

SKRIPSI

ANALISIS KUAT TEKAN BETON DAN LAJU KARBONASI LANTAI DERMAGA DI PELABUHAN PAOTERE

Disusun dan diajukan oleh:

SITTI NURMAIPA DEAPATI IDRIS
D081 19 1036



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS KUAT TEKAN BETON DAN LAJU KARBONASI LANTAI DERMAGA DI PELABUHAN PAOTERE

Disusun dan diajukan oleh

SITTI NURMAIPA DEAPATI IDRIS
D081191036

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana pada Program Studi Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal, 7 Agustus 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.
NIP. 19750605 200212 1003

Pembimbing Pendamping,



Dr. Hasdinar Umar, ST., MT.
NIP. 19780428 200312 2 002

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.
NIP. 19750605 200212 1003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Sitti Numaipa Deapati Idris

NIM : D081191036

Program Studi : Teknik Kelautan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

ANALISIS KUAT TEKAN BETON DAN LAJU KARBONASI LANTAI DERMAGA DI PELABUHAN PAOTERE

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 10 juli 2023

Yang Menyatakan Tanda tangan



Sitti Numaipa Deapati Idris

ABSTRAK

SITTI NURMAIPA DEAPATI IDRIS. Analisis Kuat Tekan Beton dan Laju Karbonasi Lantai Dermaga di Pelabuhan Paotere (dibimbing oleh Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT. dan Dr. Hasdinar Umar, ST., MT.)

Salah satu fasilitas vital yang dimiliki oleh Pelabuhan Paotere untuk menunjang kelancaran operasinya adalah keberadaan dermaga yang menjadi penghubung antara aktivitas darat dan laut seperti kegiatan *loading-unloading* (bongkar muat). Berdasarkan observasi lapangan, terdapat beberapa kerusakan pada lantai dermaga di Pelabuhan Paotere yang dapat berdampak pada melemahnya struktur beton dermaga tersebut. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kuat tekan beton 10 dermaga di Pelabuhan Paotere memfokuskan pada lantai dermaga dengan pengujian *non destructive test* menggunakan alat *hammer test* untuk memperkirakan kekuatan tekan beton secara cepat. Selain itu, dengan menguji laju karbonasi dari tiap dermaga di Pelabuhan Paotere dengan menyemprotkan cairan *fenolftalein* (indikator pH) untuk dapat mengetahui kedalaman karbonasi dari struktur beton. Metode yg digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif yang sistematis terhadap fenomena sebab-akibatnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat 3 dermaga yang memiliki nilai kuat tekan beton yang di bawah nilai minimum untuk bangunan laut yaitu dermaga 1 (232,95 kg/cm²), dermaga 8 (288,46 kg/cm²) dan dermaga 10 (285,55 kg/cm²). Laju karbonasi untuk setiap dermaga di Pelabuhan Paotere yang memiliki laju karbonasi terbesar adalah dermaga 1. Hal tersebut diakibatkan karena kedalaman karbonasi cenderung akan menjadi besar pada lokasi dengan tingkat kerusakan tinggi. Dari kerusakan yang terjadi dapat diberikan solusi yang dapat ditawarkan terhadap setiap kerusakan yang terjadi di lantai dermaga tersebut, yaitu metode perbaikan *patching* untuk kerusakan keropos dan pengelupasan sementara metode injeksi bahan epoxy resin untuk kerusakan retak lantai. Berdasarkan hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan bahwa dermaga 1 memiliki tingkat kerusakan yang lebih tinggi sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut terkait analisis struktur dermaganya.

Kata Kunci: Kerusakan Dermaga, Pelabuhan Paotere, Kuat Tekan Beton, *Hammer test*, Karbonasi.

ABSTRACT

SITTI NURMAIPA DEAPATI IDRIS. *Analysis of Concrete Compressive Strength and Carbonation Rate of the Wharf Floor at the Paotere Port (supervised by Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT. and Dr. Hasdinar Umar, ST., MT.)*

One of the vital facilities owned by Paotere Port to support its smooth operation is the existence of a wharf which is a link between land and sea activities such as loading and unloading activities. Based on field observations, there was some damage to the wharf floor at Paotere Port which could have an impact on weakening the concrete wharf structure. The purpose of this study was to determine the compressive strength of 10 wharfs at the Paotere Port focusing on the wharf floor with a non-destructive test using a hammer test to improve the compressive strength of concrete quickly. In addition, by testing the carbonation level of each wharf at Paotere Port by spraying phenolphthalein liquid (pH indicator) to determine the carbonation depth of the concrete structure. The method used in this study is a systematic quantitative method of causal phenomena. The results showed that there were 3 wharfs that had concrete compressive strength values below the minimum value for marine buildings, namely wharf 1 (232.95 kg/cm²), wharf 8 (288.46 kg/cm²) and wharf 10 (285.55 kg/cm²). The carbonation rate for each wharf at Paotere Port which has the largest carbonation rate is wharf 1. This is because the depth of carbonation tends to be large at locations with high levels of damage. From the damage that occurs, a solution can be offered for any damage that occurs on the wharf floor, namely the patching repair method for porous and peeling damage while the epoxy resin injection method for cracked floor damage. Based on the results of the study it can be concluded that wharf 1 has a higher level of damage so that further research is needed regarding the analysis of the wharf structure.

