

Diterima : 20 Juni 2023 | Selesai Direvisi : 03 Agustus 2023 | Disetujui : 18 September 2023 | Dipublikasikan : Desember 2023

DOI : <http://dx.doi.org/10.24853/jk.15.1.1-13>

Copyright © 2023 Jurnal Konstruksia

This is an open access article under the CC BY-NC licence (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Pengaruh Batu Kuarsit dan Gamping Koral Terhadap Kehilangan Kuat Tekan Pada Beton Dalam Kondisi ASR

Syukur Setiyadi¹, Resmi Bestari Muin¹, dan Pariatmono Sukamdo¹

¹Prodi Teknik Sipil, Universitas Mercu Buana, Jl. Raya, RT.4/RW.1, Meruya Sel., Kec. Kembangan, Jakarta, 11650

Email korespondensi: syukursetiyadi@gmail.com

ABSTRAK

Batu kuarsit dan Batu gamping wilayah pesisir Kab. Pati dan Kab. Blora belum dimanfaatkan optimal sebagai agregat kasar [23]. Diteliti sifat fisik agregat kasar serta komposisi kimia, untuk kemudian digunakan dalam mendapatkan karakteristik beton agregat kasar kuarsit dan batu gamping. Pengujian 18 (delapan belas) silinder beton QS 70%:30% LS pada kondisi perawatan terendam air suhu 20°C untuk kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas dilaksanakan. Dievaluasi komposisi kimia CaO agregat kasar dan hubungannya dengan kuat tekan beton. Pengujian *Lost in Compressive Strength* dilakukan atas 6 silinder beton dalam lingkungan ASR 80°C. Penggantian 30% agregat kasar kuarsit (QS) dengan batu gamping (LS) menunjukkan hasil kuat tekan 19.69 MPa dan 29.85 MPa untuk w/c rasio 0.61 dan 0.47 secara berurutan. komposisi kimia CaO (*Calcium Oxide*) QS dan LS dengan nilai 49.293% dan 54.462%, adapun kandungan SiO₂ diperoleh 2.874% dan 1.517% untuk QS dan LS secara berurutan. Terdapat hubungan negatif lemah antara kandungan CaO agregat kasar terhadap kuat tekan beton dan *density* beton. Terjadi kehilangan kuat tekan (LICS) sebesar -4.7% pada beton w/c 0.61 dan 13.7% untuk beton w/c 0.47, mengindikasikan terdapat peningkatan kuat tekan 4.7% untuk beton w/c rasio 0.61 dan terjadi penurunan kuat tekan 13.7% untuk beton w/c rasio 0.47 pada umur 28 hari lingkungan ASR.

Kata kunci: Agregat Kasar Kuarsit, Agregat Kasar Batu Gamping, Karakteristik Beton, ASR, LICS.

ABSTRACT

*Quartzite (QS) and Limestone (LS) in the Coastal area of District Pati and Blora have not been utilized optimally as coarse aggregate. The physical properties of coarse aggregate and chemical composition were examined, to be used in obtaining the characteristics of quartzite and limestone coarse aggregate concrete. 18 (eighteen) cylindrical concrete specimens with a coarse aggregate ratio of quartzite 70%:30% limestone under curing conditions, submerged in water at 20°C were carried out for compressive strength test, split tensile strength, and modulus of elasticity. The chemical composition of coarse aggregate CaO and SiO₂ and their relationship to the compressive strength of concrete were evaluated. while *Lost in Compressive Strength* test carried out on 6 concrete cylinder specimens in an ASR 80°C environment. Replacement of 30% QS coarse aggregate with LS showed compressive strengths of 19.69 MPa and 29.85 MPa for w/c ratios of 0.61 and 0.47 respectively. The composition of calcium oxide (CaO) of QS and LS has a value of 49.293% and 54.462%. There is a weak negative relationship between the CaO content of coarse aggregate on the compressive strength and the density of concrete. There was a Loss in Compressive Strength (LICS) of -4.7% and 13.7% for concrete aged 28 days at ASR environmental conditions, indicates an increase in compressive strength of 4.7% for concrete with a w/c ratio of 0.61*

and a decrease in compressive strength of 13.7% for concrete with a w/c ratio of 0.47 at 28 days of ASR environment.

Keywords: Quartzite Coarse Aggregates, Limestone Coarse Aggregates, Concrete Characteristics, ASR, LICS.

1. PENDAHULUAN

Reaksi alkali-silika (ASR) adalah masalah global yang menyebabkan hilangnya kekuatan, elastisitas, dan daya tahan beton [4]. Untuk mengetahui pengaruh ASR terhadap beton maka sifat fisik agregat berupa spesifik gravitasi, porositas, penyerapan, kadar air, serta reaktivitas alkali silika agregat diteliti. Agregat kuarsit ditemukan sangat reaktif dalam lingkungan alkalin beton semen Portland, batu gamping dengan kandungan mineral silikat yang rendah baik untuk mencegah reaksi alkalisilika [9]. Kuarsit dapat digunakan sebagai agregat untuk beton berkekuatan tinggi dan paling *green* [18].

Dengan mengetahui komposisi kimia dalam agregat kasar maka dapat dievaluasi ikatan kimia mineral agregat kasar batu kuarsit maupun batu gamping [17]. Untuk memperkirakan kuat tekan beton yang dibuat dengan NA (*Natural Aggregate*) atau RA (*Recycle Aggregate*), pengaruh sifat geologis dan kualitas fisik tidak dapat diabaikan, dan ini harus dimasukkan baik dalam formula standar maupun dalam kode perhitungan [13].

