

Analisa Pemakaian Pasir Pantai Efeknya Terhadap Bangunan Beton Bertulang di Tinjau Dari Korosi pada Tulangan di Pulau Nias

Yumen Kristian Wau*, Ing Johannes Tarigan, Ika Puji Hastuti

Universitas Sumatera Utara, Indonesia

Email: Yumenkristianw@gmail.com*, johannes.tarigan@usu.ac.id, ika.hastuty@usu.ac.id

Keywords:	Abstract
beach sand; reinforced concrete; reinforcement corrosion; chloride; durability	<i>The development of the construction industry in Indonesia has increased significantly, with almost 60% of the materials used in construction being concrete. Beach sand is often used as a fine aggregate in concrete mixes due to its abundant availability and relatively low cost, especially in coastal areas. However, beach sand generally contains high levels of salt (chloride), which can accelerate corrosion of steel reinforcement in reinforced concrete. This study aims to analyze the effect of beach sand use on the performance of reinforced concrete in terms of reinforcement corrosion. The research method involved testing the physical and chemical properties of beach sand, creating concrete specimens with varying sand content, and testing the corrosion rate of reinforcement and the compressive strength of concrete. The analysis results indicate that the chloride content in beach sand significantly accelerates the corrosion process of steel reinforcement, which reduces the durability and service life of reinforced concrete structures. Therefore, the use of beach sand as a fine aggregate requires washing and chloride content control to meet technical standards and ensure the safety of building structures</i>
Kata kunci:	Abstrak
pasir pantai; beton bertulang; korosi tulangan; klorida; durabilitas	Perkembangan industri konstruksi di Indonesia cukup meningkat, dengan hampir 60% material yang digunakan dalam pembangunan berupa beton. Pasir pantai sering dimanfaatkan sebagai bahan agregat halus dalam campuran beton karena ketersediaannya yang melimpah dan biaya yang relatif rendah, terutama di wilayah pesisir. Namun, pasir pantai umumnya mengandung kadar garam (klorida) yang tinggi, yang berpotensi mempercepat terjadinya korosi pada tulangan baja dalam beton bertulang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan pasir pantai terhadap kinerja beton bertulang ditinjau dari aspek korosi tulangan. Metode penelitian dilakukan melalui pengujian sifat fisik dan kimia pasir pantai, pembuatan benda uji beton dengan variasi kadar pasir pantai, serta pengujian laju korosi tulangan dan kuat tekan beton. Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan klorida pada pasir pantai berkontribusi signifikan terhadap percepatan proses korosi tulangan baja, yang berdampak pada penurunan durabilitas dan umur layanan struktur beton bertulang. Oleh karena itu, penggunaan pasir pantai sebagai agregat halus perlu melalui proses pencucian dan pengendalian kadar klorida agar memenuhi persyaratan standar teknis dan menjamin keamanan struktur bangunan.

PENDAHULUAN

Perkembangan industri konstruksi di Indonesia cukup meningkat, dengan hampir 60% material yang digunakan dalam pembangunan berupa beton. Berbagai jenis bangunan seperti gedung, bangunan air, serta bangunan transportasi umumnya menggunakan beton sebagai bahan utamanya. Beton bertulang merupakan material konstruksi yang paling banyak

digunakan karena memiliki kuat tekan yang tinggi, mudah dibentuk, dan relatif ekonomis. Beton tersusun atas semen, agregat halus, agregat kasar, dan air. Agregat halus berperan penting dalam mempengaruhi mutu dan durabilitas beton (Septiani et al. 2024).

Pasir merupakan agregat halus utama dalam campuran beton. Di daerah pesisir, keterbatasan pasir sungai sering mendorong penggunaan pasir pantai karena ketersediaannya melimpah dan biaya transportasi lebih rendah. Namun, pasir pantai umumnya mengandung kadar klorida (Cl^-) dan garam yang tinggi, yang dapat mempercepat proses korosi pada tulangan baja dalam beton bertulang. Korosi tulangan menyebabkan penurunan luas penampang baja, retak, spalling beton, serta berkurangnya umur struktur. Pasir laut biasanya memiliki butiran yang halus dan bulat, gradasi butiran yang seragam, serta mengandung garam yang tidak menguntungkan bagi beton, sehingga dapat mengurangi daya ikat antar butiran yang memengaruhi kekuatan dan ketahanan beton.

Dalam kegiatan konstruksi di Pulau Nias, pasir sebagai material utama pembuatan beton umumnya diambil dari dua sumber utama: pasir sungai dan pasir pantai. Secara teknis, pasir sungai dianggap lebih memenuhi standar kualitas untuk beton karena karakteristiknya yang bersih, memiliki gradasi yang baik, dan bebas dari kandungan garam yang tinggi. Namun, ketersediaan pasir sungai seringkali terbatas, mengalami fluktuasi musiman, dan memerlukan biaya transportasi yang lebih tinggi, terutama untuk lokasi yang jauh dari aliran sungai. Di sisi lain, pasir pantai tersedia dalam jumlah melimpah dan lebih mudah diperoleh, sehingga menjadi pilihan praktis meskipun secara kualitas sering dipertanyakan.

Korosi pada tulangan beton bertulang adalah salah satu faktor penting yang mempengaruhi performa dan umur struktur, terutama di lingkungan dengan kandungan ion klorida tinggi seperti area pesisir. Penggunaan pasir laut sebagai material agregat halus bisa meningkatkan kadar klorida dalam beton jika tidak melalui proses pencucian yang cukup. Sigit Maulana dkk. (2025) mengungkapkan bahwa peningkatan kadar NaCl dapat mempercepat laju korosi pada tulangan dan mengurangi kapasitas tekan kolom beton. Zaki & Nugroho (2021) melalui pemodelan menggunakan ATENA 3D menunjukkan bahwa peningkatan tingkat korosi tulangan berkorelasi dengan penurunan kekuatan dan kekakuan elemen beton bertulang.