Keywords: *Wharf Damage, Paotere Port, Concrete Compressive Strength, Hammer test, Carbonation.*

DAFTAR ISI

SAMPUL	
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup/Asumsi Perancangan.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Pengertian Dermaga	4
2.2 Pembebanan Dermaga	4
2.3 Pengertian Beton.....	9
2.4 Material Penyusun Beton.....	11
2.5 Kuat Tekan Beton.....	13
2.6 Metode Pengujian Kekuatan Tekan Beton.....	14
2.7 Korosi pada Beton Bertulang	19
2.8 Perbaikan Beton.....	23
2.9 Syarat-Syarat Struktur Beton Tahan Lama di Laut.....	25
2.10 Tinjauan Empiris	27
BAB 3 METODE PENELITIAN	30
3.1 Jenis Penelitian.....	30
3.2 Lokasi Penelitian	30
3.3 Teknik Pengumpulan Data	31
3.4 Diagram Alir.....	32

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian	33
4.2 Faktor Penyebab Kerusakan Dermaga di Pelabuhan Paotere.....	34
4.3 Analisis Kuat Tekan Beton Permukaan Dermaga di Pelabuhan Paotere.....	41
4.4 Uji Karbonasi Beton Bertulang Dermaga di Pelabuhan Paotere.....	44
4.5 Perbaikan Struktur Beton Dermaga di Pelabuhan Paotere.....	47
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	54
5.1 Kesimpulan.....	54
5.2 Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA.....	55
LAMPIRAN	
Lampiran 1 Peta Lokasi Penelitian	
Lampiran 2 Perhitungan Beban Benturan Kapal Saat Sandar ke Dermaga	
Lampiran 3 Perhitungan Kuat Tekan Beton Lantai Dermaga Pelabuhan Paotere	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Kondisi dermaga di Pelabuhan Paotere	2
Gambar 2.1. Jarak Pusat Berat Kapal Sampai Titik Sandar Kapal	7
Gambar 2.2. Jari-jari Putaran Disekeliling Pusat Berat Kapal	7
Gambar 2.3. Gaya angin longitudinal $\alpha = 0^\circ$	7
Gambar 2.4. Gaya angin longitudinal $\alpha = 180^\circ$	8
Gambar 2.5. Gaya angin longitudinal $\alpha = 90^\circ$	8
Gambar 2.6. Ilustrasi Skematik Kerja <i>Rebound Hammer</i> (ACI 228. IR-95)	16
Gambar 2.7. <i>Marking Area</i>	17
Gambar 2.8. Grafik nilai konversi angka pantul <i>Hammer</i> terhadap nilai kuat tekan beton	18
Gambar 2.9. Proses pengujian kuat tekan beton	19
Gambar 2.10. Fenolftalein (Indikator pH)	22
Gambar 2.11. Model fase kemunduran	28
Gambar 3.1. Lokasi Penelitian	30
Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 4. 1. Kapal LCT Remu Selatan	37
Gambar 4. 2. Kapal LCT Las 2	37
Gambar 4.3. Kerusakan Dermaga 1 Tempat Kapal LCT bersandar	37
Gambar 4.4. Kapal RSA Dr. Lie Dharmawan II	38
Gambar 4.5. Kapal Amukti Palapa	39
Gambar 4.6. Kerusakan dermaga tempat sandar kapal Amukti Palapa	40
Gambar 4.7. Visual Dermaga Paotere	41
Gambar 4.8. Pengujian <i>Hammer test</i>	41
Gambar 4.9. Titik Pengujian <i>Hammer test</i>	42
Gambar 4.10. <i>Layout</i> Pelabuhan Paotere	43
Gambar 4.11. Kondisi Dermaga 8	44
Gambar 4.12. Uji Kedalaman Karbonasi pada Beton	45
Gambar 4.13. Penambahan Kedalaman Karbonasi pada Daerah Retak	47
Gambar 4.14. Retak Lantai Dermaga di Pelabuhan Paotere	47
Gambar 4.15. Pengelupasan Lantai Dermaga di Pelabuhan Paotere	48
Gambar 4.16. Korosi Baja Tulangan Dermaga di Pelabuhan Paotere	48
Gambar 4.17. Keropos Beton Dermaga di Pelabuhan Paotere	49

Gambar 4.18. Perapihan Bidang <i>Chipping</i> Beton dengan Membentuk Bidang Persegi (PUPR, 2004)	50
Gambar 4.19. Pengupasan Beton/ <i>Chipping</i> (PUPR, 2004).....	50
Gambar 4.20. Pembersihan Korosi pada Tulangan dan Permukaan Beton (PUPR, 2004)	51
Gambar 4.21. Pelapisan Perekat (<i>Bonding-Coat</i>) (PUPR, 2004)	51
Gambar 4.22. Pengisian Bidang <i>Chipping</i> /Pendempulan (PUPR, 2004).....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kecepatan Rapat Kapal Pada Dermaga.....	6
Tabel 2.2. Gaya Tarikan Kapal	9
Tabel 2.3 Mutu beton dan penggunaannya.....	10
Tabel 2.4. Perbandingan air-semen maksimum untuk beton di laut (%).....	26
Tabel 2.5 Konten semen minimum untuk beton di laut yang dibutuhkan untuk mendapat ketahanan yang memuaskan.	26
Tabel 2.6 Konten udara standard di dalam beton (%)	26
Tabel 2.7. Penelitian Terdahulu	29
Tabel 4.1. Dimensi dan Tahun Pembuatan Dermaga Pelabuhan Paotere	33
Tabel 4.2. Hasil Wawancara Penyebab Kerusakan Dermaga Paotere.....	34
Tabel 4.3. Data Kapal di Pelabuhan Paotere	35
Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Beban Benturan Kapal	40
Tabel 4.5. Hasil Pengujian <i>Hammer Test</i> Dermaga 1	42
Tabel 4.6. Hasil Kuat Tekan Beton Lantai Dermaga Pelabuhan Paotere	43
Tabel 4.7. Hasil Pemeriksaan Kedalaman Beton Terkarbonasi.....	45
Tabel 4.8. Laju Kerbonasi Per Tahun Lantai Dermaga di Pelabuhan Paotere....	46

