekayasa dan mengoptimalkan mekanisme pada poin (a) dan (c). Mekanisme alami sering kali berjalan sangat lambat dan tidak mampu menutup retak yang melebihi ukuran mikroskopis. Oleh karena itu, abu cangkang kerang diintervensikan sebagai donor kalsium cadangan untuk memastikan pembentukan formasi kalsium karbonat berlangsung secara masif. Di saat yang bersamaan, *crystalline admixture* bekerja sebagai katalisator aktif yang bereaksi dengan air untuk mempercepat reaksi hidrasi lanjutan, sehingga membentuk jaringan kristal permanen yang jauh lebih padat dan stabil dibandingkan penyumbatan alami.

Lebih lanjut, efektivitas kinerja *Crystalline Admixture* sangat berkorelasi dengan dimensi retakan yang terbentuk. Zhang dkk. (2021) menegaskan bahwa terdapat hubungan berbanding terbalik antara rasio penutupan dan lebar retakan; semakin lebar retakan yang terbuka, semakin kecil pula tingkat keberhasilan penutupannya. Secara umum, efisiensi baik *autogenus* maupun *autonomus self-healing* bekerja secara optimal pada retakan berukuran mikro, yakni pada rentang lebar 0,1 mm hingga 0,3 mm. Retakan makro yang melampaui batas tersebut tidak akan mampu tertutup sempurna hanya dengan mengandalkan produk hidrasi dan presipitasi, melainkan memerlukan intervensi perbaikan struktural secara eksternal. Oleh karena itu, dosis kalsium kristalin dan kalsium yang ditambahkan harus diperhitungkan secara cermat agar volume kristal yang dihasilkan sebanding dengan volume rongga retak mikro yang ditargetkan.

### 3.3. Pengaruh Perawatan Basah-Kering Terhadap Efisiensi *Self-Healing*

Kondisi lingkungan perawatan berperan penting dalam stabilitas produk *healing*. Silva dkk. (2021) menguraikan bahwa siklus basah-kering memfasilitasi dua proses penting: fase basah mendorong pelindian (*leaching*) kalsium hidroksida ke area retakan, sementara fase kering memungkinkan penetrasi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang memicu reaksi karbonasi secara masif. Kondisi ini menghasilkan endapan kalsium karbonat yang lebih stabil. Dibandingkan perendaman statis, siklus basah-kering dinilai lebih realistis mensimulasikan tantangan infrastruktur di lapangan (Roig-Flores dkk., 2015). Cuenca dkk. (2018) menambahkan bahwa di bawah simulasi basah-kering yang fluktuatif, *crystalline admixture* menunjukkan performa penutupan retak yang persisten, karena material ini bereaksi aktif setiap kali terpapar kelembapan (fase basah) berulang kali.

Secara kuantitatif, beberapa studi literatur mengonfirmasi bahwa penambahan *crystalline admixture* mampu memberikan persentase penutupan retak hingga 100% pada retakan dengan lebar 0,1 – 0,3 mm dalam waktu 28 hari siklus basah-kering. Selain itu, endapan kalsium karbonat yang terbentuk juga terbukti mampu mengurangi rembesan air hingga 40% sampai 60% dibandingkan mortar biasa. Hasilnya, keawetan struktur mortar menjadi jauh lebih tinggi. Rangkuman dari efektivitas perpaduan parameter material dan lingkungan tersebut disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan kinerja agen *self-healing* berdasarkan studi terdahulu

Peneliti (Tahun)	Material Kajian / Kondisi	Temuan Utama Terkait <i>Self-healing</i>
Olivia dkk. (2015)	Abu Cangkang Kerang	Berfungsi sebagai <i>filler</i> , meningkatkan densitas dan menurunkan porositas matriks.
Seo dkk. (2019)	Serbuk Kerang Kalsinasi	Reaktivitas kalsium yang tinggi memicu ekspansi matriks mortar yang positif.
Roig-Florest dkk. (2016)	<i>Crystalline Admixture</i>	Pembentukan kristal penutup retak yang cepat saat

Cuenca dkk. (2018)	<i>Crystalline admixture</i> dan Siklus basah-kering	usia dini beton. Efektivitas penyegelan retak tetap stabil dan persisten meskipun lingkungan fluktuatif.
Silva dkk. (2021)	Kondisi basah-kering	Optimalisasi formasi kalsium karbonat karena kombinasi pelindian dan karbonasi gas CO <sub>2</sub> .