Untuk perkerasan kaku, tiga sifat beton yang sangat penting untuk diperhatikan yaitu kekuatan tarik belah, susut, dan perilaku kelelahan/*fatigue* [24]. Dampak yang paling signifikan terhadap kuat tekan menurut persamaan empiris yang disimpulkan adalah kekuatan agregat, sedangkan faktor W/C rasio tetap signifikan juga [14]. Modulus elastisitas merupakan faktor yang mempengaruhi rangkakan tekan beton. Rangkakan tekan beton mutu tinggi dapat bervariasi tergantung pada Jenis bahan agregat kasar [11]. Semakin tinggi FAS maka makin rendah kekuatan tekan beton [15].

Tes kimia cepat (ASTM C289) digunakan untuk mengidentifikasi agregat silika yang berpotensi reaktif [21]. Mengganti sekitar 30% dari agregat pasir-kerikil reaktif dengan batu kapur yang dihancurkan dapat meminimalkan reaktivitas alkali [21]. Kerentanan ASR dari sumber agregat dapat diuji oleh AASHTO T303, ASTM C289, C1260, atau C1293 sebuah tes berdurasi panjang [20].

2. RESEARCH OBJECTIVES

Beberapa metode guna penyelidikan efek ASR pada beton memiliki batasan ketersediaan peralatan untuk wilayah Indonesia. CPT (*Concrete Prism Test*) - ASTM C 1293, dan MCPT (*Miniature Concrete Prism Test*) - AASHTO TP 110 memerlukan peralatan yang saat ini belum dimiliki oleh laboratorium lokal. Adapun pemeriksaan ASR pada beton untuk waktu pengujian yang singkat Metode AMBT ASTM 1260, kurang mencerminkan performa agregat sesungguhnya mengingat penghancuran yang ekstensif dan perlakuan agregat yang mengubah hasil ekspansi [12]. Studi ini menggunakan gabungan pemeriksaan reaksi alkali agregat secara cepat dan berdasarkan performa sesuai penggunaan agregat kasar dengan memeriksa kehilangan dalam kuat tekan (*lost in compressive strength*) untuk umur beton 28 hari dengan peralatan yang banyak dimiliki laboratorium bahan teknik sipil.

3. MATERIAL DAN METODE

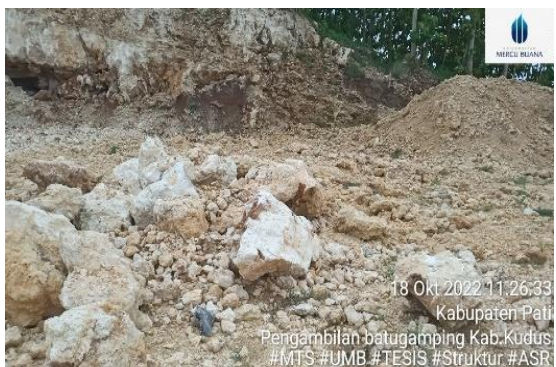
Material

Objek penelitian berupa material batu agregat kasar kuarsit untuk selanjutnya disebut QS diperoleh dari kuari desa

Jatirejo, Kec. Jepon, Kabupaten Blora, Jawa Tengah. Adapun material batu gamping untuk selanjutnya disebut LS didapatkan dari kuari Desa Wegil, Kec. Sukolilo, Kabupaten Pati, Jawa Tengah. Digunakan agregat halus pasir Bangka dari toko material lokal. Semen digunakan PCC (*Portland Composite Cement*) tipe II. Air berasal dari jaringan sumur air tawar laboratorium bahan sipil UMB.



Gambar 1. Batu Kuarsit Kab. Blora



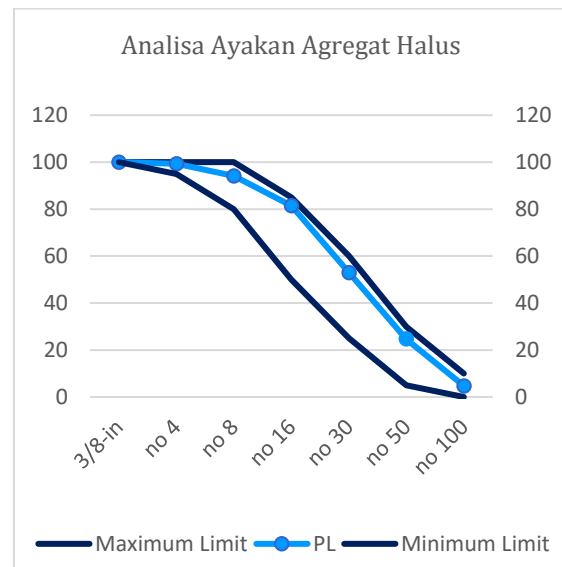
Gambar 2. Batu Gamping Kab. Pati

Uji *aggregative*

Pemecahan manual dilakukan atas Kuarsit (QS) dan Batu gamping (LS) untuk mendapatkan material baku agregat kasar QS dan LS sesuai standar spesifikasi agregat beton ASTM C33-99. Dilaksanakan pengujian *aggregative* di Laboratorium Mekanika Uji Bahan Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Mercu Buana, Jakarta atas agregat kasar QS dan LS serta agregat halus disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Agregat Halus

<i>Properties</i>	<i>Hasil</i>	<i>Sat. /Ref.</i>
Berat jenis	2.593	ASTM C 188
Penyerapan	2.79	%
Modulus kehalusan	2.677	ASTM C 136
Berat isi	1.201	ASTM C 29
Kadar air	8.022	%

