

KINERJA MEKANIK BATA RINGAN MENGGUNAKAN APLUS DAN PASIR PANTAI

Almayana Alwi ¹⁾, Nur Okviyani²⁾, Herni Suryani³⁾, Risma Nofianti Idris⁴⁾, Amalia Nurdin⁵⁾, Apriani⁶⁾

^{1,2,3,4,5,6)} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat

Email : almayana.alwi@unsulbar.ac.id ¹⁾, Nur.okviyani@unsulbar.ac.id ²⁾, herni.suryani@unsulbar.ac.id ³⁾, rismanofianti@unsulbar.ac.id ⁴⁾, amalianurdin@unsulbar.ac.id ⁵⁾, Aprianiani118@gmail.com ⁶⁾

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa mekanik dan sifat kelistrikan bata ringan dengan memanfaatkan pasir pantai Pamboang sebagai agregat halus dan foaming agent rasio 1:60 sebagai bahan pembentuk pori. Penggunaan material lokal seperti pasir pantai dinilai penting untuk meningkatkan efisiensi biaya dan keberlanjutan konstruksi, khususnya di daerah dengan keterbatasan sumber daya agregat konvensional. Benda uji dibuat dalam bentuk kubus 5×5×5 cm dengan variasi penggantian semen Portland oleh bahan aditif Aplus hingga 100%. Pengujian meliputi kuat tekan pada umur 7, 28, dan 91 hari serta electrical resistivity pada umur 91 hari. Hasil menunjukkan bahwa kuat tekan tertinggi sebesar 24,94 MPa diperoleh pada sampel tanpa Aplus, sedangkan resistivitas listrik seluruh sampel berada dalam kategori sangat rendah risiko korosi (>165 kΩ·cm). Temuan ini mengindikasikan bahwa pasir pantai dapat digunakan sebagai alternatif agregat halus untuk bata ringan, selama proporsi pengikat diatur dengan tepat.

Kata Kunci : Bata Ringan, Pasir Pantai, Foaming Agent, Kuat tekan, Electrical resistivity.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the mechanical performance and electrical properties of lightweight concrete blocks utilizing coastal sand from Pamboang as fine aggregate, combined with a foaming agent at a 1:60 ratio to form pores. The use of local materials such as beach sand is considered vital to improve cost efficiency and sustainability in construction, especially in regions with limited access to conventional aggregates. Cube specimens measuring 5×5×5 cm were prepared with varying proportions of Portland cement replaced by Aplus additive, up to 100%. The tests included compressive strength at 7, 28, and 91 days, and electrical resistivity at 91 days. The results showed that the highest compressive strength of 24.94 MPa was achieved in the sample without Aplus, while all samples exhibited electrical resistivity values above 165 kΩ·cm, indicating very low corrosion risk. These findings suggest that coastal sand can serve as a viable alternative fine aggregate for lightweight concrete blocks, provided that binder composition is optimized accordingly.

Keywords: Lightweight concrete, Coastal sand, Foaming agent, Compressive strength, Electrical resistivity

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi material dalam industri konstruksi telah mendorong pencarian material bangunan yang ringan, kuat, dan berkelanjutan. Beton ringan menjadi salah satu fokus utama karena memiliki densitas rendah, daya tahan termal yang baik, serta kinerja seismik yang memadai (Kozłowski and Kadela, 2018)(Elshahawi et al., 2021). Penggunaan beton ringan juga berkontribusi terhadap efisiensi struktural dengan mengurangi beban mati bangunan (Thienel et al., 2020). Salah satu pendekatan yang digunakan dalam pembuatan beton ringan adalah menciptakan struktur pori menggunakan *foaming agent* atau dengan memanfaatkan agregat ringan alternatif (Hanif et al., 2017)(Barbieri et al., 2021).