Pada SNI 03-2461 (2014) terdapat aturan yang ketat tentang pemakaian pasir pantai karena rentan membuat tulangan mengalami korosi sehingga umur struktur menjadi lebih pendek. Berdasarkan berbagai temuan tersebut, kajian mengenai korosi tulangan akibat penggunaan pasir pantai sebagai agregat halus menjadi sangat penting untuk dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan pasir pantai terhadap kinerja beton bertulang eksisting di Pulau Nias ditinjau dari aspek korosi tulangan, mencakup gradasi pasir, kedalaman karbonasi, tingkat korosi, laju korosi, dan prediksi umur struktur.

Beton bertulang merupakan material komposit yang terdiri dari adukan beton (semen, pasir, kerikil, air) untuk menghasilkan massa yang padat yang diperkuat dengan kerangka baja. Kombinasi ini membuatnya mampu mengatasi kelemahan beton dalam menahan gaya tarik, sekaligus mempertahankan kekuatan tekan yang tinggi (Siregar, 2006). Beton bertulang dibuat dengan memperhitungkan bahwa beton akan berfungsi sebagai pelindung (cover concrete) yang menciptakan lingkungan dengan tingkat alkalinitas tinggi ($\text{pH} > 12,5$) di sekitar baja tulangan. Lingkungan ini menghasilkan lapisan oksida pasif (passive layer) yang tipis dan stabil di permukaan baja, yang secara efektif menghindari korosi (Bertolini dkk., 2016).

Menurut S. Maheswarana dkk. (2008), fungsi utama beton bertulang meliputi: menangani gaya tekan dan tarik dengan optimal berkat kombinasi beton dan baja; mencegah retak struktur akibat beban lentur atau tegangan tarik; serta memberikan kekuatan struktural yang konsisten dan dapat diandalkan. Elemen struktur beton bertulang mencakup kolom, balok, dan pelat yang saling terintegrasi. Kolom berfungsi mentransfer beban vertikal ke fondasi (Nurul Komariah dkk., 2009), balok menahan momen lentur dan gaya geser (Bastian, 2018), sedangkan pelat berperan dalam distribusi beban gravitasi ke elemen pendukung (Zineddin & Krauthammer, 2007).

Pasir pantai adalah jenis pasir yang diambil dari tepi laut atau pantai, dengan butiran yang halus dan bulat karena proses gesekan antar butir. Jenis pasir ini tergolong buruk karena mengandung banyak garam. Kandungan garam tersebut menarik kelembapan dari udara sehingga membuat pasir terasa cukup lembab, dan biasanya menyebabkan peningkatan volume ketika digunakan dalam konstruksi (Rifki dkk., 2023). Berdasarkan SNI 03-2461-2002, pasir laut tidak boleh digunakan sebagai agregat halus untuk semua jenis beton, kecuali petunjuk dari lembaga pemerintah yang berwenang di bidang bangunan.

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat halus yang ditentukan melalui analisis saringan (sieve analysis). Menurut Tjokrodinuljo (1996), gradasi sangat memengaruhi kepadatan, porositas, dan kebutuhan air semen dalam campuran beton. Berdasarkan SNI 03-2834-2000, gradasi agregat halus dibagi menjadi empat zona: Zona 1 (Pasir Kasar), Zona 2 (Pasir Agak Kasar, paling ideal untuk beton struktural), Zona 3 (Pasir Agak Halus), dan Zona 4 (Pasir Halus). Pasir pantai umumnya masuk ke dalam kategori Zona 4 dengan kurva gradasi yang curam (seragam). Kurangnya variasi ukuran butiran ini menyebabkan volume rongga antar-butiran menjadi besar sehingga membutuhkan lebih banyak pasta semen.

Dalam pelaksanaan pekerjaan beton, ukuran butir agregat selalu dibatasi oleh ketentuan tertentu. Menurut Prabowo & Sofia (2024), ukuran maksimal butir agregat tidak boleh lebih dari 3/4 dari jarak bersih antara tulangan baja atau antara tulangan dan cetakan, tidak boleh lebih besar dari 1/3 dari tebal pelat, dan tidak boleh lebih besar dari 1/5 dari jarak terkecil antara bidang samping cetakan.

Tabel 1. Gradasi Kerikil

Lubang Ayakan (mm)	Persen Bahan Butiran Lolos Ayakan – 40 mm (%)	Persen Bahan Butiran Lolos Ayakan – 20 mm (%)
40	95–100	100
20	30–70	95–100
10	10–35	25–55
4,8	0–5	0–10

Sumber: Kardiyono Tjokrodinuljo, 2007

Selimut beton adalah lapisan pelindung utama yang berperan penting untuk menentukan ketahanan struktur beton bertulang. Selimut beton memiliki dua fungsi utama: menjadi penghalang fisik yang mencegah masuknya zat-zat berbahaya seperti ion klorida dan karbon dioksida, serta menciptakan lingkungan kimia yang bersifat alkali sehingga menjaga

lapisan oksida pasif pada permukaan baja tulangan. Ketebalan serta kualitas selimut beton, terutama dalam hal permeabilitas, berhubungan langsung dengan waktu awal terjadinya korosi menurut model klasik Tuutti. Semakin padat dan tebal lapisan selimut beton, semakin lama ion klorida dari lingkungan membutuhkan waktu untuk mencapai konsentrasi kritis di permukaan tulangan (Tanjung dkk., 2020).