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
E	Energi benturan (Ton.m)
V	Kecepatan kapal saat membentur dermaga (m/det)
W	Berat kapal (ton)
Cm	Koefisien massa
Ce	Koefisien eksentrisitas
Cs	Koefisien kekerasan
Cc	Koefisien tekanan arus
Cb	Koefisien blok
C	Kedalaman karbonasi (cm)
t	Umur gedung saat ini (tahun)
A	Konstanta satuan tingkat karbonasi per-tahun
K	Kuat tekan beton (kg/cm ²)
R	Angka pantul palu beton
Loa	Panjang keseluruhan kapal (m)
Lpp	Panjang garis tegak kapal (m)
B	Lebar kapal (m)
T	Sarat kapal (m)
H	Tinggi kapal (m)
V	Kecepatan kapal (knot)

KATA PENGANTAR

Assamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat, berkah dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan baik dan lancar. Shalawat dan salam penulis panjatkan kehadirat nabi Muhammad SAW. Skripsi ini ditulis penulis sebagai Tugas Akhir dalam syarat menyelesaikan Pendidikan Sarjana di Departemen Teknik kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dengan judul penelitian:

“ANALISIS KUAT TEKAN BETON DAN LAJU KARBONASI LANTAI DERMAGA DI PELABUHAN PAOTERE”

Sehubung dengan ini, penulis dengan segala rasa syukur atas bantuan dari semua pihak yang terlibat dalam mendukung perjalanan penulis dalam menempuh Pendidikan di Departemen Teknik kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dari awal hingga akhir perjalanan. Diantara pihak-pihak tersebut rasa terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Kepada bapak saya **Muh. Idris**, yang sangat berperan besar dalam perjalanan Pendidikan saya, selalu memberikan kasih sayang, doa yang tulus serta nasihat yang membangun semangat saya dalam menyelesaikan perkuliahan saya dari awal hingga akhir.
2. Almarhumah mama **Almh. St Nurjannah**, walaupun tidak menemani saya selama perjalanan kuliah yang saya tempuh, namun peran sosok mama dalam hidup saya tidak akan pernah hilang. Semua pencapaian yang saya dapatkan hingga saat ini merupakan jawaban dari doa-doa yang almh mama saya panjatkan demi kesuksesan anak-anaknya.
3. Bapak **Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.** dan Ibu **Dr. Hasdinar Umar, St., MT.** selaku Dosen Pembimbing saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Terima kasih saya ucapkan telah berkenan memberikan waktu, kesempatan serta pengetahuan bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak **Sabaruddin Rahman, ST., MT., Ph.D.**, selaku dosen Penasihat Akademik saya selama menjadi mahasiswa di Departemen Teknik kelautan

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dalam memberikan bimbingan dan arahan dalam perkuliahan yang saya tempuh.

5. Seluruh Dosen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yakni Bapak **Ir. H. Juswan, ST., MT.**, Bapak **Ashury, ST., MT.**, Bapak **Dr. Eng. Firman Husain, ST., MT.**, Bapak **Prof. Daeng Parokah, ST., MT., Ph.D.**, Bapak **Dr. Ir. Taufiqur Rachman, ST., MT.**, Bapak **Muhammad Zubair Muis Ali, ST., MT., Ph.D.**, Bapak **Habibi, ST., MT.**, dan Bapak **Fuad Mahfud Assidiq, ST., MT.** yang telah memberikan pengetahuan dan membagikan pengalaman yang sangat bermanfaat selama masa perkuliahan saya.
6. **Staf Administrasi Departemen Teknik Kelautan** yang senantiasa membantu saya dalam memenuhi kebutuhan administrasi selama masa perkuliahan di Departemen Teknik Kelautan.
7. Teruntuk pemilik nama **Ilyas Teguh Kharisma** yang sangat membantu dan berperan besar dalam penelitian saya. Terima kasih untuk selalu ada menjadi penyemangat no.1
8. **Teman-teman Mahasiswa Teknik Kelautan 2019** yang telah menjadi keluarga baru saya serta dukungan dan kenangan berkesan selama penulis menempuh dunia perkuliahan.
9. **Adakah Gosip, CCKS** dan **overthinker** yang selalu menghibur penulis agar semangat dalam menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi ini.
10. Kepada seluruh pihak yang tak sempat saya ucapkan satu persatu, terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala sumbangsih selama proses penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat penulis harapkan sebagai bahan untuk menutupi kekurangan dari penulisan skripsi ini. Penulis berharap semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Gowa, 7 Juni 2023

Sitti Nurmaipa Deapati Idris

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pelabuhan merupakan tempat yang terdiri dari daratan dan perairan di sekitarnya dengan batas-batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan ekonomi yang digunakan sebagai tempat bersandar, berlabuh, naik-turun penumpang dan atau bongkar muat barang yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan serta sebagai tempat perpindahan mitra dan antar moda transportasi. (UU no 21 Tahun 1992 Bab I Pasal 1).

Pelabuhan Paotere adalah pelabuhan rakyat yang terletak di bagian Utara Kota Makassar dalam pengelolaannya berada di bawah pengawasan PT. Pelindo IV. Pelabuhan ini berfungsi sebagai pelabuhan bongkar muat barang dan hasil-hasil perikanan. Pelabuhan Paotere adalah salah satu pelabuhan tertua di Indonesia, yang merupakan warisan dari Kerajaan Gowa-Tallo pada abad ke-14. Pelabuhan Paotere mempunyai peran penting bagi perekonomian di wilayah Sulawesi Selatan sehingga tuntutan akan jasa pelabuhan semakin meningkat.