Di wilayah pesisir dan kepulauan, kebutuhan akan agregat halus mendorong pemanfaatan sumber daya lokal seperti pasir pantai. Pasir pantai memiliki ketersediaan melimpah, namun karakteristiknya yang mengandung klorida, partikel halus, dan zat organik berpotensi memengaruhi kinerja beton, terutama dalam hal ketahanan jangka panjang (Mehta and Monteiro, 2014)(Neville and Brooks, 2010)(Patah et al., 2023)(Patah et al., 2022)(Dasar et al., 2020). Kandungan klorida dapat mempercepat korosi pada tulangan baja, sehingga menurunkan daya tahan struktural beton (Al-Aesawi et al., 2020) (Dasar et al., 2022b)(Dasar et al., 2022a)(Dasar and Patah, 2024). Namun demikian, beberapa penelitian menunjukkan bahwa pasir pantai yang telah mengalami pencucian untuk mengurangi kadar garam dan kotoran dapat digunakan sebagai agregat halus tanpa menurunkan kualitas beton secara signifikan (Patah et al., 2025)(Patah et al., 2024)(Patah and Dasar, 2022). Lebih jauh lagi, pemanfaatan pasir pantai dinilai lebih berkelanjutan dibandingkan eksploitasi pasir sungai yang berdampak pada kerusakan lingkungan (S.K. et al., 2020).

Dalam konteks pengembangan beton ringan, pendekatan modern juga mempertimbangkan penggunaan bahan tambahan berbasis polimer atau mineral untuk meningkatkan kohesi, mengurangi pori tak terkendali, dan memperbaiki ikatan antar partikel (Hanif et al., 2017) (Barbieri et al., 2021). Kombinasi antara pasir pantai sebagai agregat halus dan foaming agent sebagai pembentuk struktur pori, dalam perbandingan tertentu, diharapkan dapat menghasilkan material bata ringan dengan karakteristik mekanik dan fisik yang kompetitif.

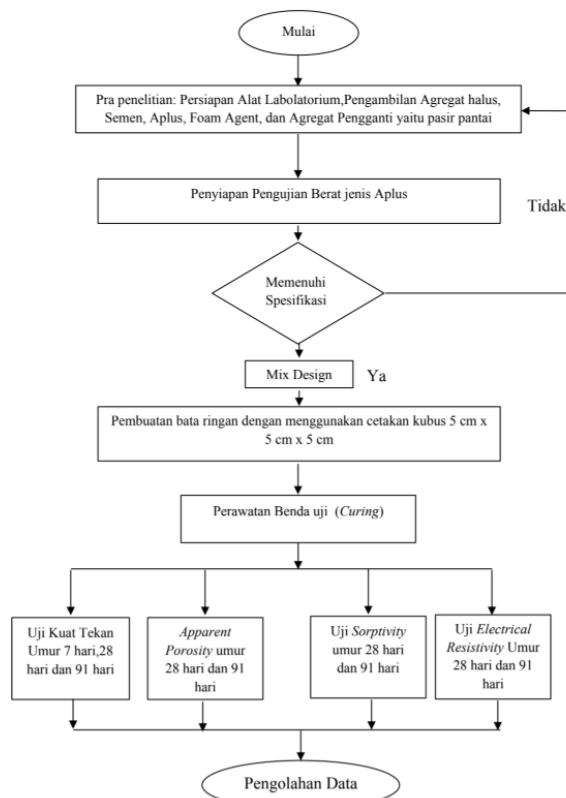
Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja mekanik bata ringan yang

diproduksi dengan menggunakan pasir pantai sebagai agregat halus dan penambahan foaming agent dengan rasio 1:60. Parameter utama yang dianalisis meliputi kuat tekan dan *electrical resistivity* sebagai indikator performa struktural dan durabilitas material.

2. METODE

A. Lokasi dan Bahan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Terpadu Universitas Sulawesi Barat. Agregat halus yang digunakan adalah pasir pantai diperoleh dari Desa Pamboang, Kabupaten Majene, Provinsi Sulawesi Barat. Bahan utama dalam pembuatan bata ringan terdiri atas pasir pantai, semen Portland (PCC), air tawar, foaming agent dengan rasio 1:60, dan aditif skim coat berbahan dasar Aplus. Campuran tersebut divariasikan berdasarkan proporsi penambahan skim coat.

