



---

---

## INSPEKSI NON-DESTRUKTIF PADA PONDASI BANGUNAN PESISIR: STUDI KASUS GEDUNG PASAR PULAU BELAKANG PADANG

<sup>1</sup> Vincent Yong

<sup>2</sup> Amanatullah Savitri

<sup>3</sup> Andri Irfan Rifai

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Internasional Batam  
(vincentyang81@gmail.com)

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Internasional Batam  
(amanatullahs@gmail.com)

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Internasional Batam  
(andri.irfan@uib.ac.id)

### ABSTRAK

Pasar Instruksi Presiden (Inpres) merupakan salah satu bangunan di Pulau Belakang Padang, Kota Batam, Indonesia yang dibangun pada tahun 1981. Pasar ini pernah terjadi kebakaran pada tahun 1991 dan 1993, hingga saat ini bangunan tersebut telah dibiarkan dan tidak diperbaiki atau direnovasi. Oleh karena itu, penelitian dilakukan untuk memberikan gambaran tentang penyebab kerusakan bangunan Pasar Inpres. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah investigasi lapangan, wawancara, dan uji non-destruktif dengan menggunakan *Hammer Test* terhadap pondasi beton bertulang dengan diameter 30cm x30cm dan tinggi 120cm. Kerusakan yang terjadi pada bagian atas mengekspos tulangan di dalamnya. Rata-rata nilai pantulan yang diperoleh dari titik valid Pondasi A-A adalah sekitar 29,8 MPa dan Pondasi B-B sekitar 36,4 MPa. Di Indonesia, kuat tekan minimum ( $f_c$ ) untuk beton adalah 17 MPa, yang mengindikasikan bahwa pondasi beton yang diuji telah memenuhi standar yang disyaratkan. Pasang surut air dan gelombang air laut tidak mempengaruhi pondasi beton bertulang. Penelitian ini memberikan pemahaman mendalam tentang kerusakan bangunan pesisir khususnya Pasar Inpres dan memberikan kontribusi penting pada bidang pengetahuan tentang struktur bangunan dan lingkungan maritim.

**Kata Kunci:** Non-destruktif, Beton, Pondasi, *Hammer Test*.

### ABSTRACT

*Presidential Instruction Market (Inpres) is one of the buildings on Belakang Padang Island, Batam City, Indonesia which was built in 1981. The market has experienced fires in 1991 and 1993, until now the building has been abandoned and not repaired or renovated. Therefore, a study was conducted to provide an overview of the causes of the deterioration of the Pasar Inpres building. The methods used in this research were field investigation, interviews, and non-destructive tests using Hammer Test on reinforced concrete foundations with a diameter of 30cm x30cm and a height of 120cm. The damage that occurred at the*



*top exposed the reinforcement inside. The average rebound value obtained from the valid point of Foundation A-A was about 29.8 MPa and Foundation B-B about or 36.4 MPa. In Indonesia, the minimum compressive strength ( $f'_c$ ) for concrete is 17 MPa, which indicates that the tested concrete has met the required standard. Tides and seawater waves did not affect the reinforced concrete foundation. This research provides an in-depth understanding of the deterioration of coastal buildings particularly Pasar Inpres and makes an important contribution to the field of knowledge on building structures and the maritime environment.*