Salah satu fasilitas vital yang dimiliki oleh Pelabuhan Paotere untuk menunjang kelancaran operasinya adalah keberadaan dermaga yang menjadi penghubung antara aktivitas darat dan laut seperti kegiatan *loading-unloading* (bongkar muat). Dalam operasinya, konstruksi dermaga di Pelabuhan Paotere merupakan struktur bangunan yang rentan mengalami kerusakan karena sering mengalami benturan oleh kapal-kapal yang hendak bersandar dan beban operasional yang bekerja pada dermaga tersebut sehingga menyebabkan kerusakan struktur beton (patah, retak, dan pengelupasan). Faktor lainnya yang berpengaruh terhadap kerusakan dermaga ini disebabkan oleh kondisi lingkungan di area laut yang bersifat agresif dengan kandungan garamnya sehingga rentan terhadap korosi pada elemen struktur beton bertulang yang bermaterial baja.



Gambar 1.1. Kondisi dermaga di Pelabuhan Paotere

(sumber: dokumentasi pribadi, 2023)

Untuk menghindarkan adanya kekhawatiran apakah dermaga tersebut masih aman digunakan atau memerlukan adanya perbaikan-perbaikan atau perkuatan secara struktural karena melihat adanya berbagai kerusakan yang terjadi pada dermaga tersebut. Untuk itu diperlukan inspeksi teknik terhadap struktur beton dari dermaga di Pelabuhan Paotere. Pengujian kuat tekan beton untuk mengetahui kuat tekan beton permukaan lantai dermaga tersebut menggunakan metode *hammer test*. Selain itu, dilakukan pula pengujian karbonasi untuk mengetahui tingkat kedalaman karbonasi beton terpasang dengan larutan *phenophtalin*.

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis akan melakukan penelitian yang berjudul "**ANALISIS KUAT TEKAN BETON DAN LAJU KARBONASI LANTAI DERMAGA DI PELABUHAN PAOTERE**". Sehingga dapat ditarik kesimpulan tentang kondisi dari struktur beton lantai dermaga dan diperoleh rekomendasi perbaikan yang perlu diterapkan pada kerusakan yang terjadi.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan uraian latar belakang maka rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Faktor apa saja yang menyebabkan kerusakan pada dermaga di Pelabuhan Paotere?
2. Bagaimana kuat tekan beton setiap lantai dermaga di Pelabuhan Paotere?
3. Bagaimana hasil uji karbonasi terhadap beton bertulang di Pelabuhan Paotere?
4. Bagaimana solusi perbaikan terhadap kerusakan dermaga di Pelabuhan Paotere?

1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan

Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengidentifikasi faktor yang menyebabkan kerusakan pada dermaga di Pelabuhan Paotere.
2. Untuk mengetahui kuat tekan beton setiap lantai dermaga di Pelabuhan Paotere.
3. Untuk mengetahui hasil laju karbonasi terhadap struktur beton bertulang dermaga di Pelabuhan Paotere.
4. Untuk mengetahui solusi perbaikan terhadap kerusakan dermaga di Pelabuhan Paotere.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari penelitannya ini yaitu sebagai berikut:

1. Manfaat secara praktis
Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberi informasi mengenai pengaplikasian *hammer test* untuk mengetahui kuat tekan beton suatu dermaga dan pengujian karbonasi terhadap struktur beton bertulang suatu dermaga.
2. Manfaat bagi peneliti
Bagi peneliti dapat menjadi pengalaman yang berharga dan memperluas pengetahuan dan mengaplikasikan ilmu yang diterima selama kuliah.
3. Manfaat bagi Pelabuhan Paotere
Bagi Pelabuhan Paotere diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kuat tekan beton lantai dermaga di Pelabuhan Paotere dan laju karbonasi yang terjadi pada dermaga tersebut sebagai data awal dalam evaluasi struktur selanjutnya.

1.5 Ruang Lingkup/Asumsi Perancangan

Untuk melakukan penelitian sesuai dengan kerangka alurnya, sehingga diberikan asumsi yang membatasi masalah yaitu sebagai berikut:

1. Daya dukung tanah tidak dikaji.
2. Analisis struktur tidak dilakukan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Dermaga

Dermaga merupakan benteng rendah yang berada memanjang pada tepian pantai serta menjorok ke laut serta berposisi di wilayah pelabuhan yang biasa difungsikan untuk pangkalan dan bongkar muat barang. Dermaga berdimensi berdasarkan jenis dan ukuran kapal yang mendekat dan melakukan tambatan di dermaga tersebut. (Triadmojo 2010)

Dermaga dibedakan menjadi tiga tipe yaitu *wharf*, *pier* dan *jetty*. *Wharf* adalah dermaga yang dibuat sejajar pantai dan dapat dibuat berimpit dengan garis pantai atau agak menjorok ke laut, Biasanya digunakan untuk pelabuhan barang 6 potongan atau peti kemas dimana dibutuhkan suatu halaman terbuka yang cukup luas untuk menjamin kelancaran angkutan barang. *Pier* adalah dermaga serupa dengan *wharf* (berada di garis pantai) yang berbentuk seperti jari dan dapat untuk merapat kapal pada dua sisinya, sehingga bisa digunakan bersandar kapal dalam jumlah lebih banyak untuk satu satuan panjang pantai dan *Jetty* adalah dermaga yang dibangun menjorok cukup jauh ke arah laut, dengan maksud agar ujung dermaga berada pada kedalaman yang cukup untuk merapat kapal dan tidak diperlukan pengerukan untuk kedalaman kapal. (Triadmojo 2010)

2.2 Pembebanan Dermaga

Gaya yang bekerja pada dermaga dibedakan menjadi 2 yaitu beban vertikal dan beban horizontal. Adapun Beban Vertikal dermaga dapat dikategorikan dalam beban mati dan beban hidup. (Overseas and Area 2009)

2.2.1 Beban Vertikal

Beban vertikal dermaga terdiri dari:

1. Beban Mati

Beban mati adalah berat sendiri dari komponen struktur yang secara permanen dan konstan membebani selama waktu hidup konstruksi. Komponen-komponen tersebut diantaranya balok, poer, fender, bolder dan fasilitas – fasilitas lainnya.