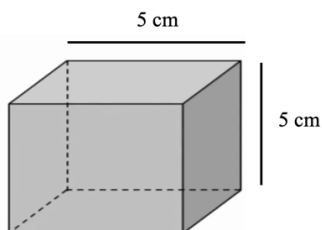


Gambar.1. Bagan Alir Penelitian

B. Desain Benda Uji dan Komposisi Campuran

Benda uji dibuat dalam bentuk kubus berukuran 5 cm × 5 cm × 5 cm, sesuai dengan standar pengujian kuat tekan dan electrical resistivity. Variasi campuran dibedakan berdasarkan persentase penggantian semen PCC dengan material Aplus, yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Tabel 1 menampilkan jumlah benda uji yang

digunakan dalam setiap variasi campuran untuk masing-masing pengujian. Gambar 2 memperlihatkan dimensi benda uji yang digunakan.



Gambar 2. Bentuk dan Ukuran Benda Uji Bata Ringan

TABEL 1. Jumlah Benda Uji per Variasi Campuran

Kode Sampel	Uji Kuat Tekan 28 Hari	Uji Kuat Tekan 91 Hari	Uji Electrical Resistivity 91 Hari
FO60-PP-TW-AP0	3	3	1
FO60-PP-TW-AP25	3	3	1
FO60-PP-TW-AP50	3	3	1
FO60-PP-TW-AP75	3	3	1
FO60-PP-TW-AP100	3	3	1

Komposisi campuran ditentukan berdasarkan volume cetakan dan proporsi bahan yang telah direncanakan. Semua variasi menggunakan rasio *foaming agent* tetap sebesar 1:60. Rincian kebutuhan material per cetakan untuk setiap variasi disajikan pada Tabel 2, dimana FAS: Faktor air-semen; W: Air (kg); PCC: Semen Portland Komposit (kg); APLUS: Material skim coat Aplus (kg); dan Pasir Pantai: Pasir pantai Pamboang (kg).

Proses pembuatan benda uji meliputi tahap pencampuran material, pencetakan, pemadatan, perawatan (curing), dan pengujian (Gambar 3).



Gambar 3. Proses Pembuatan dan Perawatan: Mixing, Pencetakan, Pemadatan, Curing, dan Pengujian

TABEL 2. Kebutuhan Material per Cetakan

Kode Sampel	FAS	W (Air)	PCC	APLUS	Pasir Pantai	Foam (liter)
FO60-PP-TW-AP0	40	1.16	2.9	-	6.478	0.019
FO60-PP-TW-AP25	40	1.16	2.175	0.725	6.453	0.019
FO60-PP-TW-AP50	40	1.16	1.45	1.45	6.428	0.019
FO60-PP-TW-AP75	40	1.16	0.725	2.175	6.404	0.019
FO60-PP-TW-AP100	40	1.16	0	2.9	6.379	0.019

C. Pengujian

Pengujian yang dilakukan yaitu uji kuat tekan yang dilakukan pada umur 28 hari dan 91 hari untuk menilai kekuatan struktural. Uji kuat tekan dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan material dalam menahan beban tekan hingga terjadi kegagalan struktur. Kuat tekan (σ) didefinisikan sebagai perbandingan antara beban maksimum (P) terhadap luas penampang benda uji (A), sesuai dengan standar ASTM C869-91 (1999), dan dinyatakan dalam satuan MPa. Berdasarkan SNI 2094-2000, nilai kuat tekan bata dibagi ke dalam tiga kelas mutu, yaitu Kelas 50, Kelas 100 dan Kelas 150 yang ditentukan berdasarkan besarnya tegangan tekan yang mampu ditahan oleh material tersebut

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Dimana:

σ = Tegangan tekan (MPa)

