

## PENGARUH ALKALI SILIKA REAKTIF PASIR TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR RENDAMAN

**Mudiono Kasmuri, Ajeng Ayuningtias**

Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G.A. Siwabessy, Kukusan, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat 16424

e-mail: [mudionokasmuri@yahoo.com](mailto:mudionokasmuri@yahoo.com), [aayu54296@gmail.com](mailto:aayu54296@gmail.com)

### ABSTRACT

*Mortar is a building material made of cement, fine aggregate, and water. To get a good mortar strength, the properties, and characteristics of each of the mortar constituents must also be studied further. Aggregates containing silica can be reactive or non-reactive to alkaline elements in cement. The purpose of this study was to determine the effect of alkaline silica reactive sand on the compressive strength and flexural strength of mortar immersed in seawater. This research uses an experimental method, namely Rangkas sand, Bangka sand and Lumajang sand which have gone through the XRF (X-Ray Fluorescence) testing process to determine the percentage of compound content contained. The research method to determine the reactivity of the sand refers to ASTM C 1260. The compressive strength and flexural strength of the mortar were tested with two variations of immersion, namely by using fresh water and sea water. The immersion of the mortar was carried out for 7, 14, 28 and 56 days. From the results of testing the compressive strength and flexural strength of mortar at the age of 28 days had the same results for fresh water and seawater immersion, namely sand with high potential for reactive alkali silica has low compressive strength and flexural strength values for all types of immersion. The freshwater immersion method has been used to test the mortar's flexural and compressive strength. It has a higher compressive and flexural strength value than the seawater immersion mortar, with a percentage ratio of 27.1% of compressive strength and 17.3% of flexural strength in mortar, with an immerse age of 28 days.*

**Keywords:** Alkaline Silica Reactive, Compressive Strength of Mortar, Sand.

### ABSTRAK

*Mortar adalah bahan bangunan yang terbuat dari semen, agregat halus dan air. Untuk mendapatkan kekuatan mortar yang baik, sifat dan karakteristik dari masing-masing bahan penyusun mortar juga harus dipelajari lebih lanjut. Agregat yang mengandung silika bisa bersifat reaktif maupun non-reaktif terhadap unsur alkali pada semen. Tujuan pada penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh alkali silika reaktif pasir terhadap kuat tekan dan kuat lentur mortar yang di rendam air laut. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yaitu dengan menggunakan pasir Rangkas, pasir Bangka dan Pasir Lumajang yang sudah melalui proses pengujian XRF (X-Ray Fluoresen) untuk mengetahui persentase kandungan senyawa yang terkandung. Metode penelitian untuk mengetahui kereaktifan pasir mengacu pada ASTM C 1260. Pengujian kuat tekan dan kuat lentur mortar dilakukan dengan dua variasi perendaman yaitu dengan menggunakan air tawar dan air laut. Perendaman terhadap mortar dilakukan selama 7, 14, 28 dan 56 hari. Dari hasil pengujian kuat tekan dan kuat lentur mortar pada umur 28 hari memiliki hasil yang sama untuk rendaman air tawar dan air laut yaitu pasir dengan potensi alkali silika reaktif yang tinggi memiliki nilai kuat tekan dan kuat lentur yang rendah untuk semua jenis rendaman. Pengujian kuat tekan dan kuat lentur mortar yang melalui proses perendaman air tawar memiliki nilai kuat tekan dan kuat lentur yang lebih besar dibandingkan dengan mortar rendaman air laut, dengan persentase perbandingan kuat tekan sebesar 27,1% dan kuat lentur sebesar 17,3% pada mortar dengan umur rendam 28 hari.*

**Kata kunci :** Alkali Silika Reaktif, Kuat Tekan pada Mortar, Pasir.

## PENDAHULUAN

Salah satu bentuk kemajuan teknologi bahan bangunan yang terus berkembang sampai saat ini adalah teknologi beton dan mortar. Pembuatan beton dan mortar saat ini mengalami berbagai kemajuan mulai dari cara pengerjaannya yang semakin rapi dan modern, bahan material yang digunakannya juga lebih modern serta bervariasi, dan dari bahan-bahan tambah lain yang meningkatkan *workability* dan sebagainya [1].