Selain memfasilitasi reaksi pelindian dan karbonasi, metode perawatan basah-kering juga memberikan tegangan mekanis tambahan pada matriks mortar akibat siklus susut-kembang (*shrinkage-swelling*). Fase pengeringan menyebabkan evaporasi air kapiler yang dapat memicu retak susut sekunder, sementara fase pembasahan kembali menginisiasi tekanan hidrostatik ke dalam pori. Kondisi lingkungan yang dinamis ini secara langsung menguji ketahanan dan stabilitas ikatan dari produk *self-healing* yang telah terbentuk. Xue (2022) mencatat bahwa dalam siklus yang agresif, gerakan uap air secara dinamis justru dapat memicu pembentukan produk presipitasi yang secara mekanis jauh lebih kuat dan padat dalam menyumbat retakan mikroskopis dibandingkan dengan produk yang terbentuk pada kondisi perendaman air tenang secara terus-menerus.

### 3.4. Evaluasi Kinerja *Self-healing* dan Karakterisasi Mikrostruktur

Untuk memvalidasi keberhasilan proses *self-healing*, diperlukan serangkaian pengujian yang komprehensif, mulai dari skala makro hingga skala mikro. Secara visual, persentase penutupan retak (*crack closure*) dapat dievaluasi menggunakan mikroskop digital yang terintegrasi dengan perangkat lunak analisis citra seperti *ImageJ*. Metode ini memungkinkan pengukuran presisi terhadap pengurangan lebar retak dari waktu ke waktu.

Selain pengamatan permukaan, integritas internal mortar juga harus diuji menggunakan metode *Non-Destructive Testing* (NDT) seperti *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV). Peningkatan kecepatan rambat gelombang ultrasonik pada sampel yang sebelumnya retak menjadi indikator kuat bahwa celah internal telah terisi oleh produk presipitasi baru.

Lebih jauh lagi, karakterisasi mikrostruktur sangat krusial untuk membuktikan bahwa endapan yang menutup retak benar-benar merupakan senyawa *self-healing*, bukan sekadar debu. Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) yang dikombinasikan dengan *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) lazim digunakan untuk memvisualisasikan morfologi kristal penyumbat sekaligus mendeteksi komposisi unsur kimianya secara spesifik (seperti dominasi unsur kalsium, karbon, dan oksigen). Untuk melengkapinya, analisis *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) diaplikasikan untuk mengonfirmasi ikatan molekul kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) yang terbentuk sebagai hasil akhir dari sinergi abu kerang dan *crystalline admixture*.

Untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif, rangkuman dari berbagai metode pengujian *self-healing* dari skala makro, mikro, hingga nano berdasarkan studi kelayakan literatur disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Ringkasan Metode Evaluasi dan Karakterisasi *Self-Healing*

Metode Pengujian	Skala Evaluasi	Parameter dan Fungsi Utama	Referensi
Mikroskop Optik/ Analisis Citra Digital	Makro - Mikro	Mengukur lebar retak awal dan persentase penutupan retak ( <i>crack closing ratio</i> ) secara presisi di permukaan.	Van Tittelboom dkk. (2016); Muhammad dkk. (2026)
X-ray Micro-tomography ( $\mu$ CT)	Mikro	Memvisualisasikan distribusi material penyembuh di dalam retakan secara (3D) tanpa merusak sampel.	Van Tittelboom dkk. (2016); Muhammad dkk. (2026)
Mikroskop Fluoresensi & Thin Section	Mikro	Mengevaluasi kedalaman penetrasi agen penyembuh internal dan deteksi kristal kalsium karbonat menggunakan impregnasi resin fluoresen.	Van Tittelboom dkk. (2016)
SEM, FESEM, dan XRD	Mikro	Mengidentifikasi morfologi (bentuk) dari produk presipitasi serta komposisi pembentuk endapannya secara spesifik.	Muhammad dkk. (2026)
Nano-indentation	Nano	Mengukur nilai mekanis berskala nano dan kekuatan ikatan pada	Muhammad dkk. (2026)