P = Beban maksimum yang ditahan benda uji (kN)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

Selain itu dilakukang pengujian electrical resistivity yang dilakukan pada umur 91 hari untuk mengevaluasi

ketahanan terhadap penetrasi ion dan potensi durabilitas. Pengujian electrical resistivity bertujuan untuk mengidentifikasi sifat ketahanan bahan terhadap aliran listrik, yang berkorelasi dengan tingkat porositas, kandungan ion, dan potensi ketahanan terhadap korosi. Nilai resistivitas dipengaruhi oleh kadar air, konduktivitas elektrolit, temperatur, dan proporsi bahan pengikat. Berdasarkan studi oleh Samouëlian et al. (2005), resistivitas menurun seiring meningkatnya kadar air dan konduktivitas, serta meningkat apabila kadar semen dan waktu curing meningkat. Metode pengujian dilakukan menggunakan konfigurasi dua elektroda. Nilai resistivitas (ρ) dihitung menggunakan persamaan (2).

$$\rho = \frac{R \cdot A}{L} \quad (2)$$

Dimana,

ρ = Resistivitas bahan ($\Omega \cdot m$)

R = Nilai resistansi terukur (Ω)

A = Luas penampang elektroda (m^2)

L = Jarak antar elektroda (m)

Hubungan antara nilai resistivitas dengan risiko korosi dapat dilihat pada Tabel 3.

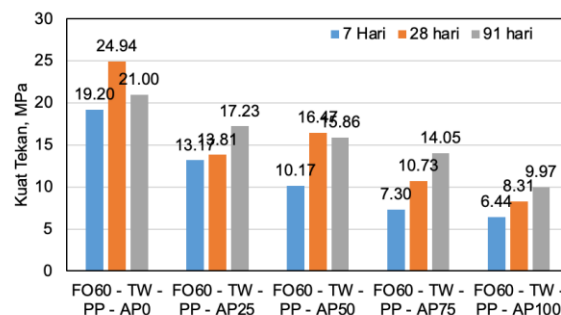
TABEL 3. Kategori Risiko Korosi Berdasarkan Nilai Resistivitas

Resistivitas ($k\Omega \cdot cm$)	Tingkat Risiko Korosi
>100 – 200	Sangat rendah, bahkan jika terkontaminasi klorida
50 – 100	Rendah
10 – 50	Sedang hingga tinggi
<10	Tinggi; resistivitas tidak lagi menjadi parameter pengontrol utama

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kuat Tekan Bata Ringan

Gambar 4 menunjukkan perkembangan kuat tekan bata ringan pada umur 7 hari, 28 hari, dan 91 hari dengan berbagai variasi komposisi penggantian PCC oleh material Aplus. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada variasi FO60-PP-TW-AP0 (tanpa penambahan Aplus), yaitu sebesar 24,94 MPa pada umur 28 hari dan meningkat menjadi 21,00 MPa pada umur 91 hari. Sebaliknya, nilai terendah ditemukan pada variasi FO60-PP-TW-AP75, yakni sebesar 7,30 MPa pada umur 28 hari



Gambar 4. Perbandingan Kuat Tekan Bata Ringan pada Umur 7, 28, dan 91 Hari

Secara umum, seluruh variasi menunjukkan peningkatan kuat tekan seiring bertambahnya umur beton, yang merupakan indikasi dari proses hidrasi semen yang berlanjut hingga umur 91 hari. Namun, nilai kuat tekan menurun secara signifikan seiring meningkatnya proporsi penggantian PCC oleh Aplus. Misalnya, pada variasi AP100 (penggantian 100%), kuat tekan hanya mencapai 9,97 MPa pada umur 91 hari, dibandingkan dengan 21,00 MPa pada AP0.