2. Beban Hidup Merata Akibat Muatan

Beban hidup merupakan beban yang terjadi akibat muatan yang dianggap merata di atas dermaga. Beban hidup terbagi rata bisa berupa beban air hujan dan beban pangkalan.

3. Beban Hidup Terpusat

Beban hidup terpusat yang terjadi pada struktur dermaga merupakan beban akibat alat yang besarnya ditentukan berdasarkan peralatan yang akan digunakan di atas dermaga tersebut dan harus diposisikan sedemikian rupa sehingga menghasilkan kondisi pembebanan yang paling kritis.

2.2.2 Beban Horizontal

Beban horizontal dermaga terdiri dari:

1. Gaya Akibat Benturan Kapal (Gaya Fender)

Gaya fender yang terjadi saat kapal sedang merapat berupa gaya pukul kapal pada fender akibat kecepatan pada saat merapat, serta akibat pergoyangan kapal oleh gelombang dan angin. Energi ini kemudian diabsorpsi dan ditransfer menjadi gaya horizontal tekan yang harus mampu ditahan oleh bangunan dermaga. Hubungan antara gaya dan energi benturan tergantung pada tipe fender yang digunakan. Besar energi benturan diberikan oleh rumus berikut: (Bambang Triatmodjo 2009)

$$E = \frac{W \times V^2}{2g} \times C_m \times C_e \times C_s \times C_c \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

E : energi benturan (tm)

V : komponen tebak lurus sisi dermaga dari kecepatan kapal pada saat membentur dermaga (m/dt)

W : berat kapal

g : percepatan gravitasi (9,81)

C_m : koefisien massa

C_e : koefisien eksentrisitas

C_s : koefisien kekerasan

C_c : koefisien bentuk dari tambatan

Adapun tabel kecepatan merapat kapal pada dermaga dapat dilihat pada Tabel 2.1:

Tabel 2.1. Kecepatan Rapat Kapal Pada Dermaga

Ukuran Kapal (DWT)	Kecepatan Merapat	
	Pelabuhan (m/det)	Laut Terbuka (m/det)
Sampai 500	0,25	0,30
500 – 15.000	0,15	0,20
15.000 – 30.000	0,15	0,15
Diatas 30.000	0,12	0,15

Sumber: (Triadmojo 2010)

Koefisien massa tergantung pada gerakan air di sekeliling kapal yang dapat dihitung dengan persamaan 2.2:

$$C_m = 1 + \frac{\pi \times d}{2 \times C_b \times B} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

d : sarat kapal

C_b: koefisien blok

B : lebar kapal

Koefisien eksentrisitas adalah perbandingan antara energi sisa dan energi kinetik kapal yang merapat dan dapat dihitung dengan persamaan 2.3 dan penentuan l dan r dapat menggunakan Gambar 2.2. dan Gambar 2.3.

$$C_m = 1 + \frac{1}{1 + (\frac{l}{r})^2} \dots \dots \dots (2.3)$$

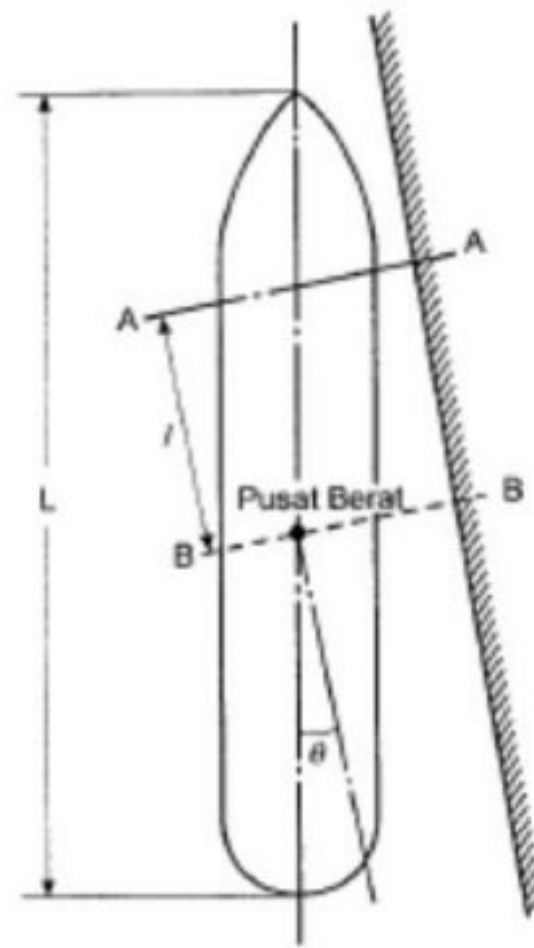
Keterangan:

l : jarak sepanjang permukaan air dermaga dari pusat berat kapal sampai titik sandar kapal