---

zona transisi antara material  
endapan dan substrat beton asli.

---

### 3.5. Tantangan Implementasi dan Prospek Masa Depan

Walaupun penggabungan abu cangkang kerang lokan dan *crystalline admixture* menawarkan potensi *self-healing* pada retak, terdapat beberapa tantangan implementasi yang perlu diatasi sebelum teknologi ini dapat diaplikasikan secara massal di lapangan. Tantangan pertama terletak pada standarisasi material lokal. Proses kalsinasi cangkang kerang membutuhkan kontrol suhu yang sangat presisi (berkisar antara 700°C dan 900°C) untuk memastikan seluruh kalsium karbonat terkonversi menjadi kalsium oksida yang reaktif secara optimal. Variabilitas suhu pembakaran dapat menghasilkan residu karbon yang justru berpotensi menurunkan kuat tekan mortar.

Tantangan kedua adalah kontrol reaktivitas pada awal fase hidrasi. Kalsium oksida dari abu kerang bersifat sangat reaktif (ekspansif) segera setelah dicampur dengan air. Jika ekspansi ini tidak terkendali pada fase mortar segar (*fresh mortar*), hal tersebut dapat memicu *flash set* (pengikatan awal yang terlalu cepat) atau justru menyebabkan *micro-cracking* akibat tegangan internal sebelum mortar mencapai umur matangnya. Oleh karena itu, penentuan dosis substitusi abu cangkang kerang (misalnya pada kadar optimum 5%) harus divalidasi secara empiris terhadap parameter *setting time* dan *flow value*.

Ke depannya, prospek penelitian material *self-healing* harus diarahkan pada studi durabilitas jangka panjang (di atas 90 hari) serta pengujian pada elemen struktur berskala penuh (*full-scale*). Evaluasi tidak hanya difokuskan pada pemulihan sifat mekanik, tetapi juga pada siklus hidup material (*Life Cycle Assessment*) untuk mengukur secara pasti persentase penurunan emisi karbon yang berhasil dicapai dari pemanfaatan teknologi mortar ramah lingkungan ini.

## KESIMPULAN

Berdasarkan tinjauan literatur yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggabungan abu cangkang kerang lokan dan *crystalline admixture* memiliki potensi teoritis yang sangat tinggi untuk dikembangkan sebagai material mortar *self-healing*. Abu cangkang kerang berfungsi sangat efektif sebagai penyedia kalsium dan *micro-filler* yang memadatkan matriks, sementara *crystalline admixture* berperan sebagai katalis reaktif yang memastikan pembentukan kristal penyumbat retakan terjadi secara cepat dan permanen. Terlebih lagi, simulasi paparan lingkungan basah-kering dinilai sangat krusial dan direkomendasikan karena terbukti mampu mengoptimalkan pelindian kalsium sekaligus memfasilitasi reaksi karbonasi secara berulang.

Keterbatasan studi ini adalah pendekatannya yang sepenuhnya teoretis, yang didasarkan pada literatur sekunder. Oleh karena itu, direkomendasikan untuk melakukan penelitian eksperimental di laboratorium secara langsung guna memvalidasi persentase penutupan retak secara visual dan memverifikasi senyawa kristal yang terbentuk (seperti melalui pengujian mikroskopis SEM-EDX dan FTIR) menggunakan bahan lokal spesifik dari Provinsi Riau.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau atas dukungan fasilitas literatur.