Mortar merupakan campuran yang terdiri dari agregat (pasir), air dan semen pada proporsi tertentu sebagai bahan perekat. Kualitas dan mutu mortar ditentukan oleh bahan dasar, bahan tambah, proses pembuatan dan alat yang digunakan. Semakin baik mutu bahan bakunya, komposisi perbandingan campuran yang direncanakan dengan baik dan proses pembuatan yang baik akan menghasilkan mortar yang berkualitas baik pula [2]. Silika merupakan bahan kimia yang dapat meningkatkan kualitas mutu mortar, hal itu dapat terjadi akibat reaksi antara silika dan kapur bebas yang ada di dalam campuran mortar. Pasir ternyata mengandung silika dengan jumlah yang bervariasi mulai dari < 20% sampai dengan > 40% tergantung dari mana pasir itu berasal [3].

Reaksi alkali silika merupakan reaksi antara kandungan silika dalam agregat dan alkali dalam semen. Agregat yang mengandung silika bisa bersifat reaktif maupun non-reaktif terhadap unsur alkali pada semen. Agregat yang reaktif akan bereaksi dengan alkali pada semen yang mengakibatkan agregat mengembang. Reaksi ini menyebabkan perluasan pada beton. Perluasan ini dapat menyebabkan retak, permukaan keropos dan *spalling* [4].

Pasir silika yang akan digunakan pada penelitian ini adalah pasir Rangkas, pasir Bangka dan pasir Lumajang yang sudah

melalui proses pengujian XRF (*X-Ray Fluoresen*) untuk mengetahui persentase kandungan senyawa yang terdapat di dalam setiap pasir. Metode penelitian untuk mengetahui alkali silika reaktif pada mortar menggunakan metode pengujian yang mengacu pada ASTM C 1260 [5]. Sebelum digunakan sebagai bahan campuran pembuatan mortar, pasir akan dilakukan pemeriksaan terlebih dahulu. Pasir yang sudah melalui tahap pemeriksaan selanjutnya akan digunakan sebagai bahan campuran dalam pembuatan mortar. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh alkali silika reaktif mortar terhadap kuat tekan dan kuat lentur pada mortar dengan rendaman air tawar dan air laut pada umur 7, 14, 28 dan 56 hari.

## METODE PENELITIAN

### Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta. Waktu penelitian dimulai pada bulan Mei sampai bulan Juli tahun 2022.

### Material Penelitian

Material-material yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Semen OPC Batu Raja
2. Pasir Rangkas, pasir Bangka dan pasir Lumajang
3. Air tawar untuk campuran mortar dan proses perawatan dari Laboratorium Bahan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta
4. Air laut untuk proses perawatan dari Ancol, Jakarta Utara

### Benda Uji

Benda uji berupa mortar dengan ukuran 50 x 50 x 50 mm untuk uji kuat tekan, dan ukuran 25 x 25 x 100 mm untuk uji kuat lentur sebanyak masing-masing 72 buah seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1. Variasi Benda Uji**

Jenis Pasir	Waktu Pengujian	Benda Uji	
		Kuat Tekan	Kuat Lentur
Pasir Rangkas	7 Hari	6	6
	14 Hari	6	6
	28 Hari	6	6
	56 Hari	6	6
Pasir Bangka	7 Hari	6	6
	14 Hari	6	6
	28 Hari	6	6
	56 Hari	6	6
Pasir Lumajang	7 Hari	6	6
	14 Hari	6	6
	28 Hari	6	6
	56 Hari	6	6
<b>Jumlah</b>		72	72

### Pengujian Material

Material yang diuji adalah agregat halus yaitu pasir Rangkas, pasir Bangka, pasir Lumajang dan semen OPC Batu Raja. Pada pasir dilakukan pengujian berat jenis dan penyerapan air, berat isi dan kadar lumpur. Sedangkan untuk semen hanya dilakukan uji berat jenis. Hasil pengujian pada material dapat dilihat pada Tabel 2 – Tabel 5

**Tabel 2. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air**

Pengukuran	Pasir Rangkas	Pasir Bangka	Pasir Lumajang
Berat Jenis	2.072	2.451	2.310
BJ SSD	2.211	2.493	2.469
Berat Jenis Semu	2.408	2.559	2.746
Penyerapan Air	6.72%	1.72%	6.88%

