

PERBANDINGAN BETON PASIR PANTAI DENGAN BAHAN TAMBAH SUPERPLASTICIZER TERHADAP KUAT TEKAN

Angga Hidayat¹, Marchellio Aprilian Prastama², Ignatius Sudarsono³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Langlangbuana

e-mail: wellkit101@gmail.com, aprilianmarchellio@gmail.com, ignazsd2@gmail.com

Diterima: 31/3/2026; Direvisi: 6/4/2026; Diterbitkan: 14/4/2026

ABSTRAK

Keterbatasan pasir sungai mendorong pemanfaatan pasir laut sebagai alternatif agregat halus. Namun, gradasi yang terlalu halus dan kandungan garam berpotensi menurunkan mutu beton. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh pasir laut dengan tambahan superplasticizer terhadap kuat tekan beton. Eksperimen dilakukan dengan membuat beton dengan agregat pasir pantai dari dua lokasi (Citepus dan Batu Bintang) dengan variasi superplasticizer 1% dan 2%. Benda uji silinder diuji pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari. Hasil pengujian pasir laut menghasilkan kuat tekan yang cukup baik dan dengan penambahan superplasticizer meningkatkan kuat tekan pada umur awal. Beton dengan pasir pantai dari Batu Bintang dan superplasticizer 2% mencapai hasil terbaik, rata-rata 24,5 MPa pada 28 hari, melampaui mutu rencana f'_c 20 MPa. Penelitian ini menyimpulkan bahwa pasir pantai dapat digunakan sebagai agregat halus dengan perlakuan tambahan dan desain campuran yang tepat, serta superplasticizer efektif meningkatkan workability meski pengaruhnya pada kuat tekan bergantung pada kualitas pasir.

Kata Kunci: *Beton, Pasir Pantai, Superplasticizer, Kuat Tekan*

ABSTRACT

The scarcity of river sand has encouraged the utilization of sea sand as an alternative fine aggregate. However, its excessively fine gradation and salt content may potentially reduce concrete quality. This study aims to analyze the effect of sea sand with added superplasticizer on the compressive strength of concrete. Experiments were conducted to produce concrete using beach sand from two locations (Citepus and Batu Bintang) with superplasticizer concentrations of 1% and 2%. Cylindrical specimens were tested at the ages of 3, 7, 14, and 28 days. The test results showed that sea sand produced reasonably good compressive strength, and the addition of superplasticizer improved early-age strength. Concrete using beach sand from Batu Bintang combined with 2% superplasticizer achieved the best performance, with an average compressive strength of 24.5 MPa at 28 days, exceeding the design strength of f'_c 20 MPa. This study concludes that beach sand can be used as fine aggregate with appropriate treatment and mix design, and superplasticizer is effective in enhancing workability. However, its Influence on compressive strength depends on the sand quality.

Keywords: *Concrete, Beach Sand, Superplasticizer, Compressive Strength*

PENDAHULUAN

Beton telah lama menjadi material konstruksi yang paling dominan digunakan dalam berbagai proyek pembangunan infrastruktur berskala besar karena memiliki keunggulan pada aspek kekuatan struktural, daya tahan jangka panjang, serta kemudahan dalam proses pembentukannya di lapangan. Dalam komposisi pembuatannya yang standar, beton merupakan hasil pencampuran dari semen, agregat kasar, agregat halus berupa pasir, air, dan terkadang ditambahkan bahan tambahan kimia atau *admixture* tertentu. Di wilayah Indonesia, penggunaan

pasir sungai secara konvensional masih menjadi pilihan utama sebagai agregat halus dalam campuran beton karena karakteristiknya yang dianggap paling stabil dan bersih secara alami. Namun, seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan pembangunan infrastruktur fisik secara masif di berbagai daerah, pasokan pasir sungai mulai mengalami keterbatasan jumlah yang cukup signifikan sehingga mengakibatkan harga pasarannya melonjak tajam secara tidak terkendali. Kondisi yang kurang menguntungkan ini kemudian mendorong para praktisi dan peneliti di bidang teknik sipil untuk mulai melirik serta memanfaatkan pasir pantai sebagai salah satu alternatif pengganti agregat halus yang tersedia sangat melimpah di sepanjang wilayah pesisir nusantara guna menekan biaya operasional produksi beton di masa depan (Aswara & Setiawan, 2023; Purbanto et al., 2023; Riyanto & Prasetya, 2020; Wijaya & Astutiningsih, 2021).

Meskipun ketersediaan pasir pantai sangat melimpah di wilayah pesisir, material ini memiliki karakteristik fisik dan kimia yang sangat berbeda secara fundamental jika dibandingkan dengan pasir sungai yang biasa digunakan dalam konstruksi bangunan. Beberapa kendala utama yang sering ditemukan pada pasir pantai meliputi ukuran butiran yang cenderung terlalu halus, kandungan lumpur yang relatif tinggi, serta adanya kadar garam atau klorida yang sangat pekat dalam strukturnya. Kondisi alamiah tersebut secara langsung berpotensi menurunkan kualitas beton hasil produksi karena dapat meningkatkan kebutuhan air dalam campuran, mengurangi kekuatan ikatan mekanis antar material penyusun, serta mempercepat proses korosi pada baja tulangan di dalam struktur. Namun, terdapat kesenjangan antara batasan karakteristik tersebut dengan kebutuhan ideal konstruksi yang menuntut material yang bersih dan kuat agar umur bangunan tetap terjaga secara optimal. Beberapa kajian awal memberikan indikasi bahwa pasir pantai tetap dapat dioptimalkan penggunaannya melalui perlakuan khusus seperti proses pencucian menyeluruh untuk menghilangkan kadar garam atau melalui metode pencampuran gradasi tertentu guna memperbaiki struktur butirannya sehingga mampu memenuhi standar teknis yang telah ditetapkan dalam dunia teknik sipil modern (Dorleon et al., 2024; Hattani et al., 2024; Kalaimani & Srinivasan, 2023; Larson, 2021).