## DAFTAR PUSTAKA

- Cuenca, E., Tejedor, A., & Ferrara, L. (2018). A methodology to assess crack-sealing effectiveness of crystalline admixtures under repeated cracking-healing cycles. *Construction and Building Materials*, 179, 619–632. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.261>
- Danish, A., Mosaberpanah, M. A., & Salim, M. U. (2020). Past and present techniques of self-healing in cementitious materials: A critical review on efficiency of implemented treatments. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 6883–6899. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.04.053>
- Hidayatun, V., Olivia, M., & Wibisono, G. (2025). Efisiensi self-healing mortar dengan abu cangkang kerang lokan dan silica fume terhadap paparan asam sulfat. *Sinergi*, 1(1). <https://doi.org/10.21009/sinergi.v1i1.61383>
- Mohamed, A., Zhou, Y., Bertolesi, E., Liu, M., Liao, F., & Fan, M. (2023). Factors influencing self-healing mechanisms of cementitious materials: A review. *Construction and Building Materials*, 393(April),

131550. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131550>
- Muhammad, N. Z., Shafaghat, A., Keyvanfar, A., Abd. Majid, M. Z., Ghoshal, S. K., Yasouj, S. E. M., ... & McCaffer, R. (2016). Tests and methods of evaluating the self-healing efficiency of concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 112, 1123-1132.
- Olivia, M., Arifandita, A., & Darmayanti, L. (2015). Mechanical properties of seashell concrete. *Procedia Engineering*, 125, 760-764. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.127>
- Olivia, M., Rahmayani, I. S., Wibisono, G., & Saputra, E. (2020). The Effects of Using Ground Cockle Seashells as an Additive for Mortar in Peat Environment. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 6(3), 259. <https://doi.org/10.22146/jcef.55651>
- Roig-Flores, M., Moscato, S., Serna, P., & Ferrara, L. (2015). Self-healing capability of concrete with crystalline admixtures in different environments. *Construction and Building Materials*, 86, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.091>
- Roig-Flores, M., Pirritano, F., Serna, P., & Ferrara, L. (2016). Effect of crystalline admixtures on the self-healing capability of early-age concrete studied by means of permeability and crack closing tests. *Construction and Building Materials*, 114, 447-457. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.196>
- Seo, J. H., Park, S. M., Yang, B. J., & Jang, J. G. (2019). Calcined oyster shell powder as an expansive additive in cement mortar. *Materials*, 12(8), 1322. <https://doi.org/10.3390/ma12081322>
- Silva, D. M. G. da, Cappelleso, V. G., Garcia, M. G. L., Masuero, A. B., & Molin, D. C. C. D. (2021). Calcium hydroxide influence in autogenous self-healing of cement-based materials in various environmental conditions. *Ambiente Construido*, 21(2), 209-224. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000200522>
- Sisomphon, K., Copuroglu, O., & Koenders, E. A. B. (2012). Self-healing of surface cracks in mortars with expansive additive and crystalline additive. *Cement and Concrete Composites*, 34(4), 566-574. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.01.005>
- Tayeh, B. A., Hasaniyah, M. W., Zeyad, A. M., & Yusuf, M. O. (2019). Properties of concrete containing recycled seashells as cement partial replacement: A review. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117723. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117723>
- Van Tittelboom, K., Wang, J., Araújo, M., Snoeck, D., Gruyaert, E., Debbaut, B., ... & De Belie, N. (2016). Comparison of different approaches for self-healing concrete in a large-scale lab test. *Construction and Building Materials*, 107, 125-137.
- Xue, C. (2022). Cracking and autogenous self-healing on the performance of fiber-reinforced MgO-cement composites in seawater and NaCl solutions. *Construction and Building Materials*, 326(December 2021), 126870. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126870>
- Zhang, C., Lu, R., Li, Y., & Guan, X. (2021). Effect of crystalline admixtures on mechanical, self-healing and transport properties of engineered cementitious composite. *Cement and Concrete Composites*, 124. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104256>