**Tabel 3. Hasil Pengujian Berat Isi Pasir**

Pengukuran	Pasir Rangkas	Pasir Bangka	Pasir Lumajang
Berat Isi Padat (Kg/l)	1.159	1.539	1.529
Berat Isi Lepas (Kg/l)	0.983	1.349	1.372

**Tabel 4. Hasil Pengujian Kadar Lumpur**

Pengukuran	Pasir Rangkas	Pasir Bangka	Pasir Lumajang
Kadar Lumpur	4.89%	2.52%	9.58%

**Tabel 5. Hasil Pengujian Berat Jenis Semen**

Pengukuran	Semen OPC
Berat Jenis	3.13

### Pengujian Mortar Segar

Pengujian mortar segar meliputi pengujian *flow table* sesuai ASTM C-230-03 [6] yang digunakan untuk mengetahui berapa persen penyebaran mortar yang akan digunakan supaya tercapai kondisi yang ideal. Hasil pengujian mortar segar *flow table* dapat dilihat pada Tabel 6

**Tabel 6. Hasil Pengujian Flow Table**

Pengukuran	Pasir Bangka	Pasir Rangkas	Pasir Lumajang
Nilai Flow	107.6	106.9	108.1

### Hasil Perhitungan Mix Design

Pembuatan benda uji pada penelitian ini berupa 6 kubus (50x50x50 mm) dan 6 balok (25x25x100 mm) untuk setiap jenis pasir dan umur rendaman. Perbandingan kebutuhan bahan yang digunakan yaitu 1 PC : 2,25 Pasir mengacu pada ASTM C 1260. Kebutuhan air mengacu pada hasil pengujian konsistensi mortar yang sudah dilakukan. Hasil perhitungan kebutuhan bahan benda uji mortar dapat dilihat pada Tabel 7.

**Tabel 7. Hasil Perhitungan Kebutuhan Bahan Benda Uji Mortar**

Perlakuan	Bahan (gram)	Pasir Rangkas	Pasir Bangka	Pasir Lumajang
Rendaman Air Laut	Semen	727	748	657
	Pasir	1253	1712	1493
	Air	288	188	269
Rendaman Air Tawar	Semen	727	748	657
	Pasir	1253	1712	1493
	Air	288	188	269

### Pengujian Xfr Pada Pasir

Pada tabel 8 merupakan pengujian XRF pasir Bangka menggunakan kandungan senyawa Oksida dengan persentase terbanyak adalah SiO<sub>2</sub> (silika oksida).

Hasil menunjukkan bahwa kandungan unsur  $\text{SiO}_2$  di dalam pasir Bangka sebesar 73,8%. Sementara untuk kandungan senyawa terbesar kedua pada pasir Bangka adalah  $\text{Al}_2\text{SO}_3$  (aluminium sulfat) sebesar 6,4%.

**Tabel 8.** Pengujian XRF Oksida Pasir Bangka

<i>Compound</i>	<i>Conc Unit</i>
$\text{Al}_2\text{SO}_3$	6,4 %
$\text{SiO}_2$	73,8 %
$\text{K}_2\text{O}$	0,38 %
$\text{CaO}$	17,1 %
$\text{TiO}_2$	0,38 %
$\text{V}_2\text{O}_5$	0,01 %
$\text{MnO}$	0,04 %
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1,63 %
$\text{CuO}$	0,039%
$\text{SrO}$	0,14 %
$\text{BaO}$	0,06 %

Sedangkan pada tabel 9 Pengujian XRF Oksida pada pasir rangkas untuk kandungan senyawa dengan persentase terbanyak adalah  $\text{SiO}_2$  (silika). Hasil menunjukkan bahwa kandungan senyawa  $\text{SiO}_2$  di dalam pasir Rangkas sebesar 68,8%. Sementara untuk kandungan senyawa terbesar kedua adalah  $\text{K}_2\text{O}$  (kalium oksida) yaitu sebesar 7,68%.

Pada Tabel 10 Pengujian XRF Oksida kandungan senyawa dengan persentase terbanyak adalah  $\text{SiO}_2$  (silika). Hasil menunjukkan bahwa kandungan senyawa Si di dalam pasir Lumajang sebesar 51,5%. Sementara untuk kandungan senyawa kimia terbesar kedua yaitu  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sebesar 18,1 %.