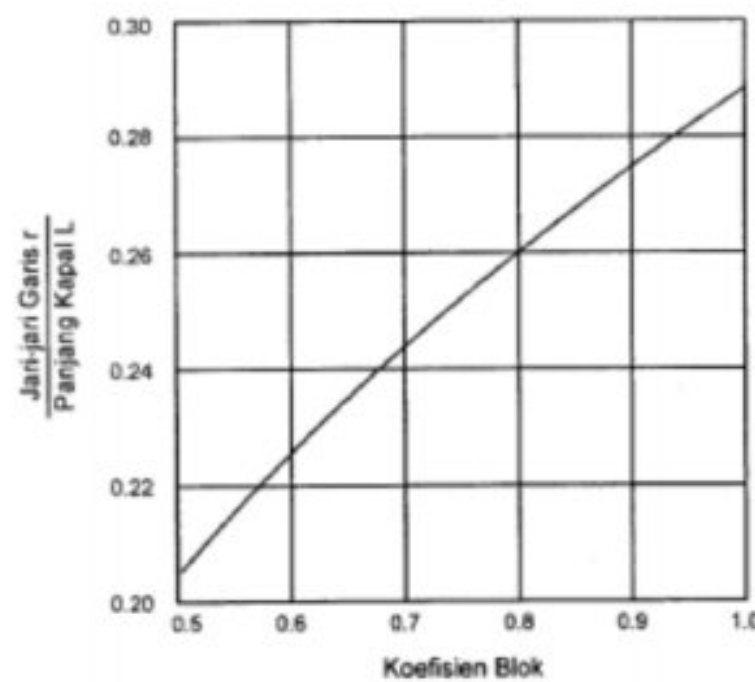
l = 1/4 Loa (dermaga) (m)

l = 1/6 Loa (dolphin) (m)

r = jari-jari putaran disekeliling pusat berat kapal pada permukaan air



Gambar 2.1. Jarak Pusat Berat Kapal Sampai Titik Sandar Kapal



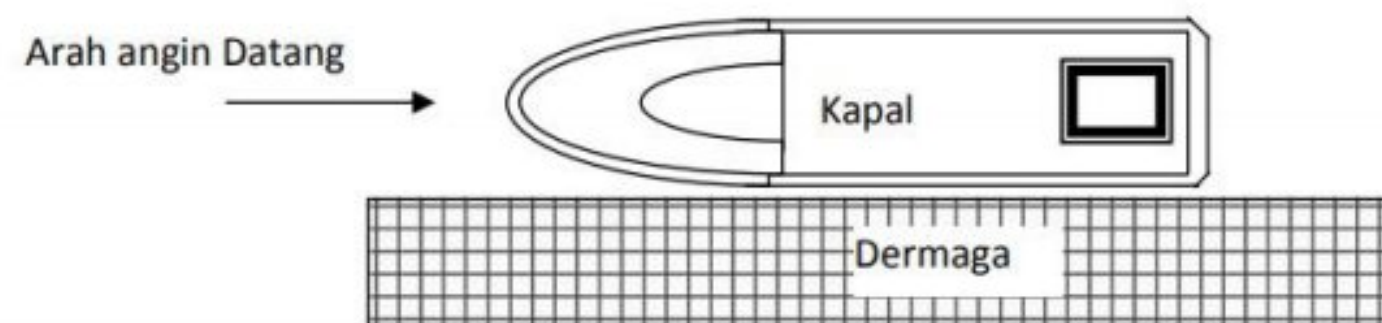
Gambar 2.2. Jari-jari Putaran Disekeliling Pusat Berat Kapal

2. Gaya Akibat Angin

Gaya akibat angin adalah gaya benturan kapal pada dermaga yang disebabkan oleh angin yang berhembus ke badan kapal yang akan merambat pada dermaga. Apabila arah angin menuju dermaga, maka gaya yang ditimbulkan adalah gaya benturan terhadap dermaga, sebaliknya jika arahnya meninggalkan dermaga maka akan menyebabkan gaya tarikan kapal pada alat penambat. Besar gaya angin dapat dihitung dengan rumus berikut: (Bambang Triatmodjo 2009)

Gaya longitudinal apabila angin datang dari arah haluan ($\alpha = 0^\circ$)

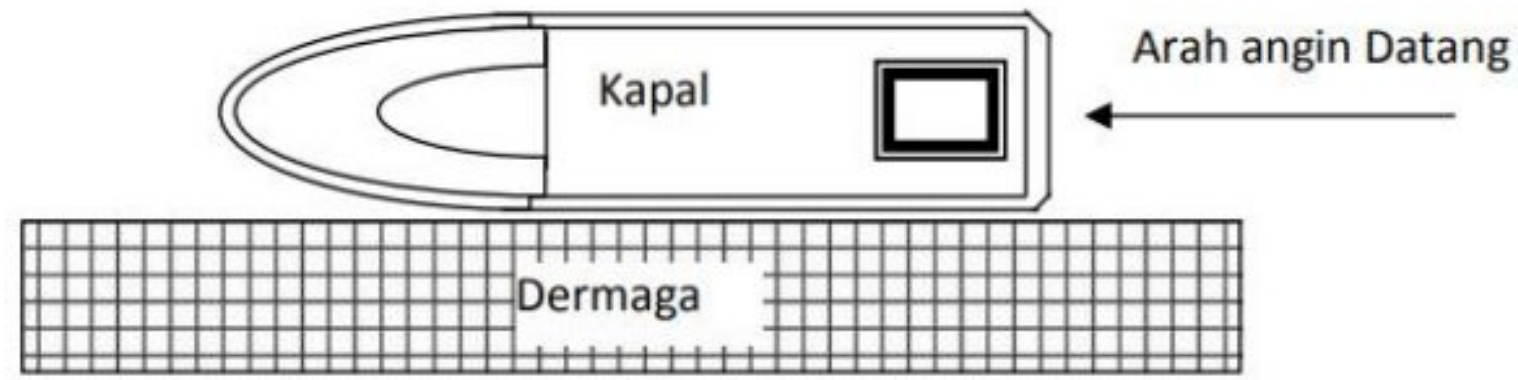
$$R_w = 0,42 \times Q_a \times A_w \dots\dots\dots(2.4)$$



Gambar 2.3. Gaya angin longitudinal $\alpha = 0^\circ$

Gaya longitudinal apabila angin datang dari arah haluan ($\alpha = 180^\circ$)