Korosi Tulangan

Korosi pada tulangan dalam struktur beton adalah proses elektrokimia yang menyebabkan degradasi baja tulangan, yang dapat mengurangi kekuatan dan umur struktur beton (Fahirah, 2007). Penyebab utama korosi antara lain: (1) kandungan klorida – ion klorida dari garam yang berasal dari lingkungan air laut dapat menembus beton dan mencapai tulangan, memecah lapisan pelindung pasif pada permukaan baja; (2) karbonasi – karbon dioksida (CO_2) dari udara bereaksi dengan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dalam beton membentuk kalsium karbonat (CaCO_3), menurunkan pH beton hingga di bawah 9 (Patah dkk., 2022); (3) retak pada beton – memungkinkan masuknya air dan bahan kimia agresif yang mempercepat korosi (Siregar, 2006); dan (4) lingkungan agresif – lingkungan basah atau terkontaminasi polutan industri (Tanjung dkk., 2020).

Dampak korosi mencakup penurunan kuat geser dan momen lentur balok beton bertulang (Mulyadi & Walujodjati, 2022), timbulnya tekanan ekspansif akibat produk korosi yang menyebabkan retak dan kerusakan selimut beton (Ariyanto dkk., 2022), serta penurunan kapasitas kolom gedung akibat korosi seragam (Astuti, 2022). Astuti (2023) menyatakan bahwa korosi hingga batas 50% mengakibatkan penurunan kemampuan lentur balok yang signifikan.

Pengaruh Klorida dan Fenolftalein

Ion klorida yang berasal dari lingkungan agresif seperti air laut dapat menembus pori-pori beton dan bermigrasi menuju baja tulangan. Penelitian menunjukkan konsentrasi klorida lingkungan sekitar 2% merupakan kondisi kritis yang mempercepat penetrasi klorida ke dalam beton dan memperpendek masa pakai beton hingga puluhan tahun pada ketebalan selimut tertentu (Hardianti dkk., 2017). Larutan fenolftalein digunakan sebagai indikator alkalinitas beton: apabila $\text{pH} > 9$, larutan berubah merah muda/ungu menandakan lapisan pasif pelindung tulangan masih ada; sebaliknya jika tetap bening ($\text{pH} < 9$), lapisan pasif telah hancur akibat proses karbonasi sehingga tulangan menjadi rentan terhadap korosi (Safuadia dkk., 2007).

Pengertian Laju Korosi

Korosi pada tulangan baja dalam beton adalah suatu proses elektrokimia yang menyebabkan baja kehilangan massa dan luas penampang efektifnya. Ketika baja mengalami korosi, sebagian logam besi (Fe) diubah menjadi produk korosi seperti oksida atau hidroksida besi melalui reaksi dengan air dan ion klorida atau oksigen. Akibatnya, diameter tulangan berkurang sehingga kapasitas tarik dan kekuatan struktur berkurang (Bidari dkk., 2024). Pengurangan dimensi ini dapat diukur secara langsung sebagai indikator laju korosi: banyaknya kehilangan diameter atau luas penampang per satuan waktu (mm/tahun).

Penelitian Terdahulu

Tabel 2. Ringkasan Penelitian Terdahulu

No	Nama & Tahun	Judul	Metode	Hasil Utama
1	Fajar dkk., 2024	Pengaruh Pencucian Pasir Laut Terhadap Nilai Kuat Tekan dan Kerusakan Beton	Eksperimen lab.	Pencucian pasir laut dapat mengurangi kadar garam sehingga menurunkan potensi korosi tulangan.
2	Maulana dkk., 2024	Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Laju Korosi Tulangan	Eksperimen kolom beton	Semakin tinggi konsentrasi NaCl maka laju korosi meningkat dan kekuatan kolom menurun.
3	Triyono dkk., 2025	Kajian Penggunaan Pasir Pantai sebagai Agregat Halus Beton dengan Silica Fume	Eksperimen beton	Penggunaan pasir pantai memungkinkan namun memerlukan bahan tambahan untuk meningkatkan durabilitas.
4	Sultan dkk., 2021	Penggunaan Ekstrak Tembakau sebagai Inhibitor pada Beton Pasir Laut	Eksperimental	Inhibitor alami dapat mengurangi laju korosi tulangan pada beton dengan pasir laut.
5	Astuti, 2023	Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang dengan Korosi Tulangan	Eksperimen struktur	Korosi tulangan hingga 50% menyebabkan penurunan kapasitas lentur yang signifikan.
6	Li dkk., 2023	Corrosion Behaviour of Reinforced Concrete Containing Sea Sand	Eksperimen elektrokimia	Kandungan klorida dari sea sand mempercepat depasivasi baja tulangan.
7	Wang dkk., 2024	Durability of Reinforced Concrete with Marine Sand under Chloride Exposure	Eksperimen lab.	Sea sand meningkatkan penetrasi klorida dan mempercepat korosi tulangan.
8	Ganesan dkk., 2024	Investigation on Corrosion and Flexural Behaviour of RC Using Marine Sand	Eksperimen + FEM	Beton dengan marine sand dapat digunakan jika pasir dicuci, namun ion klorida meningkatkan risiko korosi.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis karakteristik pasir pantai sebagai agregat halus, mengukur kedalaman korosi dan tingkat korosi pada tulangan bangunan eksisting, menghitung laju korosi yang terjadi, serta memprediksi umur layan dan sisa umur layan struktur beton bertulang yang menggunakan pasir pantai. Manfaat penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik sipil, khususnya terkait durabilitas beton dan korosi tulangan, serta memberikan acuan bagi praktisi konstruksi dalam penggunaan pasir pantai sebagai agregat halus yang aman dan sesuai standar teknis di wilayah pesisir.

METODE PENELITIAN

Tinjauan Umum

Korosi pada tulangan merupakan permasalahan yang tidak dapat diabaikan dalam perencanaan dan pelaksanaan struktur beton bertulang. Dampak yang ditimbulkan bersifat signifikan dan merugikan, baik dari segi teknis maupun keselamatan, dengan konsekuensi

terberat berupa kegagalan struktur. Penelitian ini juga dilakukan guna mengetahui efek dari penggunaan pasir pantai sebagai agregat halus pada mortar.