**Tabel 9.** Pengujian XRF Oksida Pasir Rangkas

<i>Compound</i>	<i>Conc Unit</i>
$\text{Al}_2\text{SO}_3$	11 %
$\text{SiO}_2$	68,8 %
$\text{K}_2\text{O}$	7,68 %
$\text{CaO}$	3,68 %
$\text{TiO}_2$	0,60 %
$\text{V}_2\text{O}_5$	0,01 %
$\text{MnO}$	0,21 %
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	7,10 %
$\text{CuO}$	0,05 %
$\text{Rb}_2\text{O}$	0,09 %
$\text{SrO}$	0,26 %
$\text{BaO}$	0,19 %

**Tabel 10.** Pengujian XRF Oksida Pasir Lumajang

<i>Compound</i>	<i>Conc Unit</i>
$\text{Al}_2\text{O}_3$	12 %
$\text{SiO}_2$	51,5 %
$\text{P}_2\text{O}_5$	1,0 %
$\text{K}_2\text{O}$	2,52 %
$\text{CaO}$	12,6 %
$\text{TiO}_2$	1,0 %
$\text{V}_2\text{O}_5$	0,003 %
$\text{Cr}_2\text{O}_5$	0,047 %
$\text{MnO}$	0,46 %
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	18,1 %
$\text{CuO}$	0,066 %
$\text{SrO}$	0,52 %
$\text{BaO}$	0,04 %
$\text{Eu}_2\text{O}_3$	0,26 %

### **Pengujian Alkali Silika Reaktif pada Mortar**

Reaksi alkali silika merupakan reaksi kimia di dalam beton maupun mortar. Agregat yang mengandung silika, bisa bersifat reaktif maupun non-reaktif terhadap unsur alkali pada semen. Reaksi alkali silika biasa terjadi pada konstruksi dekat pantai yang mengalami kontak langsung dengan air laut maupun yang terkena dampak dari banjir rob. Air

laut memiliki kandungan Natrium yang merupakan unsur alkali yang dapat menyebabkan reaksi alkali silika pada mortar [4]. Istilah reaktif merujuk pada kecenderungan agregat untuk retak/*breakdown* di bawah kondisi akibat alkali yang sangat tinggi dalam pore larutan dan bereaksi dengan alkali-hidroksida untuk membentuk gel. Gel menyerap air kemudian mengembang lalu akibat tekanan internal akhirnya timbullah retak [7].

Pasir yang digunakan pada penelitian ini sudah melalui proses pengujian XRF (*X-Ray Fluoresen*) untuk mengetahui persentase kandungan senyawa yang terdapat di dalam tiap-tiap pasir. Metode penelitian untuk mengetahui alkali silika reaktif pada mortar menggunakan metode pengujian yang mengacu pada ASTM C 1260, yaitu dengan membuat benda uji berukuran (25x25x285 mm) dengan standar *mix design* ASTM C 1260 yang kemudian direndam dengan larutan 1N NaOH dengan suhu 80°C dan dilakukan pengukuran perubahan panjang pada umur 1, 4, 7, 11 dan 14 hari. Menurut ASTM C 1260 selama 14 proses perendaman di larutan NaOH, kereaktifan agregat jika terjadi penambahan panjang. Pertambahan panjang kurang dari 0,10% termasuk agregat yang tidak reaktif, pertambahan panjang diantara 0,10% sampai dengan 0,20% termasuk agregat yang berpotensi reaktif, dan pertambahan panjang lebih dari 0,20% termasuk agregat yang reaktif.. Hasil pengujian kereaktifan agregat terhadap reaksi alkali silika dapat dilihat pada Tabel 8.

**Tabel 8.** Hasil Pengujian Kereaktifan Agregat Terhadap Reaksi Alkali Silika

Jenis Pasir	Pertambahan	
	Panjang Umur 14 Hari (%)	Keterangan
Rangkas	0.135	Berpotensi reaktif
Bangka	0.271	Reaktif

Jenis Pasir	Pertambahan	
	Panjang Umur 14 Hari (%)	Keterangan
Lumajang	0.319	Reaktif

## Pengujian Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Mortar

### Kuat Tekan

Kuat tekan adalah kemampuan dari mortar untuk memikul atau menahan beban maupun gaya-gaya mekanis sampai terjadi kegagalan [8]. Kuat tekan mortar menurut SNI 03-6825-2002 adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan [9]. Kuat tekan mortar diwakili oleh kuat tekan maksimum dengan satuan MPa. Kuat tekan mortar dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{P_{max}}{A} \text{ N/mm}^2$$