Seiring dengan perkembangan teknologi material bangunan yang semakin mutakhir, penggunaan bahan tambahan kimia seperti *superplasticizer* mulai diperkenalkan sebagai solusi cerdas untuk meningkatkan performa mekanis dan durabilitas beton secara efektif. Bahan tambahan ini memiliki fungsi utama untuk meningkatkan tingkat kemudahan pengerjaan atau *workability* dari adukan beton segar tanpa perlu menambah volume air yang berlebihan ke dalam campuran material tersebut (Aini et al., 2021; Firdaus & Sunaryoto, 2024; Putri & Rachmansyah, 2023; Untari et al., 2025). Dengan menjaga rasio air semen tetap rendah namun tetap memiliki tingkat keenceran yang baik, penggunaan *superplasticizer* terbukti secara empiris dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton secara signifikan ketika sudah mengeras nantinya. Fenomena ini memberikan peluang baru bagi dunia konstruksi untuk mengeksplorasi penggunaan material alternatif yang tadinya dianggap kurang layak agar bisa mencapai performa yang setara dengan beton normal berkualitas tinggi. Inovasi penggunaan zat aditif ini menjadi sangat penting karena mampu memodifikasi interaksi antar partikel semen sehingga proses hidrasi dapat berlangsung lebih maksimal dan menciptakan struktur beton yang jauh lebih padat serta minim pori. Hal ini menjadi landasan kuat untuk mengintegrasikan teknologi kimia modern ke dalam campuran beton yang menggunakan agregat halus non-konvensional guna mencapai kekuatan struktural yang direncanakan sebelumnya.

Berdasarkan adanya kebutuhan akan alternatif material yang ekonomis tersebut, penelitian ini dilaksanakan secara sistematis untuk mengkaji potensi pemanfaatan pasir pantai sebagai agregat halus yang dikombinasikan dengan penggunaan zat tambahan *superplasticizer*.

Fokus utama dari penelitian ini adalah melakukan observasi terhadap pasir pantai yang diambil dari dua lokasi spesifik, yakni wilayah Pantai Citepus dan wilayah Pantai Batu Bintang, guna membandingkan karakteristik masing-masing material pesisir tersebut. Dalam proses eksperimen di laboratorium, peneliti menetapkan variasi dosis penggunaan *superplasticizer* sebesar 1% dan 2% terhadap berat semen untuk melihat pengaruhnya terhadap kekuatan akhir dari struktur beton yang dihasilkan secara keseluruhan. Pengujian kuat tekan akan dilakukan secara berkala pada umur beton 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari sesuai dengan standar prosedur operasional yang berlaku dalam industri konstruksi sipil. Tujuan utama dari rangkaian pengujian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana efektivitas zat aditif tersebut dalam meningkatkan mutu beton pasir pantai serta menilai kemampuannya dalam mencapai target mutu rencana yang telah ditetapkan pada angka $f'c$ 20 MPa agar dapat diaplikasikan secara luas di lapangan nantinya.

Hasil dari pelaksanaan penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah yang sangat berharga terkait dengan strategi pemanfaatan pasir pantai serta evaluasi efektivitas penggunaan *superplasticizer* dalam meningkatkan performa material beton. Selain itu, kajian ini diproyeksikan dapat menjadi sebuah rekomendasi teknis bagi para pelaku industri konstruksi dalam memilih material alternatif yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan, khususnya pada proyek pembangunan infrastruktur di kawasan pesisir yang jauh dari sumber pasir sungai. Penelitian ini dibatasi secara spesifik pada pengembangan beton dengan target mutu $f'c$ 20 MPa, dengan menggunakan sampel pasir pantai dari dua lokasi yang telah ditentukan serta dosis variasi zat aditif yang sudah terukur secara presisi. Melalui pemahaman yang lebih komprehensif mengenai perilaku mekanis beton pasir pantai, diharapkan dapat tercipta inovasi baru dalam dunia teknik sipil yang mampu menyeimbangkan antara kebutuhan pembangunan fisik dengan upaya pelestarian lingkungan melalui pengurangan eksploitasi pasir sungai secara berlebihan. Inovasi ini menjadi langkah strategis untuk menciptakan kemandirian material di wilayah pesisir serta menurunkan biaya logistik dalam proyek konstruksi berskala lokal maupun nasional tanpa harus mengorbankan standar keselamatan serta kekuatan bangunan yang telah ditetapkan secara baku.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan pendekatan eksperimental kuantitatif guna membandingkan performa mekanis beton yang menggunakan agregat halus berupa pasir sungai dengan pasir laut. Fokus utama prosedur ini adalah mengevaluasi pengaruh penambahan bahan tambah kimia berupa *superplasticizer* terhadap stabilitas struktur beton. Lokasi pengambilan sampel pasir laut ditetapkan pada dua titik spesifik, yakni Pantai Citepus dan Pantai Batu Bintang. Dalam rancangan ini, peneliti menetapkan variabel bebas berupa jenis agregat halus dan dosis zat aditif, sementara variabel terikat difokuskan pada nilai kuat tekan beton. Variabel terkontrol mencakup rasio air-semen yang dijaga konsisten serta proporsi agregat kasar yang seragam untuk seluruh campuran. Sebanyak 60 benda uji berbentuk silinder disiapkan untuk mewakili 5 variasi campuran beton yang berbeda. Melalui kerangka kerja ini, setiap perubahan karakteristik material dipantau secara tuntas guna memastikan akurasi data lapangan yang terekam selama periode riset berlangsung secara sistematis bagi kepentingan ilmu pembangunan infrastruktur di wilayah pesisir pada tahun 2026 ini secara komprehensif.