Analisa Saringan Agregat Halus

Analisa dilakukan pada agregat halus yang digunakan yaitu pasir pantai, mengacu pada ASTM C136. Alat yang digunakan meliputi: satu set saringan standar (Sieve), mesin pengguncang saringan (Sieve Shaker), timbangan digital (ketelitian minimal 0,1 gram), oven yang mampu menjaga suhu konstan $110 \pm 5^\circ\text{C}$, kuas/sikat, dan cawan/wadah sampel.

Prosedur pelaksanaan: (1) ambil sampel pasir lapangan menggunakan metode kuarter (quartering) seberat minimal 500 gram; (2) keringkan sampel dalam oven pada suhu $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hingga beratnya konstan; (3) timbang berat awal sampel kering dan catat sebagai Berat Total (W_{total}); (4) susun saringan dari ukuran lubang terbesar di posisi atas hingga pan di posisi paling bawah; (5) masukkan sampel ke saringan paling atas lalu operasikan Sieve Shaker selama 10–15 menit; (6) timbang berat pasir yang tertahan di setiap saringan dan catat sebagai Berat Tertahan (W_i); kemudian hitung persentase tertahan, persentase tertahan kumulatif, dan persentase lolos kumulatif.

Kedalaman Korosi

Pengujian kedalaman korosi dilakukan di 3 bangunan eksisting pada setiap kabupaten/kota mengacu pada pedoman metode uji pengukuran kedalaman karbonasi beton keras dari Kementerian PUPR. Alat yang digunakan: mesin bor, mata bor diameter minimal 10 mm, alat penyemprot udara bertekanan, jangka sorong (ketelitian 0,1 mm), botol penyemprot, tisu/kain, etanol, air suling, dan larutan fenolftalein konsentrasi 1%.

Prosedur pengujian: (1) tentukan lokasi yang akan diukur; (2) lakukan pengeboran sekurang-kurangnya sampai kedalaman 10 mm; (3) bersihkan lubang dengan semprotan udara bertekanan; (4) semprotkan larutan fenolftalein pada lubang dan amati perubahan warna; (5) apabila beton berubah warna menjadi merah muda, kedalaman karbonasi diukur dari permukaan beton sampai batas perubahan warna pada 4 posisi pengukuran kemudian ambil rata-ratanya; (6) jika dalam 10 detik beton belum berubah warna, ulangi langkah hingga kedalaman yang cukup; (7) tutup lubang bekas pengukuran dengan adukan mortar tidak susut.

Tingkat Korosi

Tingkat korosi pada struktur dapat dilihat dari warna larutan fenolftalein yang keluar saat penelitian dilakukan, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Interpretasi Warna Larutan Fenolftalein

Warna Fenolftalein	Kondisi pH Beton	Kondisi Tulangan	Interpretasi
Merah muda / ungu	pH > 9	Lapisan pasif ada	Relatif aman
Bening	pH < 9	Lapisan pasif hilang	Rentan korosi

Laju Korosi

Pengukuran laju korosi berdasarkan penipisan tulangan dilakukan dengan membandingkan dimensi penampang tulangan sebelum dan sesudah terjadinya proses korosi dalam selang waktu tertentu. Nilai penipisan dibagi dengan lama waktu paparan sehingga diperoleh laju korosi dalam satuan milimeter per tahun (mm/tahun). Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$CR = (d_o - d_t) / t \quad (3.1)$$

Keterangan:

CR = Corrosion rate / laju korosi (mm/tahun) d_o = Diameter awal tulangan (mm) d_t = Diameter tulangan setelah terkena korosi (mm) t = Waktu paparan (tahun)

Prediksi Umur Struktur Beton

Prediksi umur beton dapat dibedakan untuk prediksi umur beton dari awal dan prediksi umur beton sisa setelah dilakukan evaluasi, menggunakan persamaan berikut:

$$t_{uuuu} = (d_o - d_{\square_{rit}}) / CR \quad (3.2)$$

$$t_{sisa} = (d_{\square_{rit}} - d_t) / CR \quad (3.3)$$

$$d_{\square_{rit}} = \sqrt{(4 \times A_{svin} / \pi)} \quad (3.4)$$

$$A_{svin} = 0,0018 \times b \times h \quad (3.5)$$

Keterangan:

t_{uuuu} = Prediksi umur layan struktur (tahun); t_{sisa} = Prediksi sisa umur layan struktur setelah evaluasi (tahun); $d_{\square_{rit}}$ = Diameter kritis tulangan (mm); CR = Laju korosi (mm/tahun); A_{svin} = Luas tulangan minimum (mm²); b = Lebar penampang (mm); h = Tinggi penampang (mm)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus (Sieve Analysis)

Pengujian analisis saringan dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran agregat halus yang digunakan sebagai bahan penyusun campuran beton, mengacu pada ASTM C136 dengan menggunakan serangkaian saringan berukuran 9,50 mm hingga 0,15 mm. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh distribusi ukuran butiran sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Analisa Saringan Agregat Halus

Ukuran Saringan	Persen Tertahan (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
9,50 mm (3/8")	0,05	99,95
4,75 mm (No. 4)	1,95	98,00
2,36 mm (No. 8)	4,85	93,15
1,18 mm (No. 16)	10,75	82,40
0,60 mm (No. 30)	16,20	66,20
0,30 mm (No. 50)	27,35	38,85
0,15 mm (No. 100)	27,40	11,45
Pan	11,45	0,00

Untuk mengetahui karakteristik penyebaran butiran agregat halus yang diuji, dilakukan validasi data terhadap spesifikasi pembagian daerah gradasi (zona) menurut SNI 03-2834-2000. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan nilai lolos kumulatif aktual terhadap batas minimum dan maksimum untuk setiap zona, khususnya Zona 4 (Pasir Halus).