Keterangan :

$P_{max}$  = Beban maksimum (N)

A = Luas bidang tekan ( $\text{mm}^2$ )

### Kuat Lentur

Mortar sebagai bahan perekat dinding tidak hanya mendapat gaya tekan namun juga mendapatkan gaya lentur. Gaya lentur dapat berupa angin dari samping atau lainnya [8]. Kuat lentur mortar adalah kemampuan mortar untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji yang diberikan padanya sampai benda uji patah dalam satuan MPa. Menurut SNI 03-4154-1996, kuat lentur adalah nilai tegangan tarik yang dihasilkan dari momen lentur dibagi dengan momen penahan penampang balok uji [10]. Cara yang digunakan untuk mengukur kuat lentur mortar adalah dengan satu titik pembebanan. Kuat lentur mortar dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kuat Lentur} = \frac{3 P \times l}{2 b h^2} \text{ N/mm}^2$$

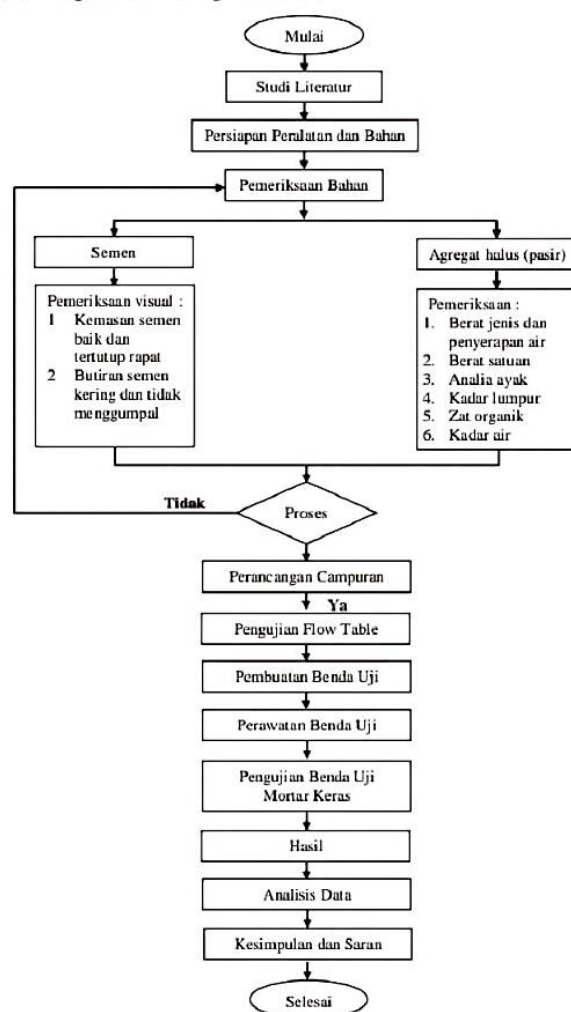
Keterangan:

- P = Beban Maksimum (N)
- l = Jarak tumpuan (mm)
- b = Lebar benda uji (mm)
- h = Tinggi benda uji (mm)

Pada penelitian ini perawatan pada mortar melalui dua proses perendaman yaitu menggunakan air tawar dan air laut. Air laut memiliki kadar garam rata-rata sekitar 35.000 ppm atau 35 g/liter, artinya dalam 1 liter air laut (1000 ml) terdapat 35 gram garam. Kandungan kimia utama dari air laut adalah klorida (Cl), natrium (Na), magnesium (Mg), Sulfat (SO<sub>4</sub>). Nilai pH air laut bervariasi antara 7,5 - 8,5. Air laut umumnya dapat menyebabkan kerusakan mortar baik dengan reaksi fisik maupun reaksi kimia. Dalam proses hidrasi semen, selain menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat, yang bersifat sebagai perekat juga menghasilkan kalsium hidroksida. Magnesium sulfat merupakan bahan kimia dalam air laut yang paling berpengaruh terhadap agresi pada mortar [11]. Pada penelitian ini air laut yang digunakan untuk perendaman diambil dari tepi laut Ancol. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh kuat tekan mortar pada lingkungan air laut.

