Journal Dynamic sainT
Vol. 11 No. 2, Oktober 2026
E-ISSN : 2722-5364

Pengaruh Penambahan Asam Sitrat sebagai Retarder dan Abu Cangkang Kerang sebagai Substitusi Sebagian Semen terhadap Kuat Tekan Beton

Parea Rusan Rangan[1,*], Bastian A. Ampangallo[1], Diani Bangun[1]

[1] *Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Toraja, Jl. Nusantara No. 12, Makale, Tana Toraja 91811, Indonesia*
corresponding author : parearrangan@ukitoraja.ac.id

ABSTRAK

Kata Kunci:
Asam sitrat
Retarder
Abu cangkang kerang
Substitusi semen
Kuat tekan beton

Kebutuhan beton yang terus meningkat mendorong pemanfaatan limbah sebagai pengganti sebagian semen, sedangkan pengecoran dengan waktu angkut panjang atau cuaca panas memerlukan bahan tambah yang memperlambat pengikatan. Penelitian ini mengkaji pengaruh asam sitrat (*citric acid*) sebagai retarder dan abu cangkang kerang sebagai substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan beton. Cangkang kerang dari Pantai Ujung Suso, Kabupaten Luwu Timur, dibakar pada suhu sekitar 400 °C dan diayak lolos saringan No. 200. Campuran dirancang menurut SNI 7656:2012 untuk kuat tekan rencana 25 MPa dengan lima variasi, yaitu beton normal, asam sitrat 0.2%, serta asam sitrat 0.2% dengan abu cangkang kerang 5%, 6%, dan 7% dari berat semen. Sebanyak 60 silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm diuji pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari. Pada umur 28 hari, kuat tekan beton normal, asam sitrat 0.2%, dan kombinasi dengan abu cangkang kerang 5%, 6%, dan 7% berturut-turut 15.00, 17.17, 14.44, 13.12, dan 12.08 MPa. Asam sitrat 0.2% memberikan kuat tekan tertinggi, 14.5% di atas beton normal, sedangkan substitusi abu cangkang kerang menurunkan kuat tekan seiring bertambahnya kadar dan meningkatkan nilai slump. Seluruh campuran belum mencapai kuat tekan rencana, sehingga rancangan campuran dan pengolahan abu cangkang kerang perlu dievaluasi pada penelitian lanjutan.

Keywords:
Citric acid
Retarder
Seashell ash
Cement replacement
Concrete compressive strength

ABSTRACT

The growing demand for concrete encourages the use of waste as a partial cement replacement, while placements involving long haul times or hot weather require admixtures that delay setting. This study examined the effect of citric acid as a retarder and seashell ash as a partial cement replacement on the compressive strength of concrete. Seashells from Ujung Suso Beach, East Luwu Regency, were burned at about 400 °C and sieved through a No. 200 sieve. Mixtures were designed according to SNI 7656:2012 for a specified strength of 25 MPa in five variations: plain concrete, 0.2% citric acid, and 0.2% citric acid combined with 5%, 6%, and 7% seashell ash by weight of cement. A total of 60 cylinders of 150 mm diameter and 300 mm height were tested at 3, 7, 14, and 28 days. At 28 days, the compressive strengths of plain concrete, 0.2% citric acid, and the combinations with 5%, 6%, and 7% seashell ash were 15.00, 17.17, 14.44, 13.12, and 12.08 MPa, respectively. The 0.2% citric acid mixture gave the highest strength, 14.5% above plain concrete, whereas seashell ash replacement reduced strength as its content increased and raised the slump. None of the mixtures reached the specified strength, so the mix design and the processing of seashell ash should be re-evaluated in further research.

This is an open access article under the CC–BY-SA license.

I. Pendahuluan

Pertumbuhan penduduk dan pembangunan infrastruktur meningkatkan kebutuhan beton, sementara semen sebagai bahan pengikat utamanya diproduksi dari sumber daya alam yang tidak terbarukan. Pemanfaatan limbah sebagai pengganti sebagian semen menjadi salah satu upaya untuk mengurangi konsumsi semen sekaligus

https://doi.org/ 10.47178/p30mh833.

mengurangi limbah. Di lingkungan Universitas Kristen Indonesia Toraja, limbah berbasis kalsium seperti limbah karbit telah dikaji sebagai substitusi sebagian semen [1], dan limbah abu batu bara telah dimanfaatkan sebagai bahan mortar geopolimer [2].