**Keyword:** *Nondestructive, Concrete, Foundation, Hammer Test.*

## **PENDAHULUAN**

Investigasi forensik menggunakan prinsip-prinsip teknik untuk menganalisis dan menentukan penyebab kerusakan dan kegagalan struktural serta mengidentifikasi dan mengkarakterisasi peristiwa-peristiwa di dunia nyata dengan berbagai tingkat kerumitan (Sangiorgio *et al.*, 2019). Investigasi ini mencakup berbagai faktor seperti data, material, kimia, sistem pemantauan, dan teknologi untuk mengungkap akar penyebab masalah dan memprediksi dampaknya. Tujuan investigasi forensik yaitu menentukan penyebab kerusakan: Investigasi forensik membantu mengidentifikasi faktor-faktor spesifik yang berkontribusi terhadap kerusakan bangunan, seperti erosi pantai, banjir, gelombang, atau gelombang badai (Delatte and Rens, 2003; Baskoro, Atmodjo and Purwanto, 2016). Memahami akar penyebabnya sangat penting untuk mengembangkan tindakan remediasi dan pencegahan yang efektif. Temuan dari investigasi dapat memandu para insinyur dan pembuat kebijakan dalam mengembangkan strategi untuk mengurangi dampak paparan pesisir terhadap bangunan dan meningkatkan ketahanannya.

Beton bertulang merupakan bahan konstruksi yang banyak digunakan dan dikenal karena kekuatan dan daya tahannya. Namun, berbagai faktor dapat menyebabkan penurunan kualitas dan kerusakan dini. Faktor-faktor penyebab hal tersebut bisa berupa pemadatan dan penempatan tulangan yang tidak memadai, paparan lingkungan, rasio pencampuran yang tidak tepat, penutup beton yang tidak memadai untuk tulangan, pengerjaan dan kontrol kualitas yang buruk. Mengatasi faktor-faktor penyebab ini dan menerapkan langkah-langkah pencegahan dapat secara signifikan memperpanjang masa pakai bangunan dan infrastruktur beton bertulang, meningkatkan ketahanan dan keberlanjutan dalam menghadapi tantangan lingkungan.

Penyelidikan forensik pernah dilakukan untuk menginvestigasi kegagalan dan kerusakan struktur bangunan (Cogurcu, 2015; Etemadi and Balkaya, 2020; Rabindra *et al.*, 2022). Salah satunya adalah analisis yang dilakukan untuk memeriksa kerusakan dan kegagalan runtuhnya bangunan beton bertulang di Konya, Turki, yang menyebabkan kematian 92 orang (Etemadi and Balkaya, 2020). Investigasi ini bertujuan untuk menentukan jalur beban alternatif dan mekanisme kegagalan, yang menunjukkan bahwa gaya dalam struktur bangunan tidak didistribusikan dengan baik (Cogurcu, 2015). Penelitian lain menyelidiki



efek kerusakan akibat kebakaran pada bangunan beton bertulang dan kegagalan jembatan beton prategang yang sedang dibangun di Nepal (Rabindra *et al.*, 2022). Penyelidikan tersebut di atas dilakukan dengan fokus pada investigasi bangunan gedung dan jembatan sedangkan penelitian pada bangunan di wilayah pesisir pantai masih sangat minim.

Struktur yang dibangun di lingkungan pesisir, terutama struktur beton bertulang, lebih rentan terhadap degradasi (Morshed *et al.*, 2020). Degradasi dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti proses pencampuran beton yang kurang tepat, beban struktural, pengaruh suhu, iklim, reaksi kimia, benturan dan pengaruh lingkungan (Wiyanto, 2020; Sumartini and Tandedi, 2023). Hal ini menjadi tantangan tersendiri bagi masyarakat yang tinggal di dekat pantai, seperti di Pulau Belakang Padang, Batam, Kepulauan Riau, Indonesia. Bangunan yang berada di wilayah pesisir cenderung lebih sering terpapar oleh berbagai ancaman seperti pengaruh gelombang air laut, cuaca ekstrem, intensitas hujan yang tinggi, badai dan lainnya.