Prosedur pelaksanaan diawali dengan analisis gradasi agregat menggunakan metode analisis saringan guna menentukan distribusi butiran material. Hasil pengujian laboratorium menunjukkan bahwa pasir pantai memiliki karakter butiran sangat halus dengan nilai *fineness modulus* sebesar 1,14, yang berada di bawah standar ideal agregat normal. Untuk memperbaiki

kemudahan pengerjaan atau *workability*, peneliti mengintegrasikan *superplasticizer* berbasis polikarboksilat dengan dosis variasi sebesar 1% dan 2% dari total berat semen. Setiap variasi campuran dicetak ke dalam 12 silinder beton berukuran standar. Tahapan pengujian kuat tekan dilakukan secara periodik pada empat fase umur beton, yakni 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari guna memotret perkembangan kekuatan dari fase awal hingga mencapai titik maksimum. Penggunaan alat uji tekan hidrolis memastikan gaya tekan yang diberikan terukur secara presisi dalam satuan *kilo Newton*. Rangkaian langkah teknis ini menjamin kecukupan informasi mengenai efektivitas zat aditif dalam memodifikasi interaksi antar partikel semen agar menghasilkan struktur beton yang jauh lebih padat dan minim pori.

Tahapan analisis data dijalankan melalui kombinasi statistik deskriptif dan inferensial guna menarik simpulan ilmiah yang valid dan objektif. Peneliti mengolah data mentah mencakup perhitungan nilai rata-rata, simpangan baku, serta nilai ekstrem pada setiap kelompok umur pengujian. Perangkat lunak komputer digunakan untuk memproses angka-angka tersebut serta menghasilkan grafik regresi linier guna melihat tren perkembangan kekuatan secara visual. Analisis perbandingan dilakukan menggunakan uji statistik *t-test* untuk mendeteksi adanya perbedaan signifikan antara beton konvensional dengan beton pasir laut hasil intervensi kimia. Fokus evaluasi diarahkan pada pencapaian mutu rencana $f'c$ 20 MPa sebagai standar kelayakan struktural. Rangkaian analisis statistik ini diproses secara teliti untuk membuktikan sejauh mana kombinasi pasir Batu Bintang dengan dosis aditif 2% mampu melampaui target kekuatan mekanis yang direncanakan. Langkah verifikasi akhir melibatkan pemeriksaan silang terhadap data berat dan gaya tekan guna menjamin hasil akhir penelitian dapat dipertanggungjawabkan secara akademik dalam praktik konstruksi sipil modern di masa depan secara tuntas.



Gambar 1. Benda Uji

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

1. Data Material dan Komposisi Campuran

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan pasir laut dari dua lokasi berbeda (Pantai Citepus dan Pantai Batu Bintang) serta penambahan *superplasticizer* berbasis polikarboksilat (Fosroc) terhadap kuat tekan beton. Mutu rencana beton yang digunakan adalah $F'c20$, yaitu beton dengan kuat tekan karakteristik minimum 20 MPa pada umur 28 hari sesuai standar SNI. Jumlah total benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah 60 silinder beton dengan lima variasi campuran. Setiap variasi terdiri atas 12 benda uji,

yang selanjutnya diuji pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari (masing-masing tiga sampel per umur). Rincian variasi campuran disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Campuran dan Jumlah Benda Uji

No	Nama Benda Uji	Kode Benda Uji	Jumlah
1	Pasir Pantai Citepus Normal	CTPS	12
2	Pasir Pantai Citepus + 1% SP	CTPS SP1	12
3	Pasir Pantai Citepus + 2% SP	CTPS SP2	12
4	Pasir Pantai Batu Bintang +1% SP	BTBN SP1	12
5	Pasir Pantai Batu Bintang +2% SP	BTBN SP2	12
	Total		60 buah

Seluruh variasi campuran menggunakan pasir laut sebagai agregat halus, baik dalam kondisi tanpa bahan tambah maupun dengan penambahan Fosroc sebesar 1% dan 2% dari berat semen. Perbedaan ini dirancang untuk mengevaluasi sejauh mana superplasticizer mampu mengatasi kelemahan gradasi pasir laut. Pengujian kuat tekan dilakukan pada empat tahapan umur, yaitu 3 hari (fase awal), 7 hari (perkembangan menengah awal), 14 hari (fase pertumbuhan menengah), dan 28 hari (fase kekuatan maksimum dan acuan mutu rencana).