Cangkang kerang merupakan limbah perikanan yang sebagian besar dibuang atau hanya dimanfaatkan untuk kerajinan. Cangkang kerang tersusun terutama atas kalsium karbonat sehingga komposisinya menyerupai batu kapur [3]. Sejumlah penelitian melaporkan bahwa abu cangkang kerang dapat menggantikan sebagian semen dengan kadar optimum yang relatif kecil. Abu cangkang kerang lokan sebesar 5% bersama serat sabut kelapa 0.5% meningkatkan kuat tekan beton sebesar 11.37% terhadap beton normal [4], kadar 5% abu kulit kerang lokan menghasilkan kuat tekan tertinggi 24.77 MPa [5], dan abu cangkang kerang yang dibakar pada suhu 300 °C dengan kadar 5% meningkatkan kuat tekan mortar dari 16.5 MPa menjadi 19.6 MPa [6]. Abu cangkang kerang juga telah dipelajari sebagai pengganti semen maupun pengisi (*filler*) pada beton [7], [8].

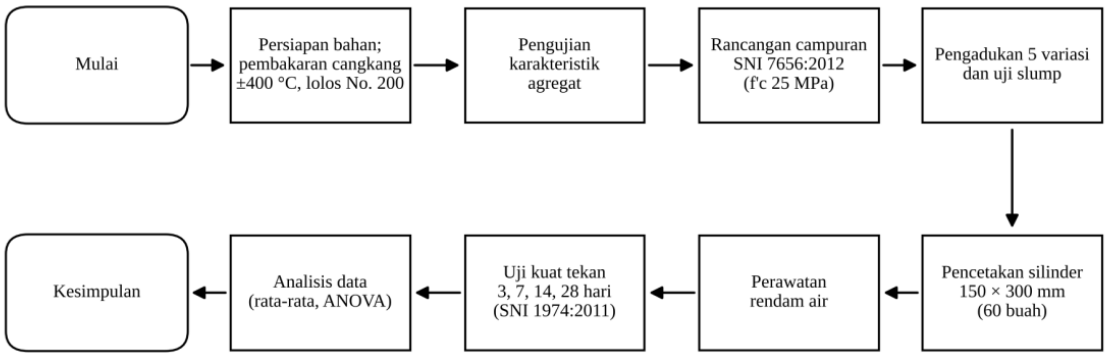
Di sisi lain, pelaksanaan pengecoran sering memerlukan perlambatan pengikatan beton segar, misalnya ketika waktu angkut dari *batching plant* panjang, lalu lintas tidak lancar, pengecoran berlangsung lama, atau cuaca panas. Asam sitrat termasuk asam hidroksi-karboksilat yang dapat digunakan sebagai retarder [9]. Asam sitrat memperlambat hidrasi dengan menghambat pelarutan butir klinker, dan hampir seluruhnya terserap dari larutan pori dalam beberapa jam pertama hidrasi [10]. Penelitian di Indonesia menunjukkan bahwa makin tinggi kadar asam sitrat, makin besar nilai slump dan makin lama waktu pengikatan, tetapi kuat tekan tertinggi diperoleh pada kadar 0.15% [11]; hasil serupa juga dilaporkan oleh [12] dan [13].

Kajian yang menggabungkan asam sitrat sebagai retarder dengan abu cangkang kerang sebagai substitusi semen masih terbatas, padahal keduanya berpotensi digunakan bersamaan pada beton siap pakai berbasis bahan lokal. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh penambahan asam sitrat 0.2% dan substitusi abu cangkang kerang 5%, 6%, dan 7% dari berat semen terhadap kelecakan dan kuat tekan beton pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari.