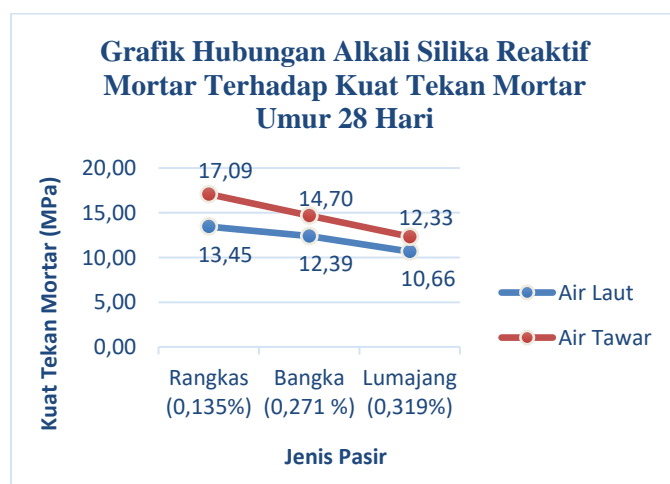
### Tahapan Penelitian

Metode yang digunakan adalah metode eksperimental dengan membuat benda uji. Tahapan penelitian dimulai dengan mempersiapkan alat dan bahan, pengujian material penyusun mortar (pasir dan semen), perancangan campuran, pengujian *flow table*, pembuatan benda uji, perawatan benda uji (air laut dan air tawar), pengujian benda uji pada umur 7, 14, 28 dan 56 hari. Tahapan-tahapan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

### HASIL dan PEMBAHASAN

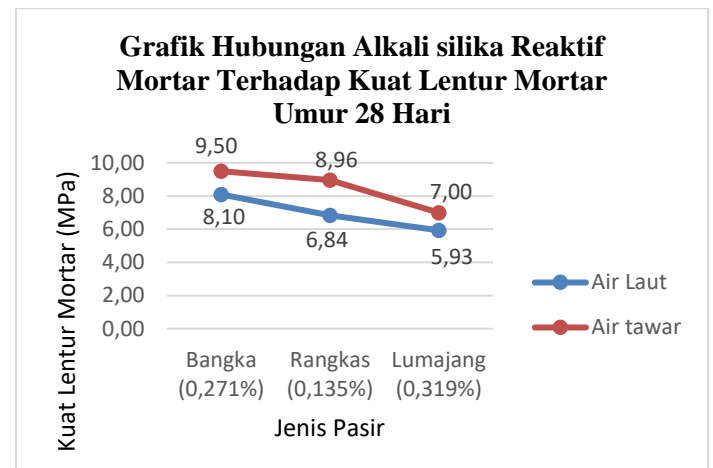


Gambar 2. Grafik Kuat Tekan Mortar Umur 28 Hari

Dari pengamatan terhadap pengujian kuat tekan pada Gambar 2 menunjukkan

bahwa potensi reaktif alkali silika pada mortar dengan umur rendaman 28 hari mempengaruhi hasil kuat tekan yang diperoleh meningkat dengan persentase perubahan panjang akibat potensi reaktif silika yang tidak reaktif. Ini dapat dilihat dari hasil grafik di atas pada pasir Lumajang potensi reaktif silika mortar sebesar 0,319% dengan hasil kuat tekan mortar sebesar 12,33 Mpa dibandingkan dengan pasir Rangkas yang potensi reaktif alkali silika mortar sebesar 0.135% dengan hasil kuat tekan yang diperoleh dengan nilai sebesar 17,09 Mpa untuk benda uji kuat tekan yang direndam pada air tawar. Sedangkan akibat dari perendaman air laut diperoleh lebih rendah jika direndam dengan air laut yang hasil kuat tekan mortarnya untuk pasir Lumajang sebesar 10,66 Mpa dan untuk pasir Rangkas sebesar 13,45 Mpa.

Selanjutnya dari pengamatan terhadap pengujian kuat lentur mortar pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa hasil yang diperoleh menunjukkan nilai kuat lentur mortar semakin meningkat dengan persentase perubahan panjang semakin rendah akibat potensi reaktif alkali silika mortar dengan hasil pada pasir Lumajang potensi reaktif silika mortar sebesar 0,319% menghasilkan kuat lentur sebesar 9,50 MPa dibandingkan dengan pasir Rangkas potensi reaktif alkali silika sebesar 0,135% memiliki kuat lentur sebesar 8,96 MPa dengan benda uji dilakukan peredaman di dalam air tawar.