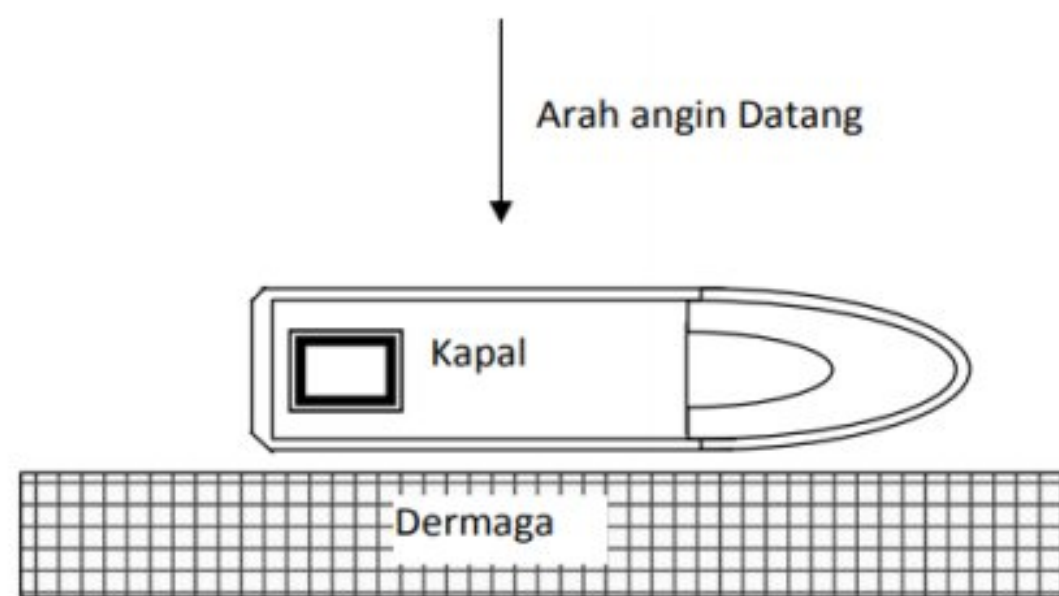
$$R_w = 0,5 \times Q_a \times A_w \dots\dots\dots(2.5)$$



Gambar 2.4. Gaya angin longitudinal $\alpha = 180^\circ$

Gaya longitudinal apabila angin datang dari arah haluan ($\alpha = 90^\circ$)

$$R_w = 1,1 \times Q_a \times A_w \dots\dots\dots(2.6)$$



Gambar 2.5. Gaya angin longitudinal $\alpha = 90^\circ$

Dimana:

$$Q_a = 0,063 V^2$$

Keterangan:

R_w : gaya akibat angin (kg)

Q_a : tekanan angin (kg/m^2)

V : kecepatan angin (m/dt)

A_w : proyeksi bidang yang tertiuip angin (m^2)

3. Gaya Akibat Arus

Arus yang bekerja pada bagian kapal yang terendam air juga akan menyebabkan terjadinya gaya pada kapalyang kemudian diteruskan pada 10 dermaga dan alat penambat (bollard). Besar gaya yang ditimbulkan oleh arus diberikan oleh persamaan berikut: (Bambang Triatmodjo 2009)

Gaya tekanan karena arus yang bekerja dalam arah haluan

$$R_f = 0,14 \times S \times V^2 \dots\dots\dots(2.7)$$

Gaya tekan arus yang bekerja pada arah sisi kapal

$$R_f = 0,50 \times \rho \times C \times V^2 \times B' \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan:

R_f = gaya akibat arus (kg)

S = luas penampang kapal yang terendam oleh air (m^2)

ρ = rapat massa air laut ($\rho = 104,5 \text{ kgf dt}/m^4$)

C = koefisien tekanan arus (diambil 1)

V = kecepatan arus (m/s)

B' = luas sisi kapal di bawah permukaan air (m^2)

4. Gaya Tarikan Kapal

Gaya tarikan kapal pada dermaga dapat dihitung dengan cara :

- Gaya tarikan pada bollard yang terdapat pada tabel untuk berbagai ukuran kapal dalam GRT, selain gaya tersebut yang bekerja secara horizontal, bekerja juga gaya vertikal sebesar $\frac{1}{2}$ dari nilai yang tercantum dalam tabel.
- Gaya tarikan kapal pada bitt yang terdapat pada tabel untuk berbagai ukuran kapal dalam GRT, yang bekerja dalam semua arah.

Tabel 2.2. Gaya Tarikan Kapal

Bobot Kapal (DWT)	Gaya Tarik pada Bollard (ton)	Gaya Tarik pada Bitt (ton)
200 – 500	15	15
501 – 1.000	25	25
1.001 – 2.000	35	25
2.001 – 3.000	35	35
3.001 – 5.000	50	35

Sumber : (Overseas and Area 2009)

2.3 Pengertian Beton

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa tambahan membentuk massa padat. (Badan Standardisasi Indonesia 1991)

Beton merupakan bahan dari campuran antara Portland cement, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), air dengan tambahan adanya rongga-rongga udara. Campuran bahan-bahan pembentuk beton harus ditetapkan sedemikian rupa, sehingga menghasilkan beton basah yang mudah dikerjakan, memenuhi kekuatan tekan rencana setelah mengeras dan cukup ekonomis. (Sutikno 2003)

Menurut (Bahar, Suardi, Nur Al Fata, Rahman Suhandha 2005), Saat ini terdapat beberapa jenis beton yang dapat ditemui. Jenis-jenis beton tersebut digunakan berdasarkan fungsinya. Uraian jenis-jenis beton dan fungsinya yaitu:

1. Beton ringan

Beton ringan memiliki berat jenis kurang dari 1.900 kg/m³ . Beton ringan digunakan untuk elemen *non*-struktural. Beton ringan dibuat dengan cara membuat gelembung udara dalam adukan semen dan menggunakan agregat ringan (tanah liat bakar/batu apung) atau pembuatan beton *non*-pasir.