II. Metode

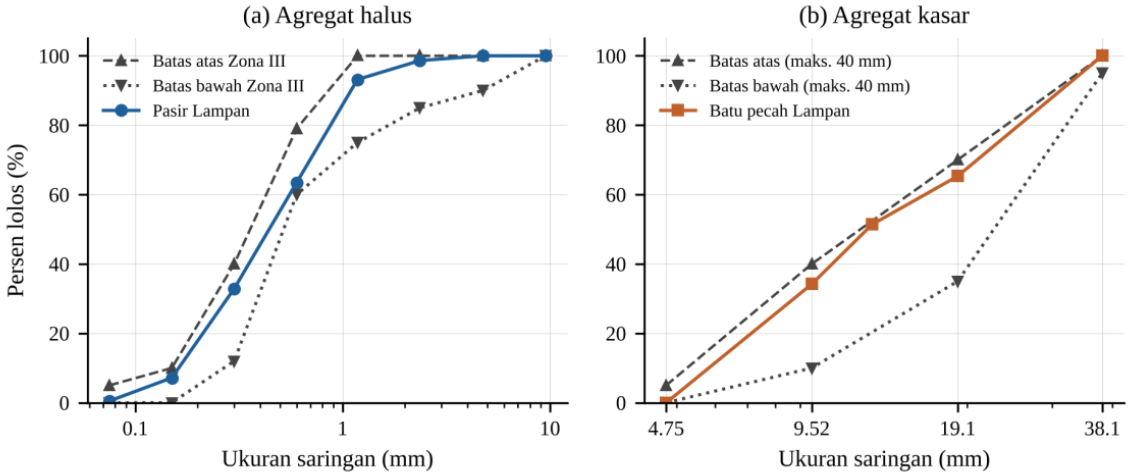
A. Material

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia Toraja dengan tahapan seperti pada Gambar 1. Semen yang digunakan adalah semen Portland produksi Semen Tonasa. Agregat halus berupa pasir alam dan agregat kasar berupa batu pecah, keduanya berasal dari Lampan, sekitar 3 km dari Kota Rantepao, Kabupaten Toraja Utara. Asam sitrat yang digunakan berbentuk serbuk dalam kemasan 50 g. Cangkang kerang diambil dari Pantai Ujung Suso, Desa Mabonta, Kecamatan Burau, Kabupaten Luwu Timur. Cangkang dibersihkan, dibakar pada suhu ±400 °C selama ±1 jam, didinginkan selama ±24 jam, kemudian ditumbuk dan disaring lolos saringan No. 200 untuk menghasilkan abu cangkang kerang (ACK).



Gambar 1. Tahapan penelitian

Hasil pengujian karakteristik agregat disajikan pada Tabel 1. Seluruh parameter fisik agregat memenuhi spesifikasi. Agregat halus termasuk gradasi Zona III (pasir agak halus), sedangkan agregat kasar memenuhi batas gradasi untuk ukuran butir maksimum 40 mm (Gambar 2). Modulus kehalusan pasir dihitung dari persentase tertahan kumulatif pada saringan No. 4 sampai No. 100, yaitu 2.05, nilai yang sesuai dengan kategori pasir agak halus.



Gambar 2. Kurva gradasi agregat: (a) agregat halus terhadap batas Zona III dan (b) agregat kasar terhadap batas butir maksimum 40 mm

Tabel 1. Karakteristik agregat halus dan agregat kasar

Jenis pengujian	Agregat halus	Agregat kasar	Spesifikasi (halus / kasar)
Kadar air (%)	3.58	1.46	0.5–5.0 / 0.2–2.0
Berat isi lepas (kg/L)	1.23	1.32	1.2–1.9
Berat isi padat (kg/L)	1.39	1.52	1.2–1.9
Kadar lumpur (%)	3.11	1.73	0.2–5.0 / 0.2–6.0
Berat jenis curah (bulk)	2.28	2.53	1.6–3.1
Berat jenis SSD	2.37	2.58	1.6–3.1
Berat jenis semu	2.51	2.67	1.6–3.1
Penyerapan air (%)	3.93	2.14	0.2–5.0 / 2.0–7.0
Keausan Los Angeles (%)	–	10.95	maks. 40
Modulus kehalusan	2.05	7.00	–
Gradasi	Zona III	Butir maks. 40 mm	–

B. Rancangan Campuran dan Benda Uji

Campuran beton dirancang menurut SNI 7656:2012 [14] untuk kuat tekan rencana 25 MPa, slump 75–100 mm, dan ukuran butir maksimum agregat 40 mm. Berdasarkan tabel SNI tersebut, kebutuhan air pencampur hasil interpolasi adalah 178.6 kg/m^3 dan rasio air-semen 0.61, sehingga kadar semen 292.79 kg/m^3. Setelah koreksi kadar air agregat, kebutuhan air menjadi 189.12 kg/m^3. ACK menggantikan sebagian berat semen, sedangkan asam sitrat ditambahkan sebesar 0.2% dari berat semen rencana. Proporsi campuran per m^3 disajikan pada Tabel 2, sedangkan parameter rancangan campuran diringkas pada Tabel 3.

Tabel 2. Proporsi campuran beton per m^3

Kode campuran	Semen (kg)	ACK (kg)	Asam sitrat (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Batu pecah (kg)
BN (beton normal)	292.79	0	0	189.12	919.47	1073.37
CA 0.2%	292.79	0	0.59	189.12	919.47	1073.37
CA 0.2% + ACK 5%	278.15	14.64	0.59	189.12	919.47	1073.37
CA 0.2% + ACK 6%	275.22	17.57	0.59	189.12	919.47	1073.37
CA 0.2% + ACK 7%	272.29	20.50	0.59	189.12	919.47	1073.37

Tabel 3. Parameter rancangan campuran beton (SNI 7656:2012)

Parameter	Nilai	Keterangan
Kuat tekan rencana umur 28 hari	25 MPa	Ditetapkan
Slump rencana	75–100 mm	Ditetapkan
Ukuran butir maksimum agregat	40 mm	Hasil analisis saringan
Kebutuhan air pencampur	178.6 kg/m^3	Interpolasi tabel SNI 7656:2012
Kadar udara terperangkap	0.9%	Interpolasi tabel SNI 7656:2012

Rasio air-semen	0.61	Tabel SNI 7656:2012 untuk 25 MPa
Kadar semen	292.79 kg/m^3	178.6 / 0.61
Volume agregat kasar	0.696 m^3/m^3	Modulus kehalusan pasir 3.04 (lihat pembahasan)
Perkiraan berat beton segar	2,417 kg/m^3	Interpolasi tabel SNI 7656:2012
Kebutuhan air setelah koreksi	189.12 kg/m^3	Koreksi kadar air dan penyerapan agregat

Benda uji berupa silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm sebanyak 3 buah untuk setiap variasi dan umur, sehingga berjumlah 60 buah, seperti dirinci pada Tabel 4. Kelecakan beton segar diukur dengan uji slump. Benda uji dirawat dengan perendaman dalam air hingga umur pengujian, kemudian diuji tekan menurut SNI 1974:2011 [15]. Kuat tekan dihitung dengan Persamaan (1).