Pondasi merupakan salah satu bagian bangunan yang berfungsi untuk meneruskan atau menyalurkan beban-beban bangunan yang berada di atas dan beban pondasi itu sendiri ke dalam tanah (Imriyanti, 2021). Pondasi terdiri dari beberapa jenis antara lain:

- a. Tiang pancang mengambang, yaitu kelompok pondasi tiang yang berfungsi untuk menopang bangunan yang memiliki kapasitas dukung rendah dan berada di wilayah yang sangat dalam serta dapat mengandalkan tahanan kulit untuk menopang beban-beban yang akan timbul.
- b. Tiang pancang pendukung, yaitu kelompok pondasi tiang yang memiliki fungsi yang sama seperti tiang pancang mengambang. Namun, tidak dapat dapat mengandalkan tahanan kulit untuk menopang beban-bean yang akan timbul.
- c. Kaison bor atau pilar bor, yaitu pondasi yang mirip dengan tiang pancang, namun lebih hemat dan digunakan untuk menopang beban yang lebih besar.

Bangunan Pasar Instruksi Presiden (Inpres) merupakan bangunan yang dibangun pada tahun 1981 di Pulau Belakang Padang, Kota Batam, Kepulauan Riau, Indonesia. Bangunan ini dibangun di atas permukaan air laut dengan memanfaatkan pondasi yang mengambang di atas permukaan tanah dan hanya memiliki 1 (satu) tingkatan lantai yang dimanfaatkan masyarakat sebagai pasar. Namun, saat ini bangunan telah hancur akibat kebakaran dan dibiarkan, tidak diperbaiki atau direnovasi hingga saat ini dan hanya menyisakan reruntuhan pondasi beton bertulang. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menginvestigasi kekuatan pondasi beton bertulang yang tersisa akibat kebakaran, ombak, dan paparan air laut terhadap bangunan Pasar Inpres.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang penyebab kerusakan bangunan pesisir, membuka kemungkinan untuk investigasi forensik lebih lanjut untuk melindungi bangunan lain di pulau tersebut dari kerusakan yang serupa terhadap infrastruktur yang pada wilayah pesisir.



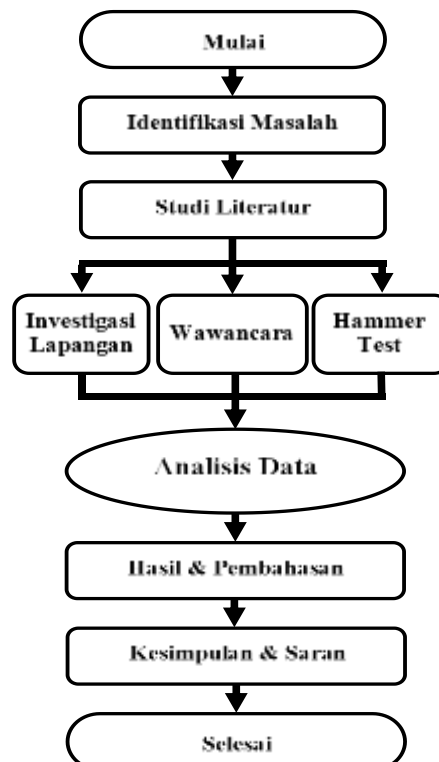
## METODE PENELITIAN

Objek dari penelitian ini adalah pondasi beton bertulang pada bangunan Pasar Inpres yang telah mengalami kerusakan di Pulau Belakang Padang, Kota Batam, Kepulauan Riau, Indonesia dengan titik koordinat 1°09'19.4"N 103°53'30.2"E seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Pasar Inpres, Pulau Belakang Padang)  
(Sumber: Penulis, 2023)

Objek tersebut kemudian dianalisa dengan tahapan-tahapan yang ditunjukkan oleh diagram alir (Gambar 2).



Gambar 2. Diagram Alir  
(Sumber: Penulis, 2023)



Investigasi lapangan dengan cara observasi, digunakan sebagai metode utama dalam penelitian ini. Observasi merupakan teknik pengumpulan data dengan mengamati dan meninjau objek-objek alam yang memiliki ciri spesifik (Ahyyar *et al.*, 2020). Selama observasi dan inspeksi dilakukan beberapa tindakan diantaranya adalah mengukur ukuran panjang, lebar dan tinggi tiang pondasi serta didokumentasikan melalui gambar atau foto.