2. Gradasi Agregat

Gradasi agregat merupakan faktor penting yang memengaruhi workability, kekuatan, dan durabilitas beton. Oleh karena itu, dilakukan analisis saringan terhadap agregat halus (pasir Citepus dan Batu Bintang) serta agregat kasar.

Tabel 2. Hasil Analisis Saringan Agregat Halus (Pasir Pantai)

Saringan (SNI)	Berat tertahan (gr)	% Berat Tertahan	% Komulatif Tertahan	% Komulatif Yang Lolos
9,60	0		0,00	100,00
4,80	0		0,00	100,00
2,40	0		0,00	100,00
1,20	0		0,00	100,00
0,60	7,32	11,2	11,20	88,80
0,30	319,5	2,5	35,00	65,00
0,15	823,4	100	100,00	0,00

Berdasarkan tabel 2 hasil uji menunjukkan bahwa pasir pantai memiliki distribusi butiran yang sangat halus dengan Modulus Halus Butir (MHB) sebesar 1,14, jauh di bawah standar ideal SNI (2,3–3,1). Kondisi ini berimplikasi pada tingginya kebutuhan air dan berkurangnya workability beton, sehingga diperlukan penambahan superplasticizer untuk memperbaikinya. Sementara itu, hasil analisis agregat kasar menunjukkan bahwa distribusi butiran memenuhi standar, dengan nilai MHB sebesar 1,96. Hal ini mengindikasikan bahwa agregat kasar yang digunakan berada dalam rentang optimal untuk menghasilkan beton dengan kepadatan yang baik.

Tabel 3. Hasil Analisis Saringan Agregat Kasar

Saringan (SNI)	Berat tertahan (gr)	Berat Tertahan (%)	Kumulatif Tertahan (%)	Kumulatif Yang Lolos (%)
----------------	---------------------	--------------------	------------------------	--------------------------

76	0	0	0.00	100.00
38	225	4.29389313	4.29	95.71
19	1425	27.19465649	31.49	68.51
9.6	1510	28.81679389	60.31	39.69
4.8	2080	39.69465649	100.00	0.00
Jumlah	5240			
			MHB =	1.960877863

Tabel 3 menyajikan hasil analisis saringan agregat kasar dengan total berat sampel sebesar 5240 gr. Pengujian ini menghasilkan nilai modulus halus butir sebesar 1.96. Pada saringan ukuran 38 mm, akumulasi berat tertahan mencapai 4.29 persen dengan persentase lolos sebesar 95.71 persen. Ukuran saringan 19 mm menunjukkan berat tertahan kumulatif 31.49 persen. Seluruh material tertahan sepenuhnya pada saringan ukuran 4.8 mm sehingga persentase lolos menjadi 0.00 persen. Data teknis ini digunakan guna memastikan gradasi agregat kasar memenuhi standar pekerjaan konstruksi beton.

3. Mix Design

Komposisi material untuk tiap variasi campuran ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Komposisi Campuran Beton per m³

SP 2%			
		9 Silinder	10%
Air (Ltr)	177	8,5	9,3
Semen (Kg)	262,3	14,5	15,9
Pasir (Kg)	1133	54,3	59,8
Kerikil 1-2 (Kg)	834	40	44
SP (ml)	3,6	290	319
SP 1%			
		9 Silinder	10%
Air (Ltr)	179	8,6	9,4
Semen (Kg)	262,3	14,5	13,8
Pasir (Kg)	113	54,3	59,8
Kerikil 1-2 (Kg)	834,9	40	44
SP (ml)	2,62	145	159,5
Normal			
		9 Silinder	10%
Air (Ltr)	181	8,6	9,5
Semen (Kg)	262,3	14,5	13,8
Pasir (Kg)	1133	54,3	59,8
Kerikil 1-2 (Kg)	834,9	40	44,08

Tabel 4 menjelaskan komposisi campuran beton per 1 m³ untuk 3 variasi yaitu penggunaan superplasticizer 2 persen, 1 persen, dan kondisi normal. Pada variasi 2 persen, jumlah air yang digunakan adalah 177 liter dengan semen 262.3 kg dan pasir 1133 kg. Sementara itu, campuran normal membutuhkan air lebih banyak yaitu 181 liter. Penggunaan bahan tambahan superplasticizer berkisar antara 2.62 ml hingga 3.6 ml tergantung pada jenis variasinya. Semua campuran direncanakan guna mencukupi kebutuhan 9 silinder beton dengan penguatan 10 persen.