Tabel 4. Jumlah benda uji silinder

Kode campuran	3 hari	7 hari	14 hari	28 hari	Jumlah
BN	3	3	3	3	12
CA 0.2%	3	3	3	3	12
CA 0.2% + ACK 5%	3	3	3	3	12
CA 0.2% + ACK 6%	3	3	3	3	12
CA 0.2% + ACK 7%	3	3	3	3	12
Total					60

$$f_c' = P / A \qquad (1)$$

dengan P adalah beban maksimum (N) dan A adalah luas penampang silinder (17,662.5 mm^2). Perubahan kuat tekan terhadap beton normal dihitung dengan Persamaan (2).

$$\Delta = (f_{c,var}' - f_{c,BN}') / f_{c,BN}' \times 100\% \qquad (2)$$

Perbedaan rata-rata kuat tekan antarvariasi pada setiap umur diuji dengan analisis varians (ANOVA) satu arah, dilanjutkan uji Tukey HSD pada taraf nyata 5%.

III. Hasil dan Pembahasan

A. Kelecakan Beton Segar

Hasil uji slump disajikan pada Tabel 5. Seluruh campuran berada dalam rentang slump rencana 75–100 mm. Penambahan asam sitrat 0.2% hampir tidak mengubah slump (79 mm menjadi 80 mm), sedangkan substitusi ACK meningkatkan slump menjadi 88–90 mm. Kenaikan slump pada campuran ACK diduga berkaitan dengan berkurangnya jumlah semen yang mengikat air pada awal pencampuran, karena ACK yang dibakar pada suhu rendah bersifat relatif inert [3]. Kecenderungan asam sitrat meningkatkan slump juga dilaporkan pada kadar yang lebih tinggi [11].

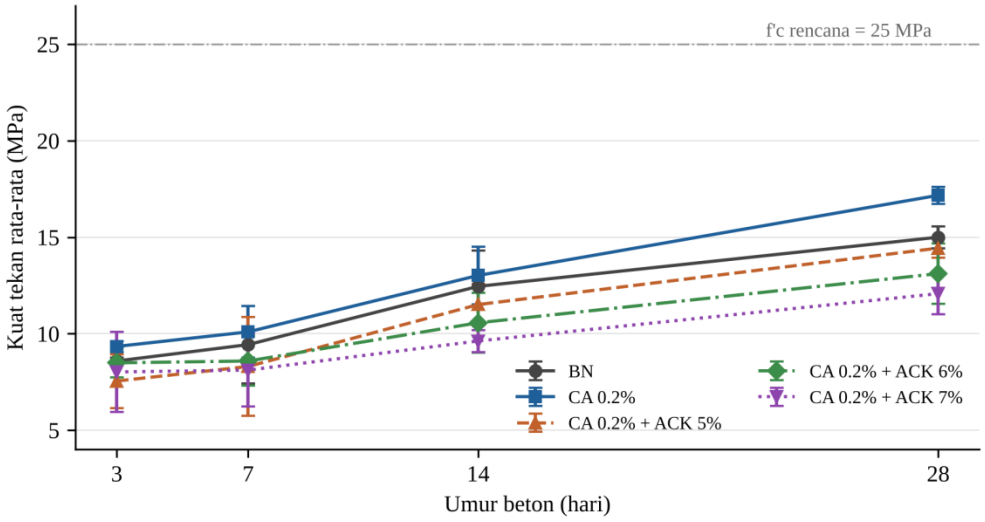
B. Kuat Tekan Beton

Rata-rata kuat tekan setiap variasi disajikan pada Tabel 5 dan perkembangannya terhadap umur ditunjukkan pada Gambar 3. Seluruh variasi mengalami kenaikan kuat tekan seiring bertambahnya umur. Pada umur 28 hari, beton normal mencapai 15.00 MPa, sedangkan beton dengan asam sitrat 0.2% mencapai 17.17 MPa. Kombinasi asam sitrat 0.2% dengan ACK 5%, 6%, dan 7% menghasilkan 14.44, 13.12, dan 12.08 MPa.