Penelitian ini juga menggunakan metode wawancara terhadap penduduk lokal Pulau Belakang Padang. Wawancara merupakan Teknik pengumpulan data dengan tanya jawab antara dua orang atau lebih secara lisan untuk mendapatkan informasi tertentu (Ahyyar *et al.*, 2020). Wawancara dilakukan untuk memperoleh data mengenai Pasar Inpres yang telah hancur saat ini dan hanya tersisa runtuh pondasi bangunan.

Non-destruktif atau dikenal juga dengan *Non Destructive Test (NDT)* dengan memanfaatkan alat *Schmidt Hammer Test* (Brencich *et al.*, 2013; El Masri and Rakha, 2020). Alat ini banyak digunakan karena tidak merusak struktur bangunan, tidak memerlukan biaya yang besar, sangat sederhana dan mudah digunakan (Weidner *et al.*, 2012; Brencich *et al.*, 2013). *Hammer Test* dimanfaatkan untuk mengukur sifat mekanik pada struktur beton, sehingga tepat untuk digunakan pada bangunan yang belum diketahui indikator kekuatannya (Rahim *et al.*, 2020). *Hammer Test* terdiri dari massa bermuatan pegas yang dilepaskan untuk menghantam permukaan beton, dan pendorong mengukur jarak pantulan palu setelah tumbukan (Brencich *et al.*, 2013). *Hammer Test* memberikan estimasi kekuatan permukaan beton dan dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kondisi permukaan, kadar air, dan keberadaan tulangan (Chairunisa, 2020). Dalam *Hammer Test* terdapat "nilai pantulan" yang dihitung dengan cara jarak pantulan yang dibagi dengan awal panjang pegas (Kumavat, Chandak and Patil, 2021). Nilai pantulan ini digunakan yang digunakan sebagai indikator kekuatan beton.

*Non Destructive Test (NDT)* dengan memanfaatkan alat *Schmidt Hammer Test* merupakan metode terakhir yang digunakan dalam penelitian ini. *NDT* dilakukan terhadap pondasi beton bertulang Pasar Inpres. Terdapat 5 titik percobaan *Hammer Test* dilakukan yakni pada ketinggian 10 cm, 20 cm, 50 cm, 70 cm dan 120 cm terhadap runtuh pondasi beton bertulang pada bangunan Pasar Inpres. Titik percobaan dengan ketinggian tersebut di atas diambil karena permukaan pondasi beton bertulang yang masih memiliki kondisi yang baik. Nilai *rebound* atau pantulan dari pengujian menggunakan alat *Schmidt Hammer Test* kemudian di konversi menjadi data kekuatan beton dalam bentuk grafik konversi. Data yang diperoleh dalam penelitian ini kemudian akan dianalisa faktor penyebab kerusakan dan kekuatan beton yang tersisa pada pondasi bangunan Pasar Inpres.

## HASIL & PEMBAHASAN

### Investigasi Lapangan

Objek penelitian yang telah dipilih untuk penelitian ini dilakukan serangkaian pengukuran dan pengamatan yang cermat, sesuai dengan metode penelitian ilmiah yang telah mapan. Pengukuran yang dilakukan mencakup berbagai parameter yang relevan dengan objek penelitian tersebut. Selain itu, pengamatan juga akan dilakukan untuk memahami karakteristik dan perilaku objek secara mendalam.



Terdapat dua objek runtuh pondasi beton bertulang Pasar Inpres yang menjadi sampel pengukuran dalam penelitian ini yaitu pondasi A-A dan pondasi B-B seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Pondasi A-A  
(Sumber: Penulis, 2023)