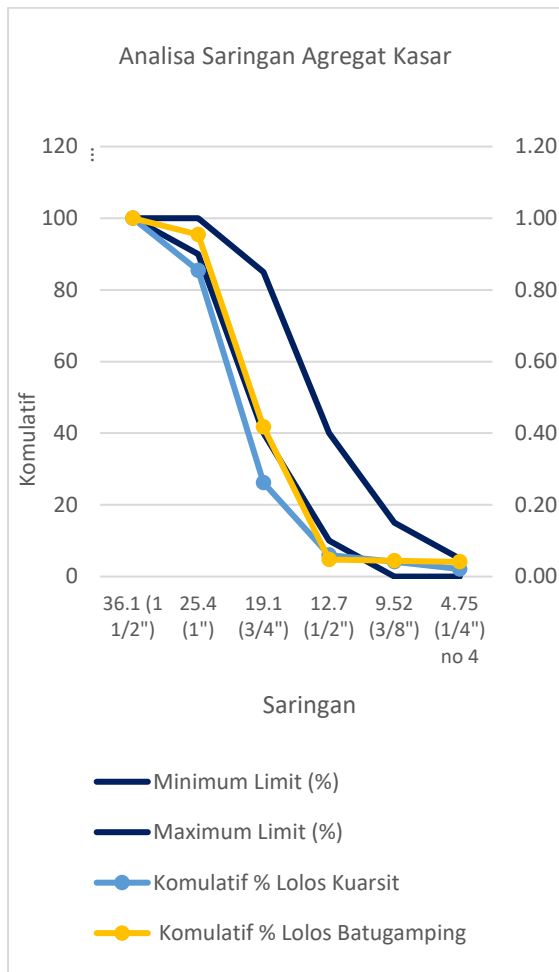


Gambar 3. Kurva Analisa Ayakan Agregat Halus

Tabel 2. Karakteristik Agregat Kasar

<i>Properties</i>	<i>QS</i>	<i>LS</i>	<i>Sat. /Ref.</i>
Kadar air	0.984	2.426	%
Berat isi	1.150	1.213	%
Berat jenis	2.416	2.508	ASTM C 127-07
Penyerapan	4.251	7.933	%
Modulus kehalusan	4.470	4.003	ASTM C 136
Abrasi Los Angeles	40.40	49.18	ASTM C 131

Reaktifitas alkali agregat

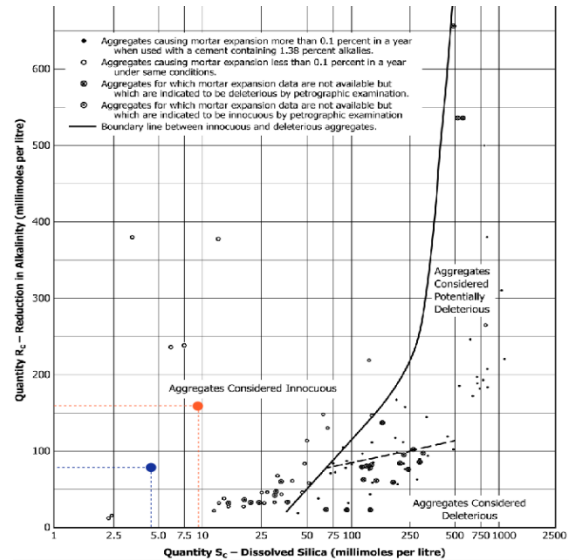


Gambar 4. Kurva Analisa Ayakan Agregat Kasar

Uji reaktifitas alkali agregat dilaksanakan pada B4T (Balai Besar Bahan Dan Barang Teknik) merujuk ASTM C 289-03 ditampilkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian Alkali Agregat

Parameter	QS [6]	LS [5]
Dissolved Silica (Sc) mmol/L	8.63	4.65
Reduction in Alkalinity (Rc)	162.00	72.00



Gambar 5. Reaktifitas Alkali Agregat

Pengujian semen

adapun pengujian semen berupa uji konsistensi normal dan waktu ikat awal dijelaskan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Konsistensi Normal dan Ikat Awal Semen

Properties	Hasil	Sat. /Ref.
Konsistensi normal	21.667	Menit
Ikat awal	115.909	Menit
Berat jenis	2.508	ASTM C 127-07

Komposisi kimia agregat

Pengujian atas komposisi kimia agregat QS dan LS dilakukan merujuk standar ASTM C 25 ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Komposisi Kimia Agregat

Parameter (%)	QS [8]	LS [7]
Silica Oxide (SiO ₂)	2.874	1.517
Iron Oxide (Fe ₂ O ₃)	3.250	0.241

Aluminum Oxide (Al ₂ O ₃)	3.816	0.836
Calcium Oxide (CaO)	49.293	54.462
Magnesium Oxide (MgO)	0.313	0.419
Potassium Oxide (K ₂ O)	0.277	0.227
Sodium Oxide (Na ₂ O)	0.164	0.172
Loss on Ignition (LOI)	39.378	41.221
Manganese Oxide (MnO)	0.005	0.013
Titanium Oxide (TiO ₂)	Tidak terdeteksi	Tidak terdeteksi
Phosphorus Oxide (P ₂ O ₅)	0.355	0.723

Rancangan campuran beton

Merujuk pada Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal SNI 7656-2012. Beton ini disusun dengan penggantian 30% dari agregat kuarsit atas batu gamping yang diharapkan mampu meminimalkan reaktivitas alkali. Sifat kemudahan pengerjaan (*workability*) yang sesuai untuk pekerjaan-pekerjaan konstruksi umumnya juga diharapkan terpenuhi. Nilai slump ditentukan maksimum 100 mm dan minimum 75 mm [23]. Banyaknya air pencampur untuk tiap satu m³ beton dengan slump yang sama merujuk pada ACI 211.1-91 sub pasal 6.3.9.1 [1] dengan memperhitungkan kadar air serta penyerapan agregat. Dari percobaan dilaboratorium diperoleh campuran beton seperti diuraikan dalam tabel 6.