Tabel 5. Nilai slump dan kuat tekan rata-rata beton (MPa)

Kode campuran	Slump (mm)	3 hari	7 hari	14 hari	28 hari	Perubahan 28 hari
BN	79	8.59 ± 0.16	9.44 ± 2.01	12.46 ± 1.86	15.00 ± 0.57	–
CA 0.2%	80	9.34 ± 0.28	10.10 ± 1.34	13.02 ± 1.50	17.17 ± 0.43	+14.5%
CA 0.2% + ACK 5%	89	7.55 ± 1.40	8.30 ± 2.55	11.51 ± 1.07	14.44 ± 0.49	−3.8%
CA 0.2% + ACK 6%	88	8.49 ± 0.75	8.59 ± 1.28	10.57 ± 1.56	13.12 ± 1.56	−12.6%
CA 0.2% + ACK 7%	90	8.02 ± 2.09	8.12 ± 1.88	9.62 ± 0.57	12.08 ± 1.07	−19.5%

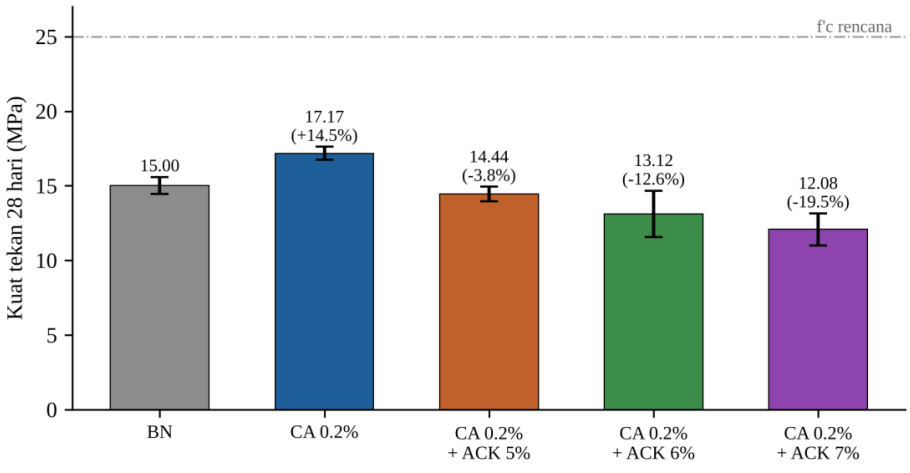
Kuat tekan disajikan sebagai rata-rata ± simpangan baku (n = 3).



Gambar 3. Perkembangan kuat tekan beton terhadap umur

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa perbedaan kuat tekan antarvariasi signifikan pada umur 28 hari ($F = 13.08$; $p < 0.001$), tetapi tidak signifikan pada umur 3 hari ($p = 0.467$), 7 hari ($p = 0.673$), dan 14 hari ($p = 0.074$). Hal ini sejalan dengan simpangan baku yang besar pada umur awal, dengan koefisien variasi mencapai 31% pada umur 7 hari. Uji Tukey pada umur 28 hari menunjukkan bahwa kuat tekan campuran asam sitrat 0.2% berbeda nyata dari ketiga campuran ACK ($p \leq 0.031$), sedangkan selisihnya terhadap beton normal belum signifikan pada uji perbandingan berganda ($p = 0.098$). Campuran ACK 7% berbeda nyata dari beton normal ($p = 0.021$).

Pola perkembangan kekuatan juga berbeda antarvariasi. Rasio kuat tekan umur 3, 7, dan 14 hari terhadap umur 28 hari pada beton normal adalah 57%, 63%, dan 83%, sedangkan pada campuran asam sitrat 0.2% adalah 54%, 59%, dan 76%. Rasio yang lebih rendah ini menunjukkan bahwa campuran asam sitrat memperoleh porsi kenaikan kekuatan yang lebih besar antara umur 14 dan 28 hari, yaitu 4.15 MPa dibandingkan 2.54 MPa pada beton normal. Sebaliknya, campuran ACK 6% dan 7% memiliki rasio umur 3 hari yang lebih tinggi (65% dan 66%) karena kuat tekan akhirnya rendah, bukan karena kekuatan awalnya tinggi. Rasio umur 14 hari seluruh campuran (76–83%) masih berada dalam kisaran yang umum untuk beton semen Portland, sehingga tidak terdapat indikasi bahwa asam sitrat 0.2% menghambat perkembangan kekuatan dalam skala hari.