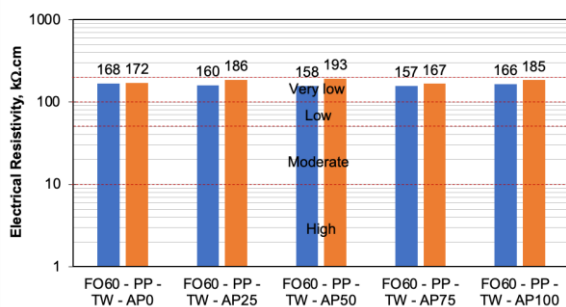
Penurunan ini dapat dikaitkan dengan karakteristik Aplus yang tidak memiliki kandungan semen aktif setara PCC, sehingga jumlah produk hidrasi yang terbentuk lebih sedikit. Di sisi lain, penggunaan Aplus dalam jumlah sedang (AP25–AP50) masih mampu menghasilkan kuat tekan di atas 13 MPa pada umur 28 hari, yang sesuai dengan kelas kekuatan tekan bata ringan SNI 2094-2000 (kelas 100). Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa penambahan aditif seperti Aplus dapat mempengaruhi kuat tekan beton ringan. Penggunaan material pengganti agregat kasar dapat menurunkan kuat tekan beton ringan (Wang et al., 2021). Selain itu, penelitian oleh Kadela et al. (2020) menyoroti pentingnya pemilihan agen pembusa yang tepat untuk mencapai kekuatan tekan yang diinginkan dalam beton ringan (Kadela et al., 2020).

Dapat disimpulkan bahwa penambahan Aplus hingga 50% masih memungkinkan digunakan dalam aplikasi struktural ringan, namun penggantian total semen (AP100) berisiko menurunkan performa mekanis secara signifikan. Efek foam agent tetap konsisten pada semua

sampel, mengindikasikan bahwa variasi kekuatan lebih dipengaruhi oleh komposisi binder daripada pengaruh pori.

3.2 Electrical Resistivity

Gambar 5 memperlihatkan hasil pengujian electrical resistivity pada umur 28 hari dan 91 hari untuk berbagai variasi komposisi Aplus dalam campuran bata ringan. Nilai resistivitas listrik seluruh sampel berada pada rentang antara 165 k Ω ·cm hingga 180 k Ω ·cm, yang secara umum termasuk dalam kategori *very low corrosion risk*, berdasarkan klasifikasi resistivitas bahan bangunan (Feliu et al., 1996). Nilai tertinggi dicapai oleh variasi FO60-PP-TW-AP0, yaitu 180 k Ω ·cm pada umur 91 hari. Sedangkan nilai terendah tercatat pada variasi AP75, yaitu 165 k Ω ·cm



Gambar 5. Electrical Resistivity Bata Ringan pada Umur 28 dan 91 Hari

Meskipun terdapat fluktuasi kecil antar variasi, secara keseluruhan, nilai resistivitas menunjukkan kestabilan relatif, bahkan pada campuran dengan persentase penggantian semen yang tinggi seperti AP100 (172–178 k Ω ·cm). Fenomena ini menunjukkan bahwa penggantian sebagian semen PCC dengan material Aplus tidak secara signifikan menurunkan resistivitas listrik dari bata ringan yang diuji, suatu hal yang sejalan dengan pengamatan Robles et al. (2020), yang menunjukkan bahwa resistivitas masih dapat terjaga tinggi meskipun terjadi degradasi mikro pada beton.(Robles et al., 2020). Kondisi ini dapat dijelaskan oleh beberapa faktor: (1) struktur pori tetap padat dan terkontrol karena penggunaan foaming agent yang stabil; (2) tidak terdapat lonjakan signifikan kadar ion bebas atau retensi