Tabel 6. Proporsi Campuran Beton

Material	w/c 0.47	w/c 0.61	Sat.
Air	205.189	215.768	liter
Semen	336.376	353.718	Kg
Agregat Kasar QS	579.707	582.606	Kg
Agregat Kasar LS	265.652	266.98	Kg
Agregat Halus	996.103	964.178	Kg

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat tekan beton

Berdasarkan pengujian atas silinder beton umur 28 hari diperoleh hubungan w/c rasio dengan kuat tekan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Hubungan w/c rasio dengan Kuat Tekan

Properties	Hasil (MPa)	ACI 211 (MPa)	Penurunan terhadap ACI (%)
Kuat Tekan w/c 0.61	19.69	25	21.25
Kuat Tekan w/c 0.47	29.85	35	14.72

Kuat tarik belah beton

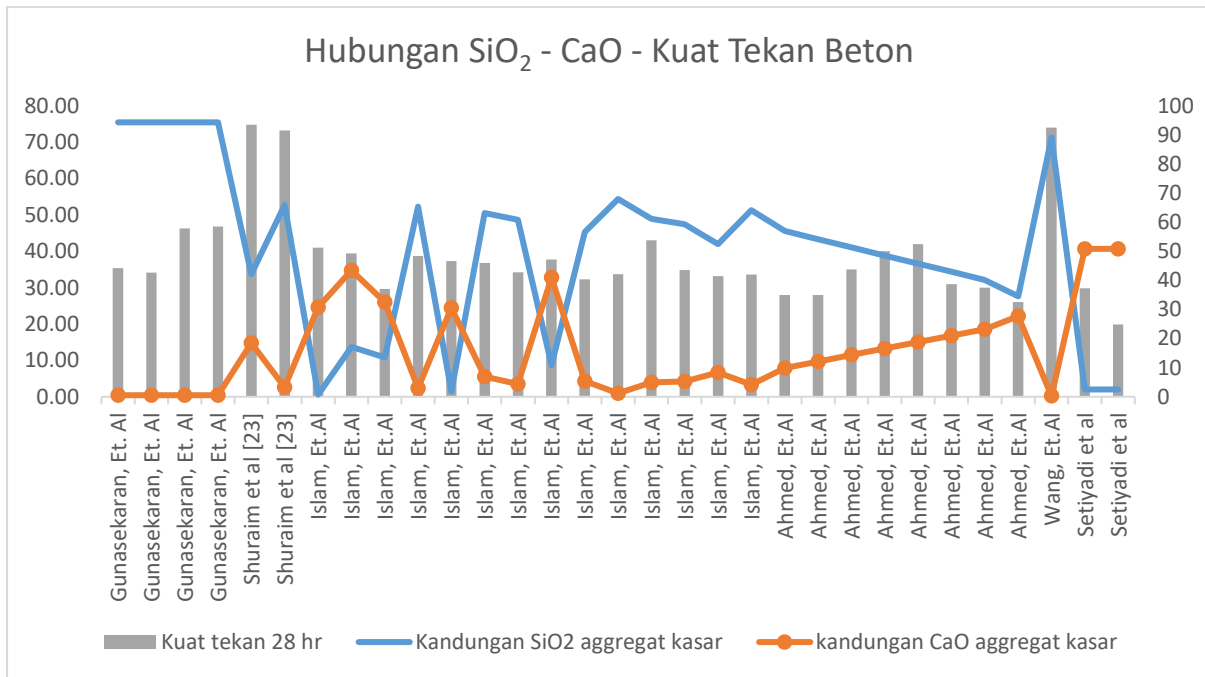
Pengujian atas silinder beton umur 28 hari untuk w/c rasio 0.61 diperoleh kuat tarik belah 4.6 MPa, sedangkan untuk w/c rasio 0.47 diperoleh kuat tarik belah 11.13 MPa.

Pengaruh SiO₂ - CaO agregat kasar

Proporsi agregat kasar dalam penelitian ini digunakan 70% batu kuarsit dan 30% batu gamping sehingga diperoleh kandungan SiO₂ gabungan agregat kasar 2.467%. dilakukan analisa statistik atas SLR (*Sistematik Literatur Review*) Kandungan SiO₂ - CaO Agregat Kasar untuk Penyerapan, *Density* dan Kuat Tekan Beton Agregat QS 70%:30% LS.

Tabel 8. Kandungan SiO₂ - CaO Agregat Kasar untuk Penyerapan-Density dan Kuat Tekan Beton Agregat QS 70%:30% LS

<i>Peneliti</i>	<i>Kandungan SiO₂</i>	<i>Kandungan CaO</i>	<i>Penyerapan</i>	<i>Density kg/m³</i>	<i>Kuat tekan 28 hr (MPa)</i>
Gunasekaran, Et. Al[4]	94.32	0.560	0.09	1413	35.40
Gunasekaran, Et. Al[4]	94.32	0.560	0.09	1413	34.10
Gunasekaran, Et. Al[4]	94.32	0.560	0.09	1413	46.30
Gunasekaran, Et. Al[4]	94.32	0.560	0.09	1413	46.80
Shuraim et al [20]	42.08	18.510	1.53	1665.46	74.84
Shuraim et al [20]	65.94	3.240	1.43	1683	73.19
Islam, Et.Al[21]	0.74	30.740	0.4	1630.68	41.04
Islam, Et.Al[21]	17.19	43.400	1.4	1509.90	39.46
Islam, Et.Al[21]	13.5	32.550	1.7	1595.44	29.61
Islam, Et.Al[21]	65.35	2.910	1.4	1510.54	38.75
Islam, Et.Al[21]	1.83	30.600	1.3	1705.97	37.32
Islam, Et.Al[21]	63.09	6.920	1.09	1673.93	36.82
Islam, Et.Al[21]	60.82	4.340	2.05	1492.92	34.22
Islam, Et.Al[21]	10.91	41.000	0.96	1510.54	37.72
Islam, Et.Al[21]	56.66	5.330	2.9	1508.94	32.32
Ahmed, Et.Al[22]	56.92	9.890	2.2	1307.42	28.00
Ahmed, Et.Al[22]	54.13	12.116	2.2	1307.42	28.00
Ahmed, Et.Al[22]	51.33	14.341	2.2	1307.42	35.00
Ahmed, Et.Al[22]	48.54	16.567	2.2	1307.42	40.00
Ahmed, Et.Al[22]	45.74	18.792	2.2	1307.42	42.00
Ahmed, Et.Al[22]	42.95	21.018	2.2	1307.42	31.00
Ahmed, Et.Al[22]	40.15	23.243	2.2	1307.42	30.00
Ahmed, Et.Al[22]	34.56	27.694	2.2	1307.42	26.00
Wang, Et.Al[23]	89.05	0.280	9.7	1070	74.00
Setiyadi et al	2.47	50.844	0.47	1169.11	29.85
Setiyadi et al	2.47	50.844	0.61	1169.11	19.92