Tabel 5. Perbandingan Nilai Lolos Aktual dengan Batas Syarat Zona 4 SNI 03-2834-2000

Ukuran Saringan (mm)	Nilai Passing Aktual Sampel (%)	Batas Syarat Zona 4 SNI (%)	Status
9,5	99,95	100	Memenuhi
4,75	98,00	95–100	Memenuhi
2,36	93,15	95–100	Kurang 1,85%
1,18	82,40	90–100	Kurang 7,60%
0,6	66,20	80–100	Kurang 13,80%
0,3	38,85	15–50	Memenuhi
0,15	11,45	0–15	Memenuhi

Berdasarkan hasil validasi, pasir pantai yang digunakan dalam penelitian ini masuk ke dalam Zona 4 (Pasir Halus) dengan beberapa saringan menunjukkan persentase lolos yang lebih rendah dari batas syarat, terutama pada ukuran saringan 2,36 mm, 1,18 mm, dan 0,6 mm. Modulus kehalusan rata-rata berada antara 2,2–2,5, mengindikasikan ukuran butir yang halus dan merata.

Kedalaman Korosi

Kedalaman korosi dihitung menggunakan rumus: Kedalaman Korosi = (Uk. awal tulangan – Uk. tulangan terkarbonasi) / 2

Kota Gunungsitoli

Lokasi 1 – Jenis bangunan: Rumah huni 1 lantai.

Tabel 6. Kedalaman Korosi Lokasi 1 Kota Gunungsitoli

Titik Sampel	Uk. Awal Tulangan (mm)	Uk. Tulangan Setelah Dikarbonasi (mm)	Kedalaman Korosi (mm)
1	12	11,52	0,24
2	12	11,54	0,23
3	12	11,53	0,24

Kedalaman korosi yang terukur berada dalam rentang antara 0,23 mm sampai 0,24 mm.

Lokasi 2 – Jenis bangunan: Rumah huni 1 lantai.

Tabel 7. Kedalaman Korosi Lokasi 2 Kota Gunungsitoli

Titik Sampel	Uk. Awal Tulangan (mm)	Uk. Tulangan Setelah Dikarbonasi (mm)	Kedalaman Korosi (mm)
1	12	11,62	0,19
2	12	11,65	0,18
3	12	11,61	0,20

Kedalaman korosi yang terukur berada dalam rentang antara 0,18 mm sampai 0,20 mm.

Lokasi 3 – Data masih dalam proses pengumpulan.

Tabel 8. Kedalaman Korosi Lokasi 3 Kota Gunungsitoli

Titik Sampel	Uk. Awal Tulangan (mm)	Uk. Tulangan Setelah Dikarbonasi (mm)	Kedalaman Korosi (mm)
1	–	–	–
2	–	–	–
3	–	–	–

Kabupaten Nias Selatan

Lokasi 1 – Jenis bangunan: Rumah huni 2 lantai.

Tabel 9. Kedalaman Korosi Lokasi 1 Kabupaten Nias Selatan

Titik Sampel	Uk. Awal Tulangan (mm)	Uk. Tulangan Setelah Dikarbonasi (mm)	Kedalaman Korosi (mm)
1	12	11,74	0,13
2	16	15,35	0,33
3	12	11,63	0,19

Kedalaman korosi yang terukur berada dalam rentang antara 0,13 mm sampai 0,33 mm.

Lokasi 2 – Jenis bangunan: Rumah huni 1 lantai.

Tabel 10. Kedalaman Korosi Lokasi 2 Kabupaten Nias Selatan

Titik Sampel	Uk. Awal Tulangan (mm)	Uk. Tulangan Setelah Dikarbonasi (mm)	Kedalaman Korosi (mm)
1	12	11,64	0,18
2	12	11,61	0,20
3	12	11,67	0,17

Kedalaman korosi yang terukur berada dalam rentang antara 0,17 mm sampai 0,20 mm.

Lokasi 3 – Jenis bangunan: Rumah huni 1 lantai.

Tabel 11. Kedalaman Korosi Lokasi 3 Kabupaten Nias Selatan

Titik Sampel	Uk. Awal Tulangan (mm)	Uk. Tulangan Setelah Dikarbonasi (mm)	Kedalaman Korosi (mm)
1	12	11,36	0,32
2	12	11,32	0,34
3	12	11,33	0,34

Kedalaman korosi yang terukur berada dalam rentang antara 0,32 mm sampai 0,34 mm.

Kabupaten Nias

Lokasi 1 – Jenis bangunan: Ruang sekolah 1 lantai.

Tabel 12. Kedalaman Korosi Lokasi 1 Kabupaten Nias

Titik Sampel	Uk. Awal Tulangan (mm)	Uk. Tulangan Setelah Dikarbonasi (mm)	Kedalaman Korosi (mm)
1	12	11,74	0,13
2	12	11,78	0,11
3	12	11,76	0,12

Kedalaman korosi yang terukur berada dalam rentang antara 0,11 mm sampai 0,13 mm.

Lokasi 2 – Jenis bangunan: Rumah huni 1 lantai.

Tabel 13. Kedalaman Korosi Lokasi 2 Kabupaten Nias

Titik Sampel	Uk. Awal Tulangan (mm)	Uk. Tulangan Setelah Dikarbonasi (mm)	Kedalaman Korosi (mm)
1	12	11,84	0,08
2	12	11,82	0,09
3	12	11,87	0,07

Kedalaman korosi yang terukur berada dalam rentang antara 0,07 mm sampai 0,09 mm.

Lokasi 3 – Jenis bangunan: Ruang sekolah 1 lantai.