kelembapan berlebih yang biasanya mempercepat konduktivitas ionik(Park et al., 2017); dan (3) komposisi Aplus yang relatif inert secara kimia tidak meningkatkan konduktivitas listrik beton secara drastis. Hasil ini juga diperkuat oleh studi sebelumnya yang menyatakan bahwa resistivitas material hanya menurun drastis ketika kadar air dan ion-ion konduktif meningkat secara signifikan (Patah et al., 2021)(Samouëlian et al., 2005)(Kadela et al., 2020). Dalam penelitian ini, karena rasio air-semen tetap dijaga dan proses curing dilakukan secara optimal, maka resistivitas tetap tinggi dan stabil. Temuan ini juga sesuai dengan ulasan literatur oleh Azarsa and Gupta (2017), yang menegaskan bahwa resistivitas listrik dapat menjadi indikator yang sangat baik untuk menilai durabilitas beton, selama faktor-faktor eksternal seperti kelembapan dan kualitas campuran dikendalikan secara akurat (Azarsa and Gupta, 2017).

3.3 Analisis Kualitatif antara Kuat Tekan dan Electrical Resistivity

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi komposisi material dalam campuran bata ringan tidak hanya memengaruhi sifat mekanik berupa kuat tekan, tetapi juga memengaruhi sifat kelistrikan berupa electrical resistivity. Meskipun tidak dilakukan analisis statistik kuantitatif antar kedua parameter, dapat diamati kecenderungan pola hubungan kualitatif yang konsisten.

Sampel dengan komposisi semen murni (AP0) menghasilkan kuat tekan tertinggi (24,94 MPa pada 28 hari) sekaligus resistivitas listrik tertinggi (180 k Ω ·cm pada 91 hari). Di sisi lain, sampel dengan penggantian semen yang lebih tinggi, seperti AP75, menunjukkan penurunan kuat tekan (7,30 MPa) dan resistivitas lebih rendah (169 k Ω ·cm). Hal ini mengindikasikan bahwa campuran yang lebih padat dan homogen (karena hidrasi semen yang optimal) cenderung memiliki sifat mekanik yang kuat sekaligus hambatan listrik yang tinggi. Secara ilmiah, fenomena ini dapat dijelaskan melalui karakteristik porositas dan distribusi mikrostruktur beton ringan. Material dengan pori-pori yang lebih sedikit dan terdistribusi baik akan menunjukkan kekuatan tekan yang lebih tinggi serta nilai

resistivitas yang lebih besar, karena terbatasnya jalur aliran arus listrik melalui media basah dalam beton (Xing et al., 2020)(Ghazanlou et al., 2020).

Meski semua variasi menunjukkan resistivitas dalam kategori "sangat rendah risiko korosi", penurunan nilai pada variasi Aplus tinggi dapat menjadi indikasi menurunnya densitas struktur akibat berkurangnya reaksi hidrasi aktif. Hal ini juga menyebabkan penurunan performa mekanik (Deb et al., 2020). Dengan demikian, meskipun tidak disajikan secara kuantitatif, terdapat indikasi kuat bahwa struktur mikro dan kerapatan pori yang dihasilkan dari kombinasi binder memengaruhi kedua sifat ini secara bersamaan, yaitu kuat tekan dan resistivitas listrik. Hal ini penting dalam penentuan material bata ringan yang tidak hanya kuat secara struktural, tetapi juga tahan terhadap degradasi jangka panjang.

4. PENUTUP

4.1 KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan pasir pantai Pamboang sebagai agregat halus dalam pembuatan bata ringan dengan penambahan foaming agent rasio 1:60 mampu menghasilkan material dengan performa mekanik dan durabilitas yang layak. Variasi campuran tanpa aditif Aplus (AP0) memberikan kuat tekan tertinggi dan resistivitas listrik tertinggi, sementara peningkatan proporsi Aplus cenderung menurunkan kedua parameter tersebut. Meskipun demikian, seluruh variasi masih berada dalam kategori risiko korosi sangat rendah, dengan nilai resistivitas di atas 165 k Ω ·cm. Hasil ini mengindikasikan bahwa pemanfaatan pasir pantai secara lokal tetap dapat mendukung produksi bata ringan yang ramah lingkungan dan efisien, khususnya jika komposisi bahan pengikat dioptimalkan. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk mengevaluasi kinerja mekanik dan sifat resistivitas bata ringan berbahan pasir pantai dan foaming agent telah tercapai.