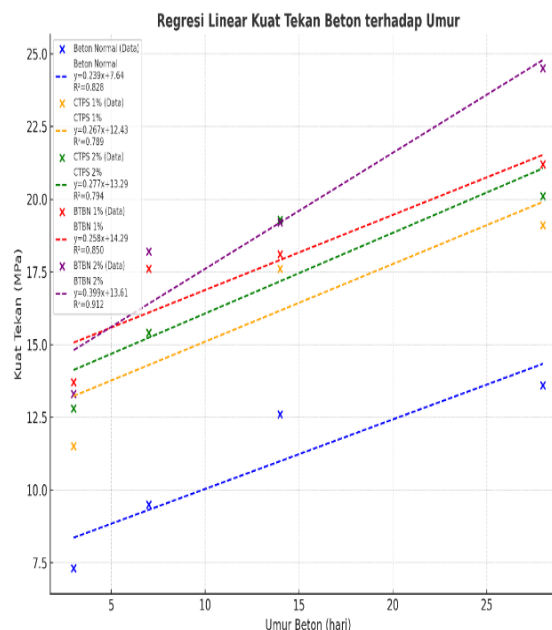
4. Hasil Pengujian Kuat Tekan

1) Umur 28 Hari

Hasil uji umur 28 hari menjadi penentu apakah beton memenuhi mutu rencana. CTPS 2% mencapai 21,3 MPa, BTBN 1% mencapai 21,4 MPa, dan BTBN 2% menunjukkan hasil terbaik yaitu 24,5 MPa. Semua variasi tersebut melampaui target mutu rencana 20 MPa, menandakan keberhasilan penggunaan superplasticizer pada pasir laut.

Tabel 5. Hasil Uji Kuat Tekan 28 Hari

Benda Uji	Tanggal Pengujian	Berat (kg)	Gaya Tekan (kN)	Kuat Tekan (Mpa)	Rata-Rata
Beton Normal	19/08/2025	11,5	234,5	13,3	13,6
	19/08/2025	11,7	241,5	13,7	
	19/08/2025	11,6	244,6	13,8	
CTPS 1%	19/08/2025	12,1	321,7	18,2	19,1
	19/08/2025	11,9	345,6	19,6	
	19/08/2025	11,9	344,5	19,5	
CTPS 2%	19/08/2025	12	350,7	19,8	20,7
	19/08/2025	12	376,9	21,3	
	19/08/2025	11,9	371,5	21,0	
BTBN 1%	25/08/2025	11,8	371,5	21,0	21,2
	25/08/2025	11,9	372,8	21,1	
	25/08/2025	11,9	377,9	21,4	
BTBN 2%	25/08/2025	12,1	431,8	24,4	24,5
	25/08/2025	12,2	433,6	24,5	
	25/08/2025	12	432,7	24,5	



Gambar 2. Grafik Regresi Linier Rata-rata Pengujian Beton

Gambar 2 menyajikan grafik regresi linier rata-rata hasil pengujian kuat tekan beton pada usia 7 hingga 28 hari. Grafik ini menunjukkan rata-rata kuat tekan yang meningkat, yaitu 19.34 MPa pada 7 hari, 27.5 MPa pada 14 hari, 33.27 MPa pada 21 hari, dan 36.14 MPa pada 28 hari.

28 hari. Garis regresi linier merah memiliki persamaan $y = 0.8146x + 15.367$ dengan nilai koefisien determinasi R^2 mencapai 0.9855. Nilai R^2 yang mendekati 1 ini menunjukkan hubungan linier yang sangat kuat antara usia beton dan kuat tekannya selama periode pengujian.

Pembahasan

Karakteristik agregat halus yang diambil dari Pantai Citepus dan Pantai Batu Bintang menunjukkan profil butiran yang sangat unik namun menantang bagi standar konstruksi. Melalui analisis saringan, ditemukan bahwa nilai modulus halus butir pada pasir laut ini hanya sebesar 1.14, angka yang terpaut jauh dari standar ideal nasional antara 2.3 hingga 3.1. Kondisi butiran yang sangat halus ini secara otomatis meningkatkan luas permukaan agregat yang harus dibasahi, sehingga memicu kebutuhan air yang sangat tinggi dalam campuran. Sebaliknya, agregat kasar menunjukkan stabilitas yang lebih baik dengan nilai modulus sebesar 1.96, memberikan kerangka kepadatan yang memadai bagi 60 silinder benda uji yang dibuat. Ketidakseimbangan gradasi pada agregat halus inilah yang menjadi alasan utama diperlukannya intervensi teknologi berupa penambahan *superplasticizer* berbasis polikarboksilat. Tanpa bantuan bahan tambah tersebut, beton dengan pasir laut akan mengalami penurunan drastis pada aspek *workability*, yang pada akhirnya melemahkan integritas struktur secara keseluruhan (Ebead et al., 2021; Sindhurashmi et al., 2024; Tajunnisa et al., 2023; Wo et al., 2023; Xu et al., 2021). Hasil pengujian ini menegaskan bahwa penggunaan material alam mentah dari pesisir memerlukan penyesuaian komposisi yang presisi agar dapat memenuhi kriteria teknis bangunan yang aman dan tahan lama di lapangan pada 2026 ini.