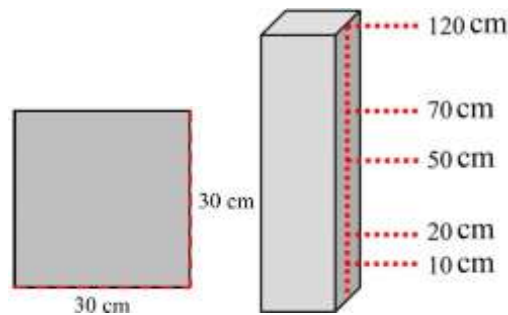
Gambar 4. Pondasi B-B  
(Sumber: Penulis, 2023)

Seperti yang terlihat pada Gambar 5, proses pengukuran akan melibatkan penggunaan peralatan khusus (meteran) yang telah terkalibrasi dengan baik untuk memastikan akurasi dan keandalan data yang diperoleh. Pengamatan dilakukan dengan cermat dan berulang-ulang untuk mengeliminasi kemungkinan kesalahan dan memastikan konsistensi hasil.



Gambar 5. Proses Pengukuran Tiang Pondasi  
(Sumber: Penulis, 2023)

Penelitian ini juga akan melibatkan analisis data yang ketat dan interpretasi yang seksama untuk menarik kesimpulan yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan. Berikut Gambar 6 merupakan *layout* ukuran pondasi Pasar Inpres di Pulau Belakang Padang.



Gambar 6. Layout Pondasi Pasar Inpres di Pulau Belakang Padang  
(Sumber: Penulis, 2023)

Dengan demikian, diperoleh ukuran pondasi beton bertulang Pasar Inpres di Pulau Belakang Padang yaitu memiliki diameter panjang tapak 30 cm dengan lebar 30 cm dan tinggi pondasi 120 cm terhitung dari permukaan tanah. Adapun tulangan yang digunakan pada pondasi tersebut yaitu besi dengan diameter  $\pm 16$  mm. Selimut pondasi juga memiliki ketebalan yang cukup variatif, terdiri dari ukuran 4 mm sampai dengan 20 mm.



Gambar 7. Proses Pengambilan Sampel Lapisan Karat Pada Tulangan Pondasi  
(Sumber: Penulis, 2023)

Hasil yang diperoleh menunjukkan kondisi terkini dari struktur pondasi beton bertulang yang memburuk dengan adanya retak mayor dan minor pada hampir seluruh struktur. Kerusakan telah mempengaruhi hampir seluruh bagian atas dari struktur pondasi beton dan telah merusak selimut beton, mengekspos tulangan di dalamnya sehingga bagian tulangan dapat diperoleh dengan menggunakan tangan seperti yang ditunjukkan dengan Gambar 7.

### Wawancara

Menurut Bapak Hermanto, mantan Kepala Desa Tanjung Sari, Pulau Belakang Padang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8, bangunan tersebut dibangun pada tahun 1981 atas perintah presiden untuk digunakan sebagai pasar tradisional yang dikenal dengan pasar instruksi presiden (Inpres). Proyek pembangunan pasar ini sendiri merupakan inisiatif pemerintah sebagai bagian dari upaya untuk mengembangkan dan memajukan wilayah tersebut, serta memberikan fasilitas perdagangan yang lebih baik dan terorganisir bagi masyarakat setempat.



Gambar 8. Proses Wawancara dengan Bapak Hermanto, mantan Kepala Desa Tanjung Sari, Pulau Belakang Padang  
(Sumber: Penulis, 2023)

Bangunan ini pernah mengalami dua kali kebakaran yaitu pada tahun 1991 dan 1993. Terhitung sejak kebakaran pada tahun 1993 hingga saat ini, bangunan tersebut telah dibiarkan dan tidak diperbaiki atau direnovasi, sehingga kondisinya semakin memburuk seiring berjalannya waktu. dan hanya meninggalkan reruntuhan tiang penyangga bangunan (pondasi) yang masih terlihat di permukaan seperti Gambar 9.