Gambar 4. Kuat tekan beton umur 28 hari dan perubahannya terhadap beton normal

C. Pengaruh Asam Sitrat

Asam sitrat 0.2% menghasilkan kuat tekan tertinggi pada semua umur pengujian, dengan kenaikan 14.5% (2.17 MPa) terhadap beton normal pada umur 28 hari (Gambar 4). Kuat tekan umur 3 hari campuran ini juga lebih tinggi daripada beton normal (9.34 MPa terhadap 8.59 MPa), sehingga pada dosis tersebut perlambatan hidrasi akibat asam sitrat tidak menurunkan kekuatan awal pada skala hari. Hal ini sesuai dengan mekanisme

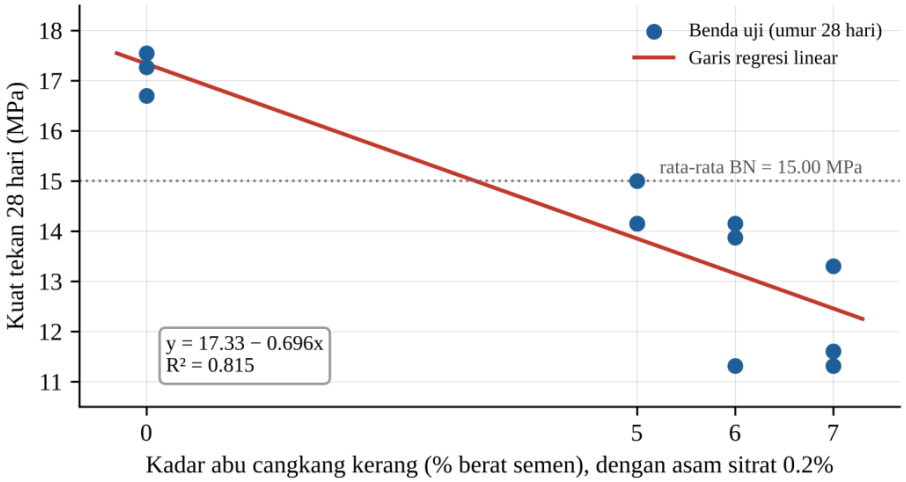
kerja asam sitrat yang hanya menghambat pelarutan klinker pada jam-jam awal hidrasi dan kemudian terserap ke dalam produk hidrasi [10]. Hasil ini juga sejalan dengan penelitian sebelumnya yang memperoleh kuat tekan tertinggi pada kadar asam sitrat rendah, yaitu sekitar 0.15% [11], [12]. Perlu dicatat bahwa waktu pengikatan tidak diukur dalam penelitian ini, sehingga fungsi asam sitrat sebagai retarder pada campuran ini belum dapat dikuantifikasi.

Kenaikan kuat tekan pada dosis rendah diduga berkaitan dengan dua hal. Pertama, hidrasi awal yang lebih lambat memberi kesempatan produk hidrasi tumbuh lebih teratur sehingga struktur pasta yang terbentuk lebih padat. Kedua, ion sitrat yang teradsorpsi pada permukaan butir semen dapat mendispersikan partikel semen sehingga campuran lebih homogen pada kadar air yang sama. Namun, pada kadar yang lebih tinggi, penghambatan hidrasi menjadi berlebihan dan kuat tekan justru menurun, sebagaimana dilaporkan pada kadar 0.30% dan 0.45% [11]. Oleh karena itu, kadar asam sitrat perlu dibatasi dan diverifikasi melalui *trial mix* sesuai kebutuhan waktu kerja di lapangan [9].

D. Pengaruh Abu Cangkang Kerang

Substitusi ACK menurunkan kuat tekan secara konsisten, yaitu 3.8%, 12.6%, dan 19.5% terhadap beton normal untuk kadar 5%, 6%, dan 7%. Jika dibandingkan dengan campuran asam sitrat 0.2% yang menjadi acuan langsungnya, penurunannya lebih besar, yaitu 15.9%, 23.6%, dan 29.6%. Penurunan ini dapat dijelaskan oleh sifat ACK. Penguraian kalsium karbonat menjadi kalsium oksida memerlukan suhu sekitar 700 °C atau lebih, sehingga cangkang yang dibakar pada ±400 °C diperkirakan masih didominasi kalsium karbonat. Dalam kondisi tersebut, ACK berperilaku sebagai bahan pengisi yang relatif inert seperti serbuk batu kapur, bukan sebagai bahan pozolan [3], [7]. Penggantian semen dengan bahan inert mengurangi jumlah produk hidrasi sehingga kuat tekan menurun seiring bertambahnya kadar substitusi. Kadar optimum yang dilaporkan penelitian lain umumnya berada di sekitar 5% atau lebih rendah [4], [5], [6], sejalan dengan temuan bahwa ACK 5% merupakan kadar dengan penurunan paling kecil dalam penelitian ini.

Hubungan antara kadar ACK dan kuat tekan 28 hari pada campuran yang mengandung asam sitrat 0.2% ditunjukkan pada Gambar 5. Regresi linear terhadap seluruh benda uji menghasilkan persamaan $y = 17.33 - 0.696x$ dengan $R^2 = 0.815$, sehingga setiap kenaikan 1% ACK berasosiasi dengan penurunan kuat tekan sekitar 0.70 MPa. Berdasarkan persamaan tersebut, kuat tekan campuran ACK sama dengan beton normal (15.00 MPa) pada kadar sekitar 3.3%. Nilai ini hanya bersifat indikatif karena tidak ada variasi ACK di bawah 5%, tetapi memberikan arah bagi penelitian lanjutan untuk mengkaji kadar ACK yang lebih rendah. Sebaran hasil pada kadar 6% dan 7% yang lebih besar (simpangan baku 1.56 dan 1.07 MPa) juga menunjukkan bahwa keseragaman campuran menurun ketika kadar ACK bertambah.