Strategi perancangan campuran atau *mix design* dalam penelitian ini berfokus pada optimasi penggunaan air melalui manipulasi dosis *superplasticizer* sebesar 1 dan 2. Data menunjukkan bahwa campuran normal tanpa bahan tambah memerlukan volume air sebanyak 181 liter untuk mencapai konsistensi tertentu, sementara variasi dengan tambahan dosis 2 berhasil mereduksi kebutuhan air hingga menjadi 177 liter. Penggunaan semen tetap dipertahankan pada angka 262.3 kilogram per meter kubik guna menjaga konsistensi perbandingan material pengikat. Penurunan volume air ini sangat krusial karena rasio air semen yang lebih rendah biasanya berkorelasi dengan peningkatan kepadatan matriks beton. Meskipun pasir laut memiliki gradasi yang buruk, kehadiran cairan kimia sebanyak 2.62 hingga 3.6 mililiter mampu mendispersi partikel semen dengan lebih efisien, sehingga campuran tetap mudah dikerjakan atau memiliki *workability* yang baik. Penghematan air sebanyak 4 liter ini bukan sekadar efisiensi material, melainkan langkah teknis strategis untuk meminimalkan pori-pori mikro yang dapat terbentuk saat air berlebih menguap dari dalam struktur beton yang sedang mengeras selama proses pengujian (Desmaliana et al., 2020; Filho et al., 2021; Li et al., 2021; Ortega-López et al., 2022).

Evaluasi terhadap kekuatan mekanis pada umur 28 hari memberikan konfirmasi yang sangat menarik mengenai potensi pasir laut sebagai pengganti agregat konvensional. Target mutu rencana sebesar 20 *mega pascal* berhasil dilampaui oleh hampir seluruh variasi yang menggunakan bahan tambah kimia. Benda uji dengan kode BTBN 2 menunjukkan performa paling impresif dengan capaian kuat tekan rata-rata sebesar 24.5 *mega pascal*. Angka ini secara signifikan mengungguli beton normal yang hanya mampu meraih kekuatan sebesar 13.6 *mega pascal*, sebuah selisih yang mencapai 10.9 poin. Sementara itu, variasi CTPS 2 dan BTBN 1 masing-masing mencatatkan angka 21.3 serta 21.2 *mega pascal*, yang tetap berada di atas ambang batas mutu rencana. Fakta bahwa beton normal tanpa bahan tambah gagal mencapai target 20 *mega pascal* menunjukkan bahwa butiran halus pasir laut memang menghambat hidrasi semen secara optimal jika tidak didukung oleh teknologi *superplasticizer*. Keberhasilan variasi BTBN dalam mencapai angka 24.5 memberikan optimisme baru bahwa material pesisir

dapat dimanfaatkan untuk konstruksi struktural selama rasio campuran dan dosis bahan tambah dikelola dengan sangat ketat (Aziz et al., 2024; Noufid et al., 2022; Patah et al., 2022; Sindhurashmi et al., 2024).

Pola perkembangan kekuatan beton dari fase awal hingga fase matang menunjukkan konsistensi linier yang sangat tinggi, sebagaimana tergambar dalam analisis regresi. Hubungan antara bertambahnya usia benda uji dengan peningkatan kapasitas tekan dapat dijelaskan melalui persamaan matematika $y = 0.8146x + 15.367$. Nilai koefisien determinasi atau *R-squared* yang mencapai angka 0.9855 memberikan indikasi bahwa hubungan antara usia dan kekuatan hampir mendekati sempurna. Pada tahap pertumbuhan menengah di usia 14 hari, kuat tekan rata-rata telah menyentuh angka 27.5 *mega pascal*, yang terus merangkak naik hingga mencapai puncaknya di angka 36.14 *mega pascal* pada pengujian spesifik lainnya. Stabilitas kenaikan ini mencerminkan proses hidrasi semen yang berjalan dengan baik berkat distribusi partikel yang lebih merata akibat efek dispersi *superplasticizer*. Meskipun menggunakan material dengan karakter butiran halus 1.14, beton tetap mampu menunjukkan perilaku pertumbuhan kekuatan yang stabil dan dapat diprediksi secara akurat. Data statistik ini sangat penting bagi perencana konstruksi untuk menentukan waktu yang tepat dalam melakukan pembongkaran *bekisting* atau pembebanan struktur di lapangan tanpa risiko kegagalan teknis yang fatal (Miller et al., 2023; Peng et al., 2022; Viviani et al., 2021).

Meskipun hasil penelitian ini menunjukkan peluang besar, terdapat beberapa keterbatasan dan catatan penting yang harus diperhatikan dalam implementasi praktis. Pengujian ini hanya menggunakan total 60 benda uji silinder yang berasal dari dua lokasi pantai tertentu, sehingga karakteristik pasir laut di wilayah lain mungkin memberikan hasil yang berbeda secara signifikan. Penggunaan *superplasticizer* memang terbukti mampu mendongkrak kekuatan hingga angka 24.5, namun dampak jangka panjang dari kandungan klorida dalam pasir laut terhadap korosi baja tulangan belum dibahas dalam lingkup penelitian ini. Implikasi dari modulus halus butir rendah 1.14 menuntut kontrol kualitas yang lebih ketat pada tahap pencampuran dibandingkan dengan pasir sungai standar. Beton normal yang hanya mencapai 13.6 *mega pascal* menjadi pengingat bahwa pasir laut tidak dapat digunakan begitu saja tanpa modifikasi teknis yang memadai. Penelitian masa depan perlu mengeksplorasi metode pencucian pasir atau penggunaan bahan pelindung tulangan untuk melengkapi temuan mengenai kapasitas tekan ini. Dengan demikian, pemanfaatan sumber daya alam pesisir dapat menjadi solusi alternatif yang berkelanjutan, asalkan protokol teknis dan dosis bahan kimia tambahan tetap menjadi prioritas utama.