Gambar 6. Hubungan SiO₂ - CaO - Kuat Tekan Beton

Dilakukan analisa statistik menggunakan software JASP (Version 0.17) mengenai hubungan kandungan SiO₂ dan CaO agregat terhadap kuat tekan beton QS 70:30 LS dalam tabel 9.

Tabel 9. *Pearson's Correlations* SiO₂ - CaO Agregat Kasar untuk Penyerapan-Density dan Kuat Tekan Beton Agregat QS 70%:30% LS

		<i>Pearson's r</i>	<i>p</i>
Kandungan SiO ₂ agregat kasar	- Penyerapan	-0.024	0.900
Kandungan SiO ₂ agregat kasar	- Kuat tekan 28 hr	0.221	0.240
Kandungan SiO ₂ agregat kasar	- kandungan CaO agregat kasar	-0.918 ***	< .001
Kandungan SiO ₂ agregat kasar	- <i>Density</i> kg/m ³	-0.098	0.602
Penyerapan	- Kuat tekan 28 hr	-0.089	0.638
Penyerapan	- kandungan CaO agregat kasar	-0.180	0.340
Penyerapan	- <i>Density</i> kg/m ³	-0.386 *	0.032
Kuat tekan 28 hr	- kandungan CaO agregat kasar	-0.264	0.158
Kuat tekan 28 hr	- <i>Density</i> kg/m ³	0.211	0.254

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001

- a. Terdapat hubungan negatif sangat signifikan antara Kandungan SiO₂ agregat kasar dengan kandungan CaO agregat kasar,
- b. Terdapat hubungan positif antara Kandungan SiO₂ agregat kasar dengan kuat tekan beton,

c. Terdapat hubungan negatif antara kuat tekan beton 28 hari dengan kandungan CaO agregat.

lingkungan ASR masih cukup terbatas. Disajikan analisa SLR serta hubungan statistik atas penelitian terdahulu untuk AAR (reaksi alkali agregat) dengan komposisi kimia SiO₂ dan CaO untuk LICS beton kondisi terawat pada kondisi normal dan lingkungan ASR umur 28 hari dalam Tabel 10.

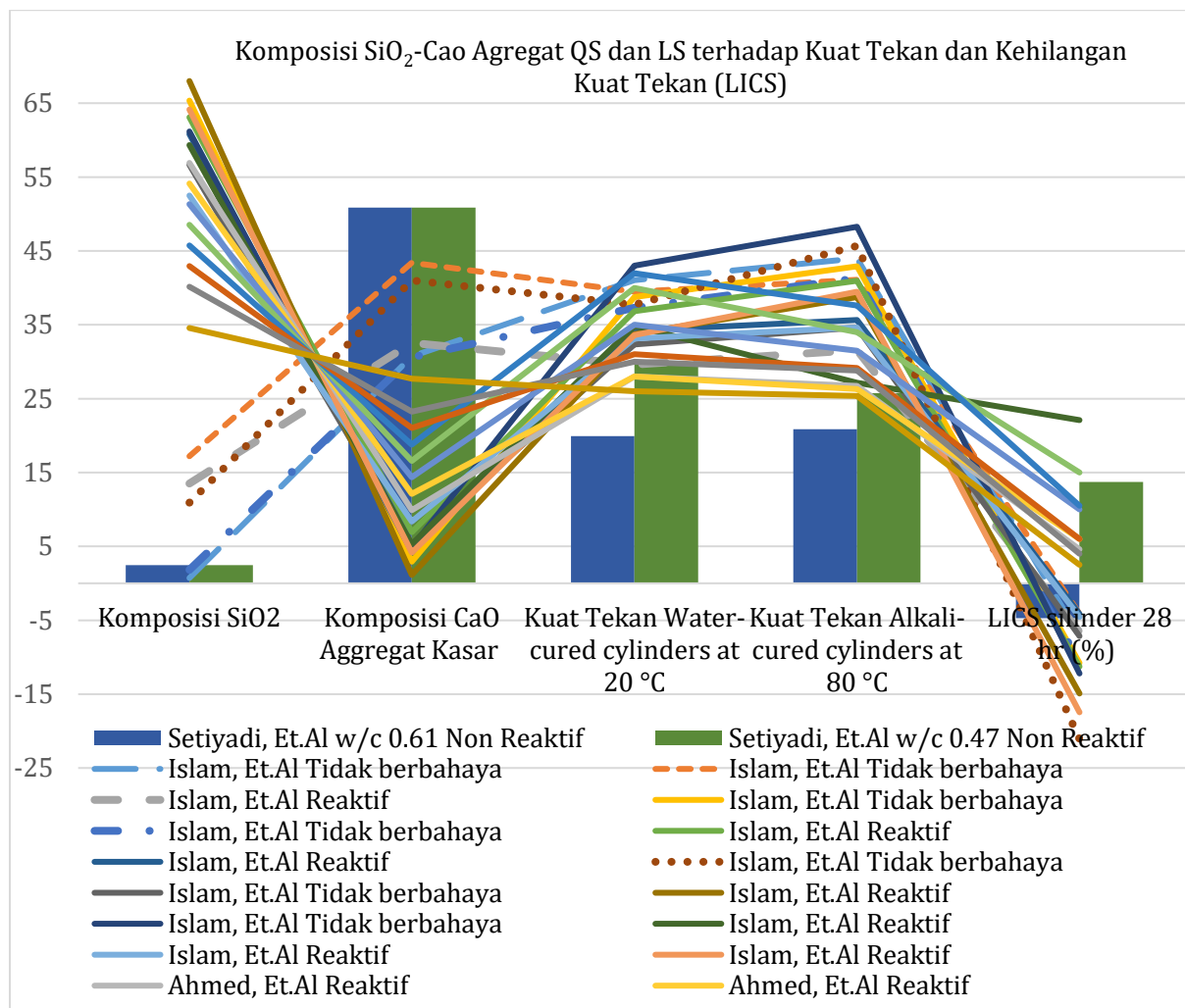
LICS (Lost in Compressive Strength) akibat ASR beton