Gambar 5. Hubungan kadar abu cangkang kerang dengan kuat tekan beton umur 28 hari

Perbandingan dengan penelitian terdahulu disajikan pada Tabel 6. Penelitian sebelumnya umumnya mengkaji asam sitrat dan abu cangkang kerang secara terpisah. Hasil penelitian ini konsisten dengan temuan bahwa asam sitrat pada kadar rendah tidak menurunkan, bahkan meningkatkan, kuat tekan, serta bahwa abu cangkang kerang efektif hanya pada kadar rendah. Perbedaannya, kombinasi ACK hasil pembakaran ±400 °C dengan asam sitrat 0.2% dalam penelitian ini tidak menghasilkan kenaikan kuat tekan pada kadar 5%, yang diduga berkaitan dengan suhu pembakaran dan sifat ACK yang relatif inert.

Tabel 6. Perbandingan dengan penelitian terdahulu

Penelitian	Bahan dan kadar	Kadar terbaik	Hasil utama

Natasha et al. [11]	Asam sitrat 0–0.45%	0.15%	Kuat tekan tertinggi 34.52 MPa; slump dan waktu ikat naik seiring kadar
Purnomo [12]	Asam sitrat 0.15–0.45%	0.15%	Kuat tekan 48.46 MPa
Maulana et al. [4]	Abu kerang lokan 2.5–7.5% dan serat sabut kelapa	5% + serat 0.5%	22.64 MPa (+11.37%)
Arismanto et al. [5]	Abu kulit kerang lokan	5%	24.77 MPa
Pratama dan Firdaus [6]	Abu kerang darah 5–15% (100–300 °C), mortar	5%, 300 °C	19.6 MPa (mortar normal 16.5 MPa)
Penelitian ini	Asam sitrat 0.2% dan ACK 5–7% (±400 °C)	Asam sitrat 0.2% tanpa ACK	17.17 MPa (+14.5%); ACK menurunkan kuat tekan

E. Ketercapaian Kuat Tekan Rencana

Seluruh campuran, termasuk beton normal, belum mencapai kuat tekan rencana 25 MPa; beton normal hanya mencapai 60% dari target. Beberapa faktor diduga berkontribusi. Pertama, rasio air-semen 0.61 dalam SNI 7656:2012 berlaku untuk kuat tekan rata-rata yang ditargetkan, sehingga penggunaannya langsung untuk kuat tekan rencana tanpa nilai tambah (*margin*) menghasilkan target yang terlalu rendah [14]; setelah koreksi kadar air agregat, rasio air-semen efektif menjadi sekitar 0.65. Kedua, modulus kehalusan pasir yang digunakan dalam rancangan campuran (3.04) dihitung dengan menyertakan saringan No. 200, sedangkan nilai menurut definisi baku adalah 2.05 (Tabel 1); hal ini memengaruhi penentuan volume agregat kasar. Ketiga, ukuran butir maksimum 40 mm relatif besar untuk cetakan berdiameter 150 mm sehingga pemadatan manual menjadi kurang efektif, yang juga tercermin pada simpangan baku yang besar pada umur awal. Oleh karena itu, perbandingan relatif antarvariasi dalam penelitian ini lebih bermakna daripada nilai kuat tekan absolutnya.

Dari sisi penerapan, kombinasi kedua bahan ini relevan bagi daerah seperti Toraja yang bergunung-gunung, karena pengangkutan beton segar dari lokasi pencampuran ke lokasi pengecoran sering memerlukan waktu lama melalui jalan yang berkelok dan menanjak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa asam sitrat 0.2% dapat ditambahkan tanpa mengurangi kuat tekan, sehingga berpotensi digunakan untuk memperpanjang waktu kerja beton segar. Sebaliknya, abu cangkang kerang yang diolah seperti dalam penelitian ini belum dapat direkomendasikan sebagai pengganti semen pada beton struktural karena menurunkan kuat tekan. Pemanfaatannya lebih tepat diarahkan pada beton nonstruktural atau digunakan dengan kadar rendah setelah proses pembakarannya diperbaiki, sehingga manfaat lingkungan dari pengurangan limbah cangkang kerang tetap dapat diperoleh tanpa mengorbankan mutu beton.

Penelitian lanjutan disarankan melakukan *trial mix* dengan nilai tambah kuat tekan sesuai standar, menggunakan ukuran butir maksimum agregat yang lebih kecil, mengukur waktu pengikatan untuk mengonfirmasi fungsi asam sitrat sebagai retarder, serta membakar cangkang kerang pada suhu yang lebih tinggi disertai pengujian komposisi kimia ACK.