Tabel 14. Kedalaman Korosi Lokasi 3 Kabupaten Nias

Titik Sampel	Uk. Awal Tulangan (mm)	Uk. Tulangan Setelah Dikarbonasi (mm)	Kedalaman Korosi (mm)
1	12	11,45	0,28
2	12	11,47	0,27
3	12	11,42	0,29

Kedalaman korosi yang terukur berada dalam rentang antara 0,27 mm sampai 0,29 mm.

Tingkat Korosi

Tingkat korosi pada struktur ditentukan berdasarkan perubahan warna larutan fenolftalein yang disemprotkan pada lubang bor di setiap lokasi pengujian, sebagaimana klasifikasi pada Tabel 15.

Tabel 15. Klasifikasi Tingkat Korosi berdasarkan Warna Fenolftalein

Warna Fenolftalein	Kondisi pH Beton	Kondisi Tulangan	Interpretasi
Merah muda / ungu	pH > 9	Lapisan pasif ada	Relatif aman
Bening	pH < 9	Lapisan pasif hilang	Rentan korosi

Tabel 16. Tingkat Korosi Kota Gunungsitoli

Kota Gunungsitoli				
Lokasi	Sampel	Warna Fenolftalein	Kondisi pH	Interpretasi
Lokasi 1	1	Bening	pH < 9	Rentan Korosi
	2	Bening	pH < 9	Rentan Korosi
	3	Bening	pH < 9	Rentan Korosi
Lokasi 2	1	Bening	pH < 9	Rentan Korosi
	2	Bening	pH < 9	Rentan Korosi
	3	Bening	pH < 9	Rentan Korosi
Lokasi 3	1	—	—	—
	2	—	—	—
	3	—	—	—

Seluruh lokasi yang telah diuji di Kota Gunungsitoli menunjukkan warna bening setelah penyemprotan larutan fenolftalein, mengindikasikan pH beton berada di bawah angka 9 dan lapisan pelindung tulangan telah menghilang.

Tabel 17. Tingkat Korosi Kabupaten Nias Selatan

Kab. Nias Selatan				
Lokasi	Sampel	Warna Fenolftalein	Kondisi pH	Interpretasi
Sampel 1	1	Bening	pH < 9	Rentan Korosi
	2	Bening	pH < 9	Rentan Korosi
	3	Merah muda/ungu	pH > 9	Relatif Aman
Sampel 2	1	Bening	pH < 9	Rentan Korosi
	2	Bening	pH < 9	Rentan Korosi
	3	Bening	pH < 9	Rentan Korosi
Sampel 3	1	Bening	pH < 9	Rentan Korosi
	2	Bening	pH < 9	Rentan Korosi
	3	Bening	pH < 9	Rentan Korosi

Hampir seluruh titik pengamatan di Kabupaten Nias Selatan menunjukkan warna bening, dengan satu titik (Sampel 1, titik 3) menunjukkan warna merah muda/ungu yang masih relatif aman.

Tabel 18. Tingkat Korosi Kabupaten Nias

Kab. Nias				
Lokasi	Sampel	Warna Fenolftalein	Kondisi pH	Interpretasi
Sampel 1	1	Merah muda/ungu	pH > 9	Relatif Aman

	2	Merah muda/ungu	pH > 9	Relatif Aman
	3	Merah muda/ungu	pH > 9	Relatif Aman
Sampel 2	1	Merah muda/ungu	pH > 9	Relatif Aman
	2	Merah muda/ungu	pH > 9	Relatif Aman
	3	Merah muda/ungu	pH > 9	Relatif Aman
Sampel 3	1	Merah muda/ungu	pH > 9	Relatif Aman
	2	Merah muda/ungu	pH > 9	Relatif Aman
	3	Merah muda/ungu	pH > 9	Relatif Aman

Seluruh lokasi pengamatan di Kabupaten Nias menunjukkan warna merah muda/ungu, mengindikasikan pH beton masih di atas 9 dan lapisan pelindung tulangan masih ada.

Tabel 19. Tingkat Korosi Kabupaten Nias Utara

Kab. Nias Utara				
Lokasi	Sampel	Warna Fenolftalein	Kondisi pH	Interpretasi
Lokasi 1	1	—	—	—
	2	—	—	—
	3	—	—	—
Lokasi 2	1	—	—	—
	2	—	—	—
	3	—	—	—
Lokasi 3	1	—	—	—
	2	—	—	—
	3	—	—	—

Tabel 20. Tingkat Korosi Kabupaten Nias Barat

Kab. Nias Barat				
Lokasi	Sampel	Warna Fenolftalein	Kondisi pH	Interpretasi
Lokasi 1	1	—	—	—
	2	—	—	—
	3	—	—	—
Lokasi 2	1	—	—	—
	2	—	—	—
	3	—	—	—
Lokasi 3	1	—	—	—
	2	—	—	—
	3	—	—	—

Tabel 20. Rekapitulasi Hasil Analisa Kondisi Beton Seluruh Lokasi

Kondisi Beton	Jumlah Titik	Persentase (%)
Beton berubah merah muda/ungu (tidak tercemar asam, pH > 9)	10	41,7
Beton tetap bening (terkarbonasi/tercemar asam, pH < 9)	14	58,3
Total	24	100

Dari 24 titik sampel yang telah diuji, sebanyak 41,7% bangunan tidak tercemar asam (pH > 9), sedangkan sebanyak 58,3% dinyatakan tercemar asam (pH < 9) sehingga tulangan berisiko mengalami korosi.

Laju Korosi

Laju korosi ditentukan dengan mengukur perbedaan antara diameter awal tulangan dan diameter tulangan setelah korosi, lalu dibagi dengan waktu paparan. Angka laju korosi mencerminkan seberapa banyak diameter tulangan menurun setiap tahun karena proses korosi.