Penelitian terdahulu atas kehilangan kuat tekan (LICS) beton akibat kondisi

Tabel 10. Hubungan AAR dengan SiO₂ dan CaO Agregat untuk Kuat Tekan Beton Normal dan Kondisi ASR Serta LIC

Peneliti	W/C Rasio	Reaktifitas Agregat atas ASR	Komposisi SiO ₂ Ag. Kasar (%)	Komposisi CaO Ag. Kasar (%)	Kuat Tekan (MPa)		
					Water-cured cylinder at 20 °C	Alkali-cured cylinders at 80 °C	LICS silinder 28 hr (%)
Islam, Et.Al[21]	0.45	Tidak berbahaya	0.74	30.74	41.04	43.99	(7.19)
Islam, Et.Al[21]	0.45	Tidak berbahaya	17.19	43.40	39.46	41.09	(4.13)
Islam, Et.Al[21]	0.45	Reaktif	13.5	32.55	29.61	31.56	(6.59)
Islam, Et.Al[21]	0.45	Tidak berbahaya	65.35	2.91	38.75	42.93	(10.79)
Islam, Et.Al[21]	0.45	Tidak berbahaya	1.83	30.60	37.32	41.28	(10.61)
Islam, Et.Al[21]	0.45	Reaktif	63.09	6.92	36.82	40.97	(11.27)
Islam, Et.Al[21]	0.45	Reaktif	60.82	4.34	34.22	35.64	(4.15)
Islam, Et.Al[21]	0.45	Tidak berbahaya	10.91	41.00	37.72	45.68	(21.10)
Islam, Et.Al[21]	0.45	Tidak berbahaya	56.66	5.33	32.32	34.63	(7.15)
Islam, Et.Al[21]	0.45	Reaktif	68	1.14	33.72	38.75	(14.92)
Islam, Et.Al[21]	0.45	Tidak berbahaya	61.17	4.88	43.01	48.26	(12.21)
Islam, Et.Al[21]	0.45	Reaktif	59.33	5.30	34.86	27.16	22.09
Islam, Et.Al[21]	0.45	Reaktif	52.5	8.36	33.14	34.65	(4.56)
Islam, Et.Al[21]	0.45	Reaktif	64.14	4.16	33.62	39.49	(17.46)
Ahmed, Et.Al[22]	0.47	Reaktif	56.92	9.89	28	26.71	4.60
Ahmed, Et.Al[22]	0.47	Reaktif	54.13	12.12	28	26.32	6.00
Ahmed, Et.Al[22]	0.47	Reaktif	51.33	14.34	35	31.50	10.00

Peneliti	W/C Rasio	Reaktifitas Agregat atas ASR	Komposisi SiO ₂ Ag. Kasar (%)	Komposisi CaO Ag. Kasar (%)	Kuat Tekan (MPa)		
					Water-cured cylinders at 20 °C	Alkali-cured cylinders at 80 °C	LICS silinder 28 hr (%)
Ahmed, Et.Al[22]	0.47	Reaktif	48.54	16.57	40	34.00	15.00
Ahmed, Et.Al[22]	0.47	Reaktif	45.74	18.79	42	37.59	10.50
Ahmed, Et.Al[22]	0.47	Reaktif	42.95	21.02	31	29.14	6.00
Ahmed, Et.Al[22]	0.47	Reaktif	40.15	23.24	30	28.80	4.00
Ahmed, Et.Al[22]	0.47	Reaktif	34.56	27.69	26	25.35	2.50
Setiyadi, Et.Al	0.61	Non Reaktif	2.4669	50.84	19.92	20.86	(4.71)
Setiyadi, Et.Al	0.47	Non Reaktif	2.4669	50.84	29.85	25.76	13.70



Gambar 7. Grafik Komposisi SiO₂-CaO terhadap Kuat Tekan dan LICS

Analisa hubungan AAR dengan SiO₂ dan CaO agregat untuk kuat tekan beton normal dan kondisi ASR serta LICS

menggunakan software JASP (Version 0.17) dihasilkan dalam Tabel 11;

Tabel 11. *Pearson's Correlations* AAR dengan SiO₂ dan CaO Agregat untuk Kuat Tekan Beton Normal dan Kondisi ASR Serta LICS