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan pasir pantai sebagai alternatif agregat halus dalam campuran beton sangat bergantung pada intervensi teknologi berupa penambahan *superplasticizer*. Berdasarkan hasil eksperimen terhadap 60 benda uji silinder, penggunaan pasir pantai murni tanpa bahan tambah terbukti kurang optimal karena hanya menghasilkan kuat tekan rata-rata 13,6 MPa pada umur 28 hari, sehingga gagal memenuhi target mutu rencana $f'c$ 20 MPa. Kegagalan ini dipicu oleh karakteristik pasir pantai yang sangat halus dengan nilai *fineness modulus* hanya 1,14. Namun, integrasi *superplasticizer* berbasis polikarboksilat secara signifikan mampu meningkatkan performa mekanis beton. Hasil pengujian paling impresif ditunjukkan oleh campuran pasir dari Pantai Batu Bintang dengan dosis aditif 2 persen yang mencapai kuat tekan 24,5 MPa. Sementara itu, variasi pasir Citepus dengan dosis 2 persen menghasilkan 20,7 MPa dan pasir Batu Bintang dosis 1 persen meraih 21,2 MPa. Temuan ini

menegaskan bahwa material pesisir dapat dimanfaatkan untuk konstruksi struktural selama rasio campuran dan dosis bahan kimia dikelola dengan ketat.

Efektivitas *superplasticizer* dalam meningkatkan kekuatan beton pasir pantai berkaitan erat dengan kemampuannya mendispersi partikel semen sehingga mengurangi kebutuhan air tanpa mengorbankan *workability*. Penghematan volume air dalam campuran menciptakan matriks beton yang lebih padat dan meminimalkan pori mikro yang terbentuk selama proses hidrasi. Sebagai saran untuk penelitian kedepannya, peneliti selanjutnya diharapkan dapat melakukan kajian komprehensif mengenai dampak jangka panjang kandungan klorida dalam pasir pantai terhadap laju korosi pada baja tulangan. Perlu dilakukan pengujian durabilitas tambahan seperti uji penetrasi klorida dan ketahanan terhadap lingkungan laut yang agresif guna menjamin umur layanan struktur bangunan. Selain itu, disarankan untuk mengeksplorasi efektivitas metode pencucian pasir pantai secara sistematis untuk meminimalisir kadar garam sebelum digunakan. Penelitian masa depan juga dapat mengkaji penggunaan material tambahan lain seperti *silica fume* untuk memperbaiki gradasi butiran pasir yang terlalu halus. Langkah-langkah evaluasi ini sangat penting guna memperkuat standarisasi penggunaan material alternatif yang berkelanjutan dalam industri konstruksi sipil modern di kawasan pesisir.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, P. N., Roestaman, R., & Walujodjati, E. (2021). Pengaruh penggunaan serbuk kayu sebagai bahan substitusi agregat halus dalam campuran beton dengan bahan tambah *superplasticizer*. *Jurnal Konstruksi*, 19(1), 169. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.19-1.902>
- Aswara, D., & Setiawan, B. (2023). Kajian karakteristik agregat halus quarry Desa Pulau Terap, Kecamatan Kuok. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 6(3), 880. <https://doi.org/10.31004/jutin.v6i3.18348>
- Aziz, A., Mehboob, S. S., Tayyab, A., Khan, D., Hayyat, K., Ali, A., & Qureshi, Q. B. I. L. (2024). Enhancing sustainability in self-compacting concrete by optimizing blended supplementary cementitious materials. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-62499-w>
- Desmaliana, E., Hazairin, H., Herbudiman, B., & Lesmana, R. (2020). Kajian eksperimental sifat mekanik beton porous dengan variasi faktor air semen. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(1), 19. <https://doi.org/10.24002/jts.v15i1.3147>
- Dorleon, G., Rigaud, S., & Técher, I. (2024). Management of dredged marine sediments in Southern France: Main keys to large-scale beneficial re-use. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33129-9>
- Ebead, U., Lau, D., Lollini, F., Nanni, A., Suraneni, P., & Yu, T. (2021). A review of recent advances in the science and technology of seawater-mixed concrete. *Cement and Concrete Research*, 152, 106666. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106666>
- Filho, J. R. T., Mannekens, E., Tittelboom, K. V., Vlierberghe, S. V., Belie, N. D., & Snoeck, D. (2021). Innovative SuperAbsorbent Polymers (iSAPs) to construct crack-free reinforced concrete walls: An in-field large-scale testing campaign. *Journal of Building Engineering*, 43, 102639. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102639>
- Firdaus, M. Z., & Sunaryoto, A. F. (2024). Self compacting green concrete (SCGC) kuat awal tinggi menggunakan CaCO₃, carbide waste, dan bottom ash. *AGREGAT*, 9(1), 1028. <https://doi.org/10.30651/ag.v9i1.22227>