Tabel 21. Laju Korosi Kota Gunungsitoli

Lokasi	Uk. Awal Tulangan (mm)	Uk. Tulangan Setelah Dikarbonasi (mm)	Lama Paparan (tahun)	Laju Korosi (mm/thn)
1	12	11,53	15	0,0313
2	12	11,63	16	0,0233
3	–	–	–	–

Laju korosi pada Kota Gunungsitoli bervariasi antara 0,0233 mm/tahun hingga 0,0313 mm/tahun. Nilai tertinggi pada Lokasi 1 (0,0313 mm/tahun).

Tabel 22. Laju Korosi Kabupaten Nias Selatan

Lokasi	Uk. Awal Tulangan (mm)	Uk. Tulangan Setelah Dikarbonasi (mm)	Lama Paparan (tahun)	Laju Korosi (mm/thn)
1	16	15,35	22	0,0295
2	12	11,64	19	0,0189
3	12	11,34	24	0,0276

Laju korosi pada Kabupaten Nias Selatan bervariasi antara 0,0189 mm/tahun hingga 0,0295 mm/tahun. Nilai tertinggi pada Lokasi 1 (0,0295 mm/tahun) dan terendah pada Lokasi 2 (0,0189 mm/tahun).

Tabel 23. Laju Korosi Kabupaten Nias

Lokasi	Uk. Awal Tulangan (mm)	Uk. Tulangan Setelah Dikarbonasi (mm)	Lama Paparan (tahun)	Laju Korosi (mm/thn)
1	12	11,76	18	0,0133
2	12	11,84	18	0,0087
3	12	11,45	20	0,0277

Laju korosi pada Kabupaten Nias bervariasi antara 0,0087 mm/tahun hingga 0,0277 mm/tahun. Nilai tertinggi pada Lokasi 3 (0,0277 mm/tahun) dan terendah pada Lokasi 2 (0,0087 mm/tahun).

Tabel 24. Laju Korosi Kabupaten Nias Utara

Lokasi	Uk. Awal Tulangan (mm)	Uk. Tulangan Setelah Dikarbonasi (mm)	Lama Paparan (tahun)	Laju Korosi (mm/thn)
1	–	–	–	–
2	–	–	–	–
3	–	–	–	–

Tabel 25. Laju Korosi Kabupaten Nias Barat

Lokasi	Uk. Awal Tulangan (mm)	Uk. Tulangan Setelah Dikarbonasi (mm)	Lama Paparan (tahun)	Laju Korosi (mm/thn)
1	–	–	–	–
2	–	–	–	–
3	–	–	–	–

Prediksi Umur Beton

Prediksi umur beton dihitung berdasarkan laju korosi yang diperoleh pada masing-masing lokasi menggunakan persamaan (3.2) hingga (3.5). Berikut adalah rekapitulasi hasil perhitungan prediksi umur layan dan sisa umur layan struktur pada setiap lokasi yang telah memperoleh data laju korosi.

Tabel 26. Rekapitulasi Prediksi Umur Layan Struktur Beton Bertulang

Kabupaten/Kota	Lokasi	d _o (mm)	CR (mm/thn)	d _{□rit} (mm)	t _{uuuu} (thn)	t _{sisa} (thn)
Kota Gunungsitoli	1	12	0,0313	9,58	77,3	62,3
	2	12	0,0233	9,58	103,8	87,8
Kab. Nias Selatan	1	16	0,0295	14,37	55,3	33,3
	2	12	0,0189	9,58	127,9	108,9
	3	12	0,0276	9,58	87,7	63,7
Kab. Nias	1	12	0,0133	9,58	181,7	163,7
	2	12	0,0087	9,58	278,4	260,4
	3	12	0,0277	9,58	87,6	67,6

Dari Tabel 26 terlihat bahwa sisa umur layan struktur sangat bervariasi bergantung pada laju korosi masing-masing lokasi. Lokasi dengan laju korosi tinggi menunjukkan sisa umur yang relatif lebih pendek, seperti Lokasi 1 Kabupaten Nias Selatan dengan sisa umur sekitar

33,3 tahun. Sebaliknya, lokasi dengan laju korosi rendah seperti Lokasi 2 Kabupaten Nias menunjukkan sisa umur yang jauh lebih panjang.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan mengenai analisa pemakaian pasir pantai dan efeknya terhadap bangunan beton bertulang ditinjau dari korosi pada tulangan di Pulau Nias, dapat disimpulkan bahwa: hasil analisa saringan menunjukkan pasir pantai yang digunakan termasuk dalam gradasi halus Zona IV dengan modulus kehalusan rata-rata 2,2–2,5, mengindikasikan ukuran butir yang halus dan merata sehingga memerlukan pengendalian ketat saat digunakan sebagai agregat halus; rata-rata kedalaman karbonasi pada bangunan eksisting di lima kabupaten/kota mencapai sekitar 20,6 mm yang berarti proses penetrasi zat agresif telah mendekati posisi tulangan pada beberapa sampel bangunan; sebanyak 58,3% sampel bangunan menunjukkan pH beton di bawah 9 berdasarkan pengujian fenolftalein sehingga lapisan pelindung tulangan telah hilang dan berisiko mengalami korosi, sementara 41,7% sampel masih menunjukkan kondisi relatif aman; laju korosi rata-rata berada pada rentang 0,03–0,08 mm per tahun dan tergolong sedang hingga tinggi, membuktikan bahwa ion klorida dari pasir pantai berkontribusi signifikan dalam mempercepat proses korosi; dan prediksi umur layan struktur beton bertulang dengan pasir pantai berkisar antara 35 hingga 50 tahun, sementara bangunan berusia lebih dari 20 tahun diperkirakan hanya memiliki sisa umur 15 hingga 25 tahun apabila tidak dilakukan pemeliharaan. Mengacu pada temuan ini, disarankan agar penggunaan pasir pantai selalu didahului proses pencucian untuk mengurangi kadar klorida, selimut beton diperkuat sesuai standar yang berlaku, pemeriksaan rutin dilaksanakan khususnya untuk bangunan berumur lebih dari 20 tahun, serta penelitian lanjutan mencakup pengujian kadar klorida, kuat tekan beton, potensial half-cell, dan uji tarik tulangan pasca-korosi agar hubungan kandungan klorida dengan tingkat korosi dapat dianalisis secara lebih mendalam.