		<i>Pearson's r</i>	<i>p</i>
Komposisi SiO ₂ agregat kasar	- Komposisi CaO Agregat Kasar	-0.937 ***	< .001
Komposisi SiO ₂ agregat kasar	- Kuat tekan 28 hr (MPa) <i>Water-cured cylinders</i> at 20 °C	0.152	0.477
Komposisi SiO ₂ agregat kasar	- W/C Rasio	-0.332	0.113
Komposisi SiO ₂ agregat kasar	- Kuat tekan 28 hr (MPa) <i>Alkali-cured cylinders</i> at 80 °C	0.088	0.684
Komposisi SiO ₂ agregat kasar	- LICS silinder 28 hr (%)	0.043	0.842
Komposisi CaO Agregat Kasar	- Kuat tekan 28 hr (MPa) <i>Water-cured cylinders</i> at 20 °C	-0.264	0.213
Komposisi CaO Agregat Kasar	- W/C Rasio	0.460 *	0.024
Komposisi CaO Agregat Kasar	- Kuat tekan 28 hr (MPa) <i>Alkali-cured cylinders</i> at 80 °C	-0.227	0.286
Komposisi CaO Agregat Kasar	- LICS silinder 28 hr (%)	0.059	0.783
Kuat tekan 28 hr (MPa) <i>Water-cured cylinders</i> at 20 °C	- W/C Rasio	-0.614 **	0.001
Kuat tekan 28 hr (Mpa) <i>Water-cured cylinders</i> at 20 °C	- Kuat tekan 28 hr (MPa) <i>Alkali-cured cylinders</i> at 80 °C	0.847 ***	< .001
Kuat tekan 28 hr (MPa) <i>Water-cured cylinders</i> at 20 °C	- LICS silinder 28 hr (%)	-0.162	0.450
W/C Rasio	- Kuat tekan 28 hr (MPa) <i>Alkali-cured cylinders</i> at 80 °C	-0.566 **	0.004
W/C Rasio	- LICS silinder 28 hr (%)	0.155	0.469
Kuat tekan 28 hr (MPa) <i>Alkali-cured cylinders</i> at 80 °C	- LICS silinder 28 hr (%)	-0.658 ***	< .001

* p < .05, ** p < .01, *** p < .001

- a. Ada hubungan negatif sangat signifikan antara kandungan SiO₂ dengan CaO agregat kasar.
- b. Ada hubungan cukup positif antara w/c rasio dengan komposisi CaO agregat kasar kuarsit 70%:30% batu gamping,

- c. Ada hubungan negatif signifikan antara antara w/c rasio dengan kuat tekan beton umur 28 hari pada kondisi lingkungan ASR (*Alkali-cured cylinders* at 80 °C) maupun non ASR (*Water-cured cylinders* at 20 °C)

- d. Ada hubungan positif sangat signifikan antara kuat tekan pada kondisi lingkungan non ASR (*Water-cured cylinders at 20 °C*) dengan kuat tekan beton umur 28 hari pada kondisi lingkungan ASR (*Alkali-cured cylinders at 80 °C*)
 - e. Ada hubungan positif cukup lemah dan sangat lemah antara komposisi SiO₂ agregat dengan kuat tekan pada lingkungan non ASR maupun ASR secara berurutan.
 - f. Ada hubungan negatif cukup lemah antara komposisi CaO agregat kasar dengan kuat tekan beton umur 28 hari pada kondisi lingkungan ASR (*Alkali-cured cylinders at 80 °C*)
 - g. Tidak terdapat hubungan komposisi CaO agregat kasar dengan kehilangan kuat tekan (LICS) beton kuarsit 70%:30% batu gamping umur 28 hari pada lingkungan kondisi ASR.
 - h. Beton agregat kasar QS 70%:30% LS untuk w/c rasio 0.61 mengalami kehilangan kuat tekan (LICS) sebesar - 4.7%.
 - i. Beton agregat kasar QS 70%:30% LS untuk w/c rasio 0.47 mengalami kehilangan kuat tekan (LICS) sebesar 13.7%.
- b. Kurva analisa ayakan agregat kuarsit dan batu gamping menunjukkan modulus kehalusan agregat kasar dengan metode pemecahan manual berada dibawah ambang minimal ASTM C33/C33M - 18 sehingga diperlukan metode pemecahan batu yang lebih baik untuk mendapatkan modulus kehalusan agregat kasar sesuai standar, direkomendasikan pemecahan agregat kasar menggunakan mesin pemecah batu yang terstandar.
 - c. Pengujian reaktifitas alkali silika agregat Kuarsit dan batu gamping menunjukkan kedua agregat tidak berpotensi reaktif terhadap reaksi alkali silika (*non reactive*) merujuk ASTM C289 - 07.
 - d. komposisi SiO₂ (*Silica Oxide*) kuarsit dan batu gamping memiliki nilai 2.874% dan 1.517%. Terdapat hubungan positif sangat lemah antara kandungan SiO₂ agregat kasar terhadap kuat tekan beton QS 70%:30% LS.
 - e. Komposisi CaO (*Calcium Oxide*) batu kuarsit dan batu gamping memiliki nilai 49.293% dan 54.462%. Terdapat hubungan negatif antara kandungan CaO agregat kasar terhadap kuat tekan beton QS 70%:30% LS. Serta terdapat hubungan negatif cukup lemah antara kandungan CaO agregat kasar terhadap penyerapan.
 - f. Penggantian 30% agregat kasar kuarsit dengan batu gamping untuk w/c rasio 0.61 menunjukkan hasil kuat tekan 19.69 MPa dan 29.85 MPa untuk w/c rasio 0.47. Terdapat penurunan kuat tekan sebesar 21,25% untuk w/c rasio 0.61 dan 14,72% untuk w/c rasio 0.47 terhadap ACI 211.1-91.
 - g. Pada umur 28 hari kondisi lingkungan ASR beton QS 70%:30% LS untuk w/c rasio 0.61 mengalami peningkatan kuat tekan sejumlah 4.7% (LICS - 4.7%), adapun untuk w/c rasio 0.47 mengalami penurunan kuat tekan sejumlah 13.7% (LICS 13.7%).