**Gambar 3.** Grafik Kuat Lentur Mortar Umur 28 Hari

Sedangkan benda uji yang dilakukan perendaman dengan air laut diperoleh kuat lentur untuk pasir Bangka sebesar 8,10 MPa dan untuk pasir Rangkas sebesar 6,84 MPa lebih rendah dibandingkan perendaman air tawar, hal ini terjadi karena kandungan air garam mempengaruhi hasil kuat lentur yang diperoleh.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan mortar pada umur 28 hari terhadap pengaruh alkali silika reaktif pada mortar memiliki hasil yang sama untuk rendaman air tawar dan air laut yaitu memiliki pengaruh negatif (penurunan) dan signifikan terhadap nilai kuat tekan mortar. Sedangkan hasil dari pengujian kuat lentur mortar pada umur 28 hari terhadap pengaruh alkali silika reaktif pada mortar memiliki hasil untuk rendaman air laut yaitu tidak berpengaruh dan tidak signifikan, sedangkan untuk rendaman air tawar didapatkan hasil yaitu memiliki pengaruh yang lemah tetapi tidak signifikan. Sehingga mortar dengan potensi alkali silika reaktif yang tinggi yaitu pasir Lumajang memiliki nilai kuat tekan dan kuat lentur yang rendah untuk semua jenis perendaman baik melalui

perendaman air laut maupun perendaman air tawar.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Syukroni, Sifat Fisik dan Mekanik Mortar Polimer dengan Variasi Resin 5%; 15%; 20% dan 25%. 2013.
- [2] A. P. Sihombing, Y. Afrizal, and A. Gunawan, “Pengaruh Penambahan Arang Batok Kelapa Terhadap Kuat Tekan Mortar,” *Inersia, J. Tek. Sipil*, vol. 10, no. 1, pp. 31–38, 2018, doi: 10.33369/ijts.10.1.31-38.
- [3] Nadia and A. Fauzi, “Pengaruh Kadar Silika Pada Agregat Halus Campuran Beton Terhadap Peningkatan Kuat Tekan,” *Kontruksia*, vol. 3, no. 1, pp. 35–43, 2011.
- [4] N. M. Labib, A. Setyawan, and A. Sumarsono, “Analisis Reaksi Alkali Silika Agregat Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton Untuk Perkerasan Kaku Yang Tahan Terhadap Air Laut,” *e-Jurnal MATRIKS Tek. SIPIL*, vol. 4, no. 2, pp. 602–609, 2016.
- [5] ASTM C 1260 – 07, “Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method),” *West Conshohocken, PA ASTM*, vol. 04, no. October 2001, pp. 1–5, 2010, [Online]. Available: <https://compass.astm.org/download/C1260.36913.pdf>
- [6] ASTM C230, “Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement 1,” *Annu. B. ASTM Stand.*, pp. 4–9, 2010.
- [7] M. Isneini and S. Brojonegoro, “Pemanfaatan Mineral Tambahan Untuk Reduksi Ekspansi Akibat Reaksi Alkali Silika,” vol. 1, pp. 251–255, 2018.
- [8] S. Zuraidah and B. Hastono, “Pengaruh Variasi Komposisi Campuran Mortar Terhadap Kuat Tekan,” *Ge-STRAM J. Perenc. dan Rekayasa Sipil*, vol. 1, no. 1, pp. 8–13, 2018, doi: 10.25139/jprs.v1i1.801.
- [9] SNI 03-6825-2002, “Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen Portland untuk pekerjaan sipil,” *Bandung Badan Stand. Indones.*, pp. 1–9, 2002.
- [10] SNI 03-4154-1996, “Metode Pengujian Kuat Lentur Beton dengan Balok Uji Sederhana yang Dibebani Terpusat Langsung,” *Badan Stand. Nas.*, vol. 26, no. 4, pp. 551–556, 1996.
- [11] M. C. Damayanti, N. Rauf, and E. Juarlin, “Pengaruh Perendaman Air Laut Terhadap Kualitas Mortar Semen The Influence of Sea Water Immersion Concerning Quality of Mortar Cement,” pp. 5–8, 2014.