Gambar 9. Reruntuhan Pondasi Bangunan Pasar Inpres  
(Sumber: Penulis, 2023)

Pondasi beton bertulang memiliki panjang 6-8 meter dan dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Saat air pasang, seluruh bagian pondasi beton bertulang dapat terendam oleh air laut, sementara saat air surut, pondasi beton bertulang tidak terendam oleh air laut sama sekali. Pada umumnya pasang surut terjadi dari waktu pagi hingga malam hari dimana surut air laut terjadi pada pagi hari dan pasang air laut terjadi pada siang hari hingga malam hari. Pada wilayah Pasar Inpres juga tidak terlalu terpengaruh oleh gelombang air laut karena posisi pasar yang berada di tengah dan ditutupi oleh bangunan-bangunan lainnya.

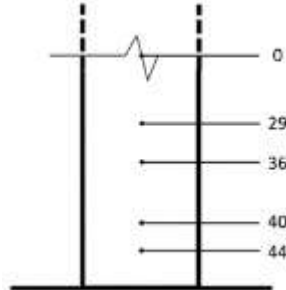
#### Non Destructive Test (NDT)

Hasil pengujian *Non Destructive Test (NDT)* menunjukkan bahwa terhadap pondasi A-A, pada 5 (lima) titik seperti yang ditunjukkan Gambar 10, hanya satu titik yang menunjukkan nilai pantulan 0 MPa pada ketinggian 120 cm dikarenakan permukaan pondasi beton bertulang pecah saat proses pemberian tekanan *Hammer Test*, sedangkan pada ketinggian 70 cm menunjukkan nilai

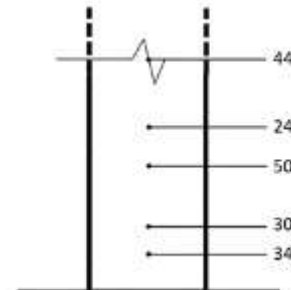




pantulan 29 MPa, ketinggian 50 cm menunjukkan nilai pantulan 36 MPa, ketinggian 20 cm menunjukkan nilai pantulan atau 44 MPa, ketinggian 10 cm menunjukkan nilai pantulan 44 MPa.



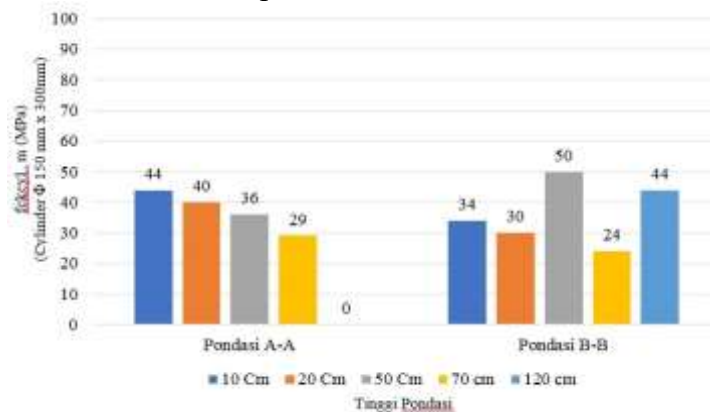
Gambar 10. Layout Pondasi A-A  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)



Gambar 11. Layout Pondasi B-B  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Nilai pantulan yang diperoleh dari titik valid pondasi B-B seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11, pada ketinggian 120 cm adalah 44 MPa, ketinggian 70 yaitu 24 MPa, ketinggian 50 cm yaitu 50 MPa, ketinggian 20 cm yaitu 30 MPa, ketinggian 10 cm yaitu 34 MPa,

Nilai pantulan yang diperoleh dari titik valid pondasi A-A dan B-B menggunakan *Hammer Test* kemudian di konversikan ke dalam kekuatan tekan cylinder berukuran 150 mm x 300 mm seperti Gambar 13 berikut:



Gambar 13. Grafik Konversi Pondasi A-A dan B-B  
(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Tabel 1. Rata-Rata Kuat Tekan Pondasi A-A

No	Tinggi Beton	f'c (MPa)
1	10	44
2	20	40
3	50	36
4	70	29
5	120	0
<b>Total</b>		149
<b>Rata-Rata</b>		29,8