- Hattani, F., Menu, B., Allaoui, D., Mouflih, M., Zanzoun, H., Hannache, H., & Manoun, B. (2024). Evaluating the impact of material selections, mixing techniques, and on-site practices on performance of concrete mixtures. *Civil Engineering Journal*, 10(2), 571. <https://doi.org/10.28991/cej-2024-010-02-016>
- Kalaimani, D., & Srinivasan, G. (2023). Strength and durability properties of concrete made with recycled coarse aggregate and seashore sand. *SINERGI*, 28(1), 115. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2024.1.012>
- Larson, S. (2021). Penggunaan pasir galian (material lokal) di Kabupaten Merauke – Papua sebagai komponen penyusun mortar. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 25(1), 57. <https://doi.org/10.24843/jits.2021.v25.i01.p07>
- Li, J., Spanu, L., Heo, J., Zhang, W., Gardner, D. W., Carraro, C., Maboudian, R., & Monteiro, P. J. M. (2021). Sequestration of solid carbon in concrete: A large-scale enabler of lower-carbon intensity hydrogen from natural gas. *MRS Bulletin*, 46(8), 680. <https://doi.org/10.1557/s43577-021-00118-z>
- Miller, D., Ho, N. M., Talebian, N., & Javanbakht, Z. (2023). Real-time monitoring of early-age compressive strength of concrete using an IoT-enabled monitoring system: An investigative study. *Innovative Infrastructure Solutions*, 8(2). <https://doi.org/10.1007/s41062-023-01043-7>
- Noufid, A., Hidar, N., & Feddaoui, M. (2022). *Study of the use of dredged sand as an alternative to beach sand and coastal dunes for coastal preservation*. Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2054636/v1>
- Ortega-López, V., Revilla-Cuesta, V., Santamaría, A., Orbe, A., & Skaf, M. (2022). Microstructure and dimensional stability of slag-based high-workability concrete with steelmaking slag aggregate and fibers. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 34(9). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0004372](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0004372)
- Patah, D., Dasar, A., & Nurdin, A. (2022). Durability of steel reinforced concrete using limestone, sea sand and seawater in concrete mix. *MEDIA KOMUNIKASI TEKNIK SIPIL*, 28(1), 109. <https://doi.org/10.14710/mkts.v28i1.43380>
- Peng, X., Zhuang, Z., & Yang, Q. (2022). Predictive modeling of compressive strength for concrete at super early age. *Materials*, 15(14), 4914. <https://doi.org/10.3390/ma15144914>
- Purbanto, R., Thanaya, I. N. A., & Saraswati, A. I. R. A. (2023). Karakteristik HRS-WC dengan agregat halus disubstitusi pasir pantai. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 27(1), 124. <https://doi.org/10.24843/jits.2023.v27.i01.p14>
- Putri, E. C., & Rachmansyah, R. (2023). Pengaruh penambahan superplasticizer terhadap nilai modulus elastisitas pada beton geopolimer. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 6(3), 635. <https://doi.org/10.24912/jmts.v6i3.23606>
- Riyanto, A., & Prasetya, R. D. (2020). Pengaruh kadar filler fly ash dalam campuran AC-WC dengan pasir pantai takisung sebagai agregat halus ditinjau dari aspek ketidakrataan dan properties marshall. *Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil*, 13(2), 37. <https://doi.org/10.23917/dts.v13i2.13053>
- Sindhurashmi, B. M., Nayak, G., Adesh, N. D., Rao, V., & Dubey, S. P. (2024). Incorporating sea sand into self-compacting concrete: A systematic review. *Deleted Journal*, 6(4). <https://doi.org/10.1007/s42452-024-05826-0>
- Tajunnisa, Y., Bayuaji, R., Nurhadi, H., & Pratiwi, B. R. (2023). Workability analysis of 3D printing materials for applications in the construction industry. *IPTEK Journal of Engineering*, 9(2), 68. <https://doi.org/10.12962/j23378557.v9i2.a16185>



- Untari, D., Mahardana, Z. B., & Nursandah, F. (2025). Inovasi penggunaan sikacim concrete additive untuk beton pasir dengan kandungan lumpur tinggi. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 9(1), 67. <https://doi.org/10.20961/jrrs.v9i1.108348>
- Viviani, M., Lanzoni, L., Savino, V., & Tarantino, A. M. (2021). An auto-calibrating semi-adiabatic calorimetric methodology for strength prediction and quality control of ordinary and ultra-high-performance concretes. *Materials*, 15(1), 96. <https://doi.org/10.3390/ma15010096>
- Wijaya, R., & Astutiningsih, S. (2021). Studi literatur potensi pemanfaatan terak nikel (slag nikel) sebagai agregat pada mortar dan beton. *Bentang: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 9(2), 93. <https://doi.org/10.33558/bentang.v9i2.2862>
- Wo, J., Wang, D., Zhang, T., Shi, C., Zhou, Z., Wang, A., & Wang, W. (2023). Chemically functionalized manufactured sand as the novel additive for enhancing the properties of cement-based composites. *RSC Advances*, 13(12), 8398. <https://doi.org/10.1039/d3ra00373f>
- Xu, S., Wang, X., Ren, J., Fang, Y., & Zhu, J. (2021). Effect of seawater on the workability, adsorption, dispersion and compressive strength of cementitious materials incorporated with polycarboxylate superplasticiser. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021(1), Article 012089. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2021/1/012089>