5. DAFTAR PUSTAKA

Al-Aesawi, Q., Al-Nasrawi, A.K.M., Jones, B.G., 2020. Short-term Geoinformatics Evaluation in the Shatt Al-Arab Delta (Northwestern Arabian/Persian Gulf). *J. Coast. Res.* 36, 498.

<https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-19-00110.1>

Azarsa, P., Gupta, R., 2017. Electrical Resistivity of Concrete for Durability Evaluation: A Review. *Adv. Mater. Sci. Eng.* 2017, 1–30. <https://doi.org/10.1155/2017/8453095>

Barbieri, V., Lassinantti Gualtieri, M., Manfredini, T., Siligardi, C., 2021. Lightweight concretes based on wheat husk and hemp hurd as bio-aggregates and modified magnesium oxysulfate binder: Microstructure and technological performances. *Constr. Build. Mater.* 284, 122751. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122751>

Dasar, A., Patah, D., 2024. Kekuatan dan Durabilitas Beton Menggunakan Palm Oil Fuel Ash (POFA) dan Pasir Pantai. *Borneo Eng. J. Tek. Sipil* 8, 83–94. <https://doi.org/10.35334/be.v8i1.5090>

Dasar, A., Patah, D., Apriansyah, 2022a. Effect of limestone as coarse aggregate and seawater as mixing water on half-cell potential of steel bar in concrete, in: *AIP Conference Proceedings. Presented at the THE PROCEEDINGS OF THE 4TH EPI INTERNATIONAL CONFERENCE ON SCIENCE AND ENGINEERING (EICSE) 2020*, AIP Publishing, Gowa, Indonesia, p. 030015. <https://doi.org/10.1063/5.0095220>

Dasar, A., Patah, D., Hamada, H., Sagawa, Y., Yamamoto, D., 2020. Applicability of seawater as a mixing and curing agent in 4-year-old concrete. *Constr. Build. Mater.* 259, 119692. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119692>

Dasar, A., Patah, D., Hamada, H., Yamamoto, D., Sagawa, Y., 2022b. Life performance of 40-year-old RC beams with different concrete covers and bar diameters in natural corrosion environments. *Structures* 46, 2031–2046. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.11.033>

Deb, S., Mitra, N., Majumdar, S.B., 2020. Influence of Surface Morphology of Fibers on the Tensile and Flexural Ductility of