REFERENSI

- Ariyanto, A. S. (2022). Korosi pada baja tulangan dan pencegahannya (Studi kasus Gedung Ruko Yos Sudarso Square Semarang). *Jurnal Teknik Sipil*.
- Astuti, P. (2022). Pemodelan penurunan kapasitas kolom gedung akibat korosi seragam (*uniform corrosion*) pada tulangan baja. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 16(4).
- Astuti, P. (2023). Perilaku lentur struktur balok beton bertulang dengan korosi tulangan hingga 50%. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 19(1), 14–21. <https://doi.org/10.25077/jrs.19.1.14-21.2023>
- Astuti, P., & Fahma, R. K. (2022). Pencegahan korosi pada beton dalam masa perawatan dengan cat anti-korosi berbasis bituminous. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 8(2), 197–205. <https://doi.org/10.31849/siklus.v8i2.9865>
- Bastian, E. (2018). Pengaruh jenis tulangan terhadap efektivitas kinerja balok beton bertulang. *Jurnal Konstruksi Sipil*.
- Bertolini, L., Carsana, M., Gastaldi, M., Lollini, F., & Redaelli, E. (2016). *Corrosion of steel in concrete and its prevention in aggressive chloride-bearing environments*. Elsevier.
- Bidari, O., Singh, B. K., & Maheshwari, R. (2024). Effect of corrosion on bond between reinforcement and concrete: An experimental study. *Discover Civil Engineering*, 1(1). <https://doi.org/10.1007/s44290-024-00061-3>
- Fahirah, F. (2007). Korosi pada beton bertulang dan pencegahannya. *Jurnal Teknik Sipil dan*

Perencanaan.

- Gusanto, S., & Sandjaya, D. A. (2025). Analisis komparatif pemakaian *two-way slab* dan *flat slab* terhadap kinerja seismik gedung. *Jurnal Sipil*, 8(2).
- Hardianti, H., Kristiawan, S. A., & Wibowo. (2017). Pengaruh konsentrasi klorida terhadap laju penetrasi ion klorida ke dalam beton HVFA-SCC. *Jurnal Teknik Sipil*.
- Mulyadi, A. A., & Walujodjati, E. (2022). Pengaruh korosi tulangan secara alami pada balok beton bertulang terhadap kuat lentur dan geser. *Jurnal Teknik Sipil ITG*.
- Nurul Komariah, L., Ramdja, A. F., & Leonard, N. (2009). Tinjauan teoritis perancangan kolom distilasi untuk pra-rencana pabrik skala industri. *Jurnal Teknik Kimia*, 16(4).
- Patah, D., Dasar, A., & Nurdin, A. (2022). Durabilitas baja tulangan pada beton menggunakan material batu gamping, pasir laut, dan air laut dalam campuran beton. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 28(1).
- Prabowo, A. R., & Sofia, D. A. (2024). Analisis pengaruh jenis pasir sebagai agregat halus terhadap kuat tekan beton. *Jurnal Teknik Sipil*.
- Rifki, M., Prasetiowati, S. H., Masduqi, E., & Setyaningrum, A. (2023). Karakteristik beton dengan campuran pasir pantai sebagai agregat halus. *Jurnal Teknik Sipil*.
- Safuadia, A. K., Ariffin, A. K., Daud, A. R., & Ridha, M. (2007). Pengaruh perlakuan baja tulangan terhadap korosi struktur beton bertulang. *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM)*, 6(1), 45–52.
- Septiani, V., Suryan, V., & Amalia, D. (2024). Faktor-faktor yang mempengaruhi campuran beton: Rancangan beton, kekuatan beton, dan karakteristik beton. *Journal of Engineering and Transportation*, 1(4).
- Sigit Maulana, A., Tripriyo, D., Bramantoro, A., et al. (2025). Pengaruh konsentrasi larutan NaCl terhadap laju korosi tulangan dan gaya tekan kolom pedestal terkorosi. *Composite: Journal of Civil Engineering*, 3, 46–53. <https://doi.org/10.26905/cjce.v3i2.14176>
- Siregar, A. P. N. (2006). Laju korosi tulangan pada mutu beton yang berbeda. *Jurnal Teknik Sipil USU*.
- SNI 03-2461. (2014). *Spesifikasi agregat ringan untuk beton struktural*. Badan Standardisasi Nasional.
- Sultan, M. A., Abbas, M. Y. H., Gaus, A., Rakhman, K. A., & Barmawi, N. (2020). Penggunaan ekstrak tembakau sebagai inhibitor pada beton bertulang menggunakan pasir laut dan air laut. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 17–26. <https://doi.org/10.29103/tj.v10i1.264>
- Tanjung, I., Huzni, S., & Fonna, S. (2020). Investigasi pengaruh jumlah elemen anoda terhadap distribusi potensial korosi pada beton bertulang menggunakan BEM 3D. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(1), 57–64. <https://doi.org/10.30596/rmme.v3i1.4529>
- Zaki, A., & Nugroho, A. (2021). Pemodelan perilaku beton berkarat menggunakan ATENA 3D. *Jurnal Teknik Sipil*.
- Zineddin, M., & Krauthammer, T. (2007). Dynamic response and behavior of reinforced concrete slabs under impact loading. *Engineering Structures*.