(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)



**Tabel 2.** Rata-Rata Kuat Tekan Pondasi B-B

No	Tinggi Beton	f'c (MPa)
1	10	34
2	20	30
3	50	50
4	70	24
5	120	44
<b>Total</b>		182
<b>Rata-Rata</b>		36,4

(Sumber: Hasil Penelitian, 2023)

Di Indonesia, kuat tekan minimum ( $f_c$ ) untuk beton adalah 17 MPa, yang mengindikasikan bahwa beton pondasi yang diuji telah memenuhi standar yang disyaratkan dalam SNI 2847-2019 (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kualitas struktur pondasi memenuhi standar kuat tekan minimum ( $f_c$ ) tersebut di atas yakni rata-rata kuat tekan minimum pada pondasi A-A yaitu 29,8 MPa dan pondasi B-B yaitu 36,4 MPa yang ditunjukkan dengan Tabel 1 dan Tabel 2.

## PENUTUP

Dari hasil penelitian berupa investigasi lapangan, wawancara dan pengujian *hammer test* yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Kondisi Pondasi Pasar Inpres masih memiliki kekuatan yang cukup dalam menahan beban. Walaupun demikian pondasi sudah tidak dapat digunakan karena terjadi kerusakan pada tulangan besi. Apabila akan dibangun kembali Pasar tersebut harus membuat pondasi yang baru.
2. Pondasi beton bertulang mengalami kerusakan pada sisi atas akibat pengaruh kebakaran yang terjadi pada tahun 1991 dan terakhir pada tahun 1993 sehingga lapisan karat besi tulangan terekspos pada bagian atas pondasi dan dapat diambil menggunakan tangan.
3. Pasang surut air laut dan gelombang tidak mempengaruhi pondasi beton bertulang hal tersebut dapat dibuktikan dengan hasil rata-rata kuat tekan kedua pondasi masih memadai yakni Pondasi A-A 29,8 MPa dan Pondasi B-B 36,4 MPa, dimana kondisi kuat tekan pondasi memenuhi standar sesuai SNI 2847-2019.

Untuk menentukan analisa kerusakan pondasi beton bertulang dengan lebih lanjut, perlu dilakukan eksplorasi potensi pemicu kerusakan pondasi beton bertulang lainnya melalui investigasi yang lebih mendalam seperti perbandingan antara beton yang terpengaruh oleh kebakaran dan perendaman air laut dan beton pada kondisi yang normal. Pemeriksaan kandungan yang terdapat dalam beton dan tulangan besi juga perlu dilakukan untuk hasil yang lebih detail. Selain itu, dengan adanya studi yang melibatkan simulasi numerik dapat digunakan untuk menilai penurunan kekuatan struktural dari waktu ke waktu.