- Polypropylene-Reinforced Cementitious Composites. *J. Mater. Civ. Eng.* 32. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0003048](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0003048)
- Elshahawi, M., Hückler, A., Schlaich, M., 2021. Infra lightweight concrete: A decade of investigation (a review). *Struct. Concr.* 22. <https://doi.org/10.1002/suco.202000206>
- Ghazanlou, S.I., Jalaly, M., Sadeghzadeh, S., Korayem, A.H., 2020. A comparative study on the mechanical, physical and morphological properties of cement-micro/nanoFe₃O₄ composite. *Sci. Rep.* 10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59846-y>
- Hanif, A., Lu, Z., Cheng, Y., Diao, S., Li, Z., 2017. Effects of Different Lightweight Functional Fillers for Use in Cementitious Composites. *Int. J. Concr. Struct. Mater.* 11, 99–113. <https://doi.org/10.1007/s40069-016-0184-1>
- Kadela, M., Kukielka, A., Małek, M., 2020. Characteristics of Lightweight Concrete Based on a Synthetic Polymer Foaming Agent. *Materials* 13, 4979. <https://doi.org/10.3390/ma13214979>
- Kozłowski, M., Kadela, M., 2018. Mechanical Characterization of Lightweight Foamed Concrete. *Adv. Mater. Sci. Eng.* 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/6801258>
- Mehta, P.K., Monteiro, P.J.M., 2014. Concrete: microstructure, properties, and materials, Fourth edition. ed. McGraw-Hill Education, New York.
- Neville, A.M., Brooks, J.J., 2010. Concrete technology, 2. ed. ed. Prentice Hall, Harlow.
- Park, C.-S., Jeong, J.-H., Park, H.-W., Kim, K., 2017. Experimental Study on Electrode Method for Electrical Resistivity Survey to Detect Cavities under Road Pavements. *Sustainability* 9, 2320. <https://doi.org/10.3390/su9122320>
- Patah, D., Dasar, A., 2022. PENGARUH LIMBAH BETON SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT KASAR PADA KEKUATAN BETON. *JTT J. Teknol. Terpadu* 10, 158–163. <https://doi.org/10.32487/jtt.v10i2.1580>
- Patah, D., Dasar, A., Apriansyah, A., Caronge, M.A., 2023. Strength Development of Seawater Mixed and Cured Concrete with Various Replacement Ratios of Fly Ash. *Mater. Sci. Forum* 1091, 111–118. <https://doi.org/10.4028/p-1ckry6>
- Patah, D., Dasar, A., Fakhruddin, F., Shintarahayu, B., Apriansyah, A., 2024. The Impact of Fly Ash and Sea Sand on Strength and Durability of Concrete. *Key Eng. Mater.* 1000, 23–33. <https://doi.org/10.4028/p-o0wa24>
- Patah, D., Dasar, A., Hamada, H., 2022. Electrochemical consideration on corrosion performance of steel bar embedded in SCMs mortar with initial chloride contaminated, in: AIP Conference Proceedings. Presented at the THE PROCEEDINGS OF THE 4TH EPI INTERNATIONAL CONFERENCE ON SCIENCE AND ENGINEERING (EICSE) 2020, AIP Publishing, Gowa, Indonesia, p. 030016. <https://doi.org/10.1063/5.0095233>
- Patah, D., Dasar, A., Hamada, H., Astuti, P., 2021. Effects of Mineral Admixture on Electrical Resistivity and Permeability of Chloride Contaminated Mortar, in: Advances in Engineering Research. Presented at the 4th International Conference on Sustainable Innovation 2020–Technology, Engineering and Agriculture (ICoSITEA 2020), Atlantis Press, Yogyakarta, Indonesia. <https://doi.org/10.2991/aer.k.210204.013>
- Patah, D., Dasar, A., Nurdin, A., 2025. Sustainable concrete using seawater, sea-sand, and ultrafine palm oil fuel ash: Mechanical properties and durability. *Case Stud. Constr. Mater.* 22, e04129. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e04129>
- Robles, K.P.V., Kim, D.-W., Yee, J.-J., Lee, J.-W., Kee, S.-H., 2020. Electrical Resistivity Measurements of Reinforced Concrete Slabs with Delamination Defects. *Sensors* 20, 7113. <https://doi.org/10.3390/s20247113>
- Samouëlian, A., Cousin, I., Tabbagh, A., Bruand, A., Richard, G., 2005. Electrical resistivity survey in soil science: a review. *Soil Tillage*

- Res. 83, 173–193.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2004.10.004>
- S.K., K., Singh, S.K., Chourasia, A., 2020. Alternative fine aggregates in production of sustainable concrete- A review. *J. Clean. Prod.* 268, 122089.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122089>
- Thienel, K.-C., Haller, T., Beuntner, N., 2020. Lightweight Concrete—From Basics to Innovations. *Materials* 13, 1120.
<https://doi.org/10.3390/ma13051120>
- Wang, X., Liu, L., Zhou, H., Song, T., Qiao, Q., Zhang, H., 2021. Improving the compressive performance of foam concrete with ceramsite: Experimental and meso-scale numerical investigation. *Mater. Des.* 208, 109938.
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.109938>
- Xing, X., Liu, T., Pei, J., Huang, J., Li, R., Zhang, J., Tian, Y., 2020. Effect of fiber length and surface treatment on the performance of fiber-modified binder. *Constr. Build. Mater.* 248, 118702.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118702>