IV. Kesimpulan

Penambahan asam sitrat 0.2% dari berat semen menghasilkan kuat tekan beton tertinggi pada semua umur, dengan nilai 17.17 MPa pada umur 28 hari atau 14.5% di atas beton normal (15.00 MPa), tanpa mengubah kelecakan secara berarti. Substitusi abu cangkang kerang yang dibakar pada ±400 °C bersama asam sitrat 0.2% meningkatkan slump tetapi menurunkan kuat tekan seiring bertambahnya kadar, yaitu 14.44, 13.12, dan 12.08 MPa untuk kadar 5%, 6%, dan 7%. Perbedaan kuat tekan antarvariasi signifikan pada umur 28 hari. Seluruh campuran belum mencapai kuat tekan rencana 25 MPa, sehingga hasil ini lebih tepat dibaca sebagai perbandingan relatif antarvariasi. Abu cangkang kerang dengan pengolahan seperti dalam penelitian ini disarankan digunakan pada kadar tidak lebih dari 5%.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia Toraja atas fasilitas dan dukungan teknis selama pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

[1] Irianto, P. R. Rangan, E. A. R. Dendo, G. Miri, F. D. Biang, R. R. Matasik, and A. Lumembang, "Studi pengaruh penambahan waterglass dan limbah karbit sebagai substitusi sebagian semen terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah pada beton," *Journal Dynamic Saint*, vol. 8, no. 2, 2023.

[2] P. R. Rangan, E. A. R. Dendo, J. Bokko, and P. A. Mantirri, "Mortar geopolimer abu sekam padi berbahan dasar limbah abu batu bara hasil pembakaran asphalt mixing plant," *Journal Dynamic Saint*, vol. 5, no. 1, 2020.

[3] K. H. Mo, U. J. Alengaram, M. Z. Jumaat, S. C. Lee, W. I. Goh, and C. W. Yuen, "Recycling of seashell waste in concrete: A review," *Construction and Building Materials*, vol. 162, pp. 751–764, 2018.

[4] S. Maulana, D. F. Manalu, and I. Gunawan, "Pengaruh substitusi semen dengan abu cangkang kerang lokan (Geloina expansa) dan penambahan serat sabut kelapa terhadap kuat tekan beton," *Jurnal Fropil*, vol. 5, no. 2, pp. 108–123, 2017.

[5] A. Arismanto, C. Nasfryzal, and Z. Edwina, "Pengaruh penambahan abu kulit kerang lokan (Geloina expansa) terhadap kuat tekan beton," Universitas Bung Hatta, Padang, 2021.

[6] D. Pratama and F. Firdaus, "Pengaruh suhu pembakaran kulit kerang darah sebagai bahan substitusi semen untuk meningkatkan kuat tekan mortar beton," *Bina Darma Conference on Engineering Science*, vol. 4, no. 2, pp. 231–241, 2022.

[7] N. H. Othman, B. H. Abu Bakar, M. M. Don, and M. A. M. Johari, "Cockle shell ash replacement for cement and filler in concrete," *Malaysian Journal of Civil Engineering*, vol. 25, no. 2, pp. 200–211, 2013.

[8] E. Samsurizal and A. Supriyadi, "Pengaruh tambahan cangkang kerang terhadap kuat beton," *JeLAST: Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, vol. 2, no. 2, 2016.

[9] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *Surat Edaran Menteri PUPR Nomor 22/SE/M/2015 tentang Pedoman Penggunaan Bahan Tambah Kimia (Chemical Admixture) dalam Beton*. Jakarta: Kementerian PUPR, 2015.

[10] G. Möschner, B. Lothenbach, R. Figi, and R. Kretzschmar, "Influence of citric acid on the hydration of Portland cement," *Cement and Concrete Research*, vol. 39, no. 4, pp. 275–282, 2009, doi: 10.1016/j.cemconres.2009.01.005.

[11] P. A. Natasha, F. Y. P. Tyassena, and F. Junianti, "Pengaruh konsentrasi asam sitrat sebagai retarder terhadap kualitas beton," in *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri IX*, vol. 1, pp. 155–160, 2022.

[12] J. Purnomo, "Pengaruh penggunaan citric acid sebagai retarder pada beton terhadap waktu ikat awal semen, kelecakan beton segar, dan kuat tekan beton," Suplemen Bahan Ajar Mata Kuliah Teknologi Beton, 2018.

[13] W. Indrawan and M. Solikin, "Analisis pemakaian gula pasir, citric acid dan baking powder sebagai retarder beton," Skripsi, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2022.

[14] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 7656:2012: Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa*. Jakarta: BSN, 2012.

[15] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1974:2011: Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Jakarta: BSN, 2011.