## DAFTAR PUSTAKA

- Ahyar, H. *et al.* (2020) *Buku Metode Penelitian Kualitatif & Kuantitatif*.
- Badan Standardisasi Nasional (2019) Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, *Sni 2847-2019*, (8), p. 720.
- Baskoro, H., Atmodjo, W. and Purwanto, P. (2016) Studi Pengaruh Gelombang Terhadap Kerusakan Bangunan Pantai Hybrid Engineering Di Desa Timbulsloko, Demak, *Jurnal Oseanografi*, 5(3), pp. halaman 340–348.
- Brencich, A. *et al.* (2013) Calibration and Reliability of the Rebound (Schmidt) Hammer Test, *Civil Engineering and Architecture*, 1(3), pp. 66–78. Available at: <https://doi.org/10.13189/cea.2013.010303>.
- Chairunisa, N. (2020) Evaluasi Sifat Mekanis Beton di Lapangan dengan Penerapan Metode Core Drilled Test dan Schmidt Hammer Test, *Buletin Profesi Insinyur*, 3(2), pp. halaman 89–94. Available at: <https://doi.org/10.20527/bpi.v3i2.79>.
- Cogurcu, M.T. (2015) Construction and design defects in the residential buildings and observed earthquake damage types in Turkey, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(4), pp. halaman 931–945. Available at: <https://doi.org/10.5194/nhess-15-931-2015>.
- Delatte, N.J. and Rens, K.L. (2003) Forensics and Case Studies in Civil Engineering Education: State of the Art, *Perspectives in Civil Engineering: Commemorating the 150th Anniversary of the American Society of Civil Engineers*, 16, pp. halaman 207–218. Available at: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0887-3828\(2002\)16:3\(98\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0887-3828(2002)16:3(98)).
- Etemadi, A. and Balkaya, C. (2020) Collapsed-RC Building Failure Mechanisms with a Forensic Engineering Approach, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 34(5), pp. halaman 1–11. Available at: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cf.1943-5509.0001462](https://doi.org/10.1061/(asce)cf.1943-5509.0001462).
- El Masri, Y. and Rakha, T. (2020) A scoping review of non-destructive testing (NDT) techniques in building performance diagnostic inspections, *Construction and Building Materials*, 265, p. 120542. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120542>.
- Imriyanti (2021) ‘Kajian Sistem Struktur dan Konstruksi Rumah Panggung di Kawasan Permukiman Pesisir Pantai (Kelurahan Cambaya Kecamatan Ujung Tanah Kota Makassar)’, *Jurnal LINEARS*, 4(2), pp. 85–92. Available at: <https://journal.unismuh.ac.id/index.php/linears>.
- Kumavat, H.R., Chandak, N.R. and Patil, I.T. (2021) Factors influencing the performance of rebound hammer used for non-destructive testing of concrete members: A review, *Case Studies in Construction Materials*, 14, p. e00491. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00491>.
- Morshed, M. *et al.* (2020) Flow regime, slug frequency and wavelet analysis of air/Newtonian and air/non-Newtonian two-phase flow’, *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(9). Available at: <https://doi.org/10.3390/app10093272>.
- Rabindra, A. *et al.* (2022) Failure Investigation of Under Construction Prestressed Concrete Bridge in Chitwan, Nepal, *Infrastructures*, 7(14). Available at: [https://www.researchgate.net/profile/Dipendra-Gautam/publication/358061090\\_Failure\\_Investigation\\_of\\_Under\\_Construct](https://www.researchgate.net/profile/Dipendra-Gautam/publication/358061090_Failure_Investigation_of_Under_Construct)



---

---

ion\_Prestressed\_Concrete\_Bridge\_in\_Chitwan\_Nepal/links/61eeb8be5779d35951cf7cf9/Failure-Investigation-of-Under-Construction-Prestressed-Conc.

- Rahim, M.A. *et al.* (2020) The Behavior of Non-Destructive Test for Different Grade of Concrete, *International Journal of Integrated Engineering*, 12(9), pp. 1–8. Available at: <https://doi.org/10.30880/ijie.2020.12.09.001>.
- Sangiorgio, V. *et al.* (2019) A new index to evaluate exposure and potential damage to RC building structures incoastal areas, *Engineering Failure Analysis*, 100(June 2018), pp. hal.439–455. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.02.052>.
- Sumartini, W.O. and Tandedi, M. (2023) Penyelidikan Forensik pada Kerusakan Bangunan Pasar Ikandi Pulau Belakang Padang, Kota Batam, Indonesia, *Bandar: Journal of Civil Engineering*, 5(1), pp. hal 51–58.
- Weidner, A.M. *et al.* (2012) Drop Hammer Test of Concrete Cylinders Considering Fiber Reinforcement and Elevated Temperature' (October), p. 93.
- Wiyanto, H. (2020) Identifikasi Degradasi Mutu Beton Pada Struktur Bangunan Gedung Di Jakarta, *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan*, 3(2), p. 313. Available at: <https://doi.org/10.24912/jmstkik.v3i2.5958>.