5. KESIMPULAN

Penelitian eksperimental atas beton agregat kasar kuarsit 70%:30% batu gamping untuk w/c rasio 0.47 dan 0.61 menyelidiki sifat mekanik agregat kasar kuarsit dan agregat kasar batu gamping diperoleh hasil penelitian;

- a. Nilai abrasi Los Angeles batu kuarsit sebesar 40.4, adapun untuk batu batu gamping sebesar 49.18 menunjukkan kedua agregat masih dibawah maksimum nilai ijin abrasi Los Angeles merujuk ASTM C33/C33M - 18 sehingga memenuhi syarat sebagai material agregat kasar untuk beton.

Diperlukan studi lebih lanjut untuk pengaruh kandungan alkali portland cement terhadap kehilangan kuat tekan beton (LICS) kondisi lingkungan ASR.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ACI Committe 211, "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91)," *ACI COMMITTEE REPORT*, no. 9, pp. 120–121, 2006.
- [2] A. Ahmed *et al.*, "Potential of Waste Marble Sludge for Repressing Alkali-Silica Reaction in Concrete with Reactive Aggregates," *Materials*, vol. 15, no. 11, 2022, doi: 10.3390/ma15113962.
- [3] A. B. Shuraim, F. Aslam, R. Rizwan Hussain, and A. M. Alhozaimy, "Coupled Effect of Coarse Aggregate Type and Silica Fume on Creep Coefficients of High-Strength Concrete," *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 28, no. 12, p. 04016159, 2016, doi: 10.1061/(asce)mt.1943-5533.0001654.
- [4] A. Prado, Y. Coutinho, F. Ferreira, G. Mariano, and A. Carneiro, "Petrographic Evaluation of Aggregates Affected by Tectonic Deformation in Development of Alkali-Silica Reaction," *ACI Mater J*, vol. 119, no. 4, pp. 29–33, 2022, doi: 10.14359/51734684.
- [5] B4T, "Laporan Pengujian Alkali Reaktif Agregat Gamping," *Balai besar bahan dan barang teknik 2012*, no. 14, pp. 4–5, 2022.
- [6] B4T, "Laporan Pengujian Alkali Reaktif Agregat Kuarsit," *Balai besar bahan dan barang teknik 2012*, no. 14, pp. 4–5, 2022.
- [7] B4T, "Laporan Pengujian komposisi kimia Batu Gamping," *Balai besar bahan dan barang teknik 2022*, no. c, p. 13506, 2022.
- [8] B4T, "Laporan Pengujian komposisi kimia Batu Kuarsit," *Balai besar bahan dan barang teknik 2022*, no. c, p. 13506, 2022.
- [9] D. Józwiak-Niedźwiedzka, K. Gméliing, A. Antolik, K. Dziedzic, and M. A. Glinicki, "Assessment of long lived isotopes in alkali-silica resistant concrete designed for nuclear installations," *Materials*, vol. 14, no. 16, 2021, doi: 10.3390/ma14164595.
- [10] D. Wang, C. Cui, X. F. Chen, S. Zhang, and H. Ma, "Characteristics of autoclaved lightweight aggregates with quartz tailings and its effect on the mechanical properties of concrete," *Constr Build Mater*, vol. 262, p. 120110, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120110.
- [11] E. Hwang *et al.*, "Compressive creep and shrinkage of high-strength concrete based on limestone coarse aggregate applied to high-rise buildings," *Materials*, vol. 14, no. 17, 2021, doi: 10.3390/ma14175026.
- [12] E. O. Fanijo, J. T. Kolawole, and A. Almakrab, "Alkali-silica reaction (ASR) in concrete structures: Mechanisms, effects and evaluation test methods adopted in the United States," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 15, no. November 2020, p. e00563, 2021, doi: 10.1016/j.cscm.2021.e00563.
- [13] J. de Brito, R. Kurda, and P. R. da Silva, "Can we truly predict the compressive strength of concrete without knowing the properties of aggregates?," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 8, no. 7, pp. 1–22, 2018, doi: 10.3390/app8071095.
- [14] J. Malaiskiene, G. Skripkiunas, M. Vaiciene, and E. Karpova, "The influence of aggregates type on W/C ratio on the strength and other properties of concrete," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 251, no. 1, pp. 1–

- 10, 2017, doi: 10.1088/1757-899X/251/1/012025.
- [15] Li. Zongjin, *Advanced Concrete Technology*. 2011.
- [16] Mamlouk, Zaniewski, M. S. and P, J. (2018) *Materials for Civil and Construction Engineers Fourth Edition in SI Units* Materials for Civil and Construction Engineers FOURTH Edition In si units.
- [17] Muhammad. Zuhdi, *Buku Ajar Pengantar Geologi*. 2019. [Online]. Available:
http://eprints.unram.ac.id/14627/1/BUKU_AJAR_PENGANTAR_GEOLOGI.pdf
- [18] M. Gunasekaran, N. Vatin, and Y. Vasilev, "Production of Greener High-Strength Concrete Using Russian Quartz Sandstone Mine Waste Aggregates," pp. 1-13, 2020.
- [19] M. S. Islam and N. Ghafoori, "Relation of ASR-induced expansion and compressive strength of concrete," *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, vol. 48, no. 12, pp. 4055-4066, 2015, doi: 10.1617/s11527-014-0465-6.
- [20] M. S. Islam, "Performance of Nevada's aggregates in alkali-aggregate reactivity of Portland cement concrete," pp. 1-386, 2010.
- [21] M. S. Mamlouk and J. P. Zaniewski, *Materials for Civil and Construction Engineers*. 2011.
- [22] Pemkab Blora, "Batupasir Kuarsa," pp. 3-5, 2022.
- [23] SNI 7656, "Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal SNI 7656-2012," *Tata cara pemilihan campuran beton normal*, p. 48, 2012.
- [24] Y. Huang, Y. Ding, T. Xie, and D. Fei, "Effect of coarse-aggregate shape on strength of hydraulic concrete," *Structural Concrete*, vol. 22, no. S1, pp. E710-E719, 2021, doi: 10.1002/suco.201900346.