2. Beton normal

Beton normal memiliki berat jenis 2.200 – 2.500 kg/m³ . Beton normal digunakan hampir pada setiap elemen struktur bangunan.

3. Beton berat

Beton berat memiliki berat jenis lebih dari 2.500 kg/m³ . Beton berat digunakan untuk struktur tertentu, seperti struktur yang harus tahan terhadap radiasi atom.

4. Beton jenis lain

Beton jenis lain merupakan beton yang digunakan untuk struktur yang memiliki persyaratan khusus, seperti: beton massa, ferosemen, beton serat, beton siklop, beton hampa, beton ekspos, dll.

Klasifikasi mutu beton dan penggunaannya menurut Departemen PU Puslitbang Prasarana Transportasi, Divisi 7 dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut ini: (DPU 2005)

Tabel 2.3 Mutu beton dan penggunaannya

Jenis Beton	Fc (MPa)		Uraian
Mutu tinggi	35-65	K400-K800	Umumnya digunakan untuk beton prategang seperti tiang pancang beton prategang, gelagar beton prategang, pelat beton prategang dan sejenisnya.
Mutu sedang	20-<35	K250-<K400	Umumnya digunakan untuk beton bertulang seperti pelat lantai jembatan, gelagar beton bertulang, diafragma, kerb beton pracetak, gorong-gorong beton bertulang, bangunan bawah jembatan.
Mutu rendah	15-<20	K175-<K250	Umunya digunakan untuk struktur beton tanpa tulangan seperti beton siklop, trotoar dan pasangan batu kosong yang diisi adukan, pasangan batu.
	10-<15	K125-<K175	Digunakan sebagai lantai kerja, penimbunan kembali dengan beton

Sumber: (DPU 2005)

2.4 Material Penyusun Beton

Beton didefinisikan sebagai sekumpulan interaksi mekanis dan kimiawi dari material pembentuknya (Nawy 1985). Dengan demikian, masing-masing komponen tersebut perlu dipelajari. Material penyusun beton itu sendiri terdiri dari semen, air, dan agregat serta bahan tambah bila diperlukan. Berikut ini adalah material-material yang merupakan komposisi campuran beton :

2.4.1 Semen

Karena beton terbuat dari agregat yang diikat bersama oleh pasta semen yang mengeras maka kualitas semen sangat memengaruhi kualitas beton. Pasta semen adalah lem, yang bila semakin tebal tentu semakin kuat. Namun jika terlalu tebal juga tidak menjamin lekatan yang baik . (Antoni 2007)

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi aktif setelah berhubungan dengan air. Agregat tidak memainkan peranan yang penting dalam reaksi kimia tersebut, tetapi berfungsi sebagai bahan pengisi mineral yang dapat mencegah perubahan-perubahan volume beton setelah pengadukan selesai dan memperbaiki keawetan beton yang dihasilkan. (Mulyono 2005)

Semen merupakan hasil industri yang sangat kompleks, dengan campuran serta susunan yang berbeda-beda. Semen dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu:

1. Semen *non*-hidrolik

Semen *non*-hidrolik tidak dapat mengikat dan mengeras didalam air, akan tetapi dapat mengeras di udara. Contoh utama dari semen *non*-hidrolik adalah kapur.

2. Semen hidrolik

Semen hidrolik mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras di dalam air. Contoh semen hidrolik antara lain kapur hidrolik, semen pozzolan, semen terak, semen alam, semen portland, semen portlandpozzolan, semen portland terak tanur tinggi, semen alumina dan semen ekspansif. Contoh lainnya adalah semen portland putih, semen warna, dan semen-semen untuk keperluan khusus.

Semen portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Menurut (Plate and Plate 2003), semen portland didefinisikan sebagai semen hidrolik yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik, yang umumnya mengandung satu atau

lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya. Berat jenis yang dihasilkan berkisar antara 3,12 dan 3,16 dan berat volume sekitar 1500 kg/cm³.

Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10%, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting. (Nawy 1985)

Peraturan Beton 1989 dalam ulasannya di halaman I, membagi semen portland menjadi lima jenis yaitu : (Badan Standardisasi Indonesia 1991)

1. Tipe I, semen portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya.
2. Tipe II, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang. 11
3. Tipe III, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Tipe IV, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah.
5. Tipe V, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

2.4.2 Air

Semen tidak bisa menjadi pasta tanpa air. Air harus selalu ada di dalam beton cair, tidak saja untuk hidrasi semen, tetapi juga untuk mengubahnya menjadi suatu pasta sehingga betonnya lecah (*workable*). Jumlah air yang terikat dalam beton dengan faktor air-semen 0,65 adalah sekitar 20% dari berat semen pada umur 4 minggu. Dihitung dari komposisi mineral semen, jumlah air yang diperlukan untuk hidrasi secara teoritis adalah 35-37% dari berat semen. (Antoni 2007)

Air yang digunakan dapat berupa air tawar (dari sungai, danau, telaga, kolam, situ, dan lainnya), air laut maupun air limbah, asalkan memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Air tawar yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air laut umumnya mengandung 3,5% larutan garam (sekitar 78% adalah sodium klorida dan 15% adalah magnesium klorida). Garam-garam dalam air laut ini akan mengurangi kualitas beton hingga 20%. Air laut tidak boleh digunakan sebagai bahan campuran beton pra-tegang ataupun beton

bertulang karena resiko terhadap karat lebih besar. Air buangan industri yang mengandung asam alkali juga tidak boleh digunakan. (Mulyono 2005)

Air yang digunakan untuk campuran beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, zat organis atau bahan lainnya yang dapat merusak beton atau tulangan. Sebaiknya dipakai air tawar yang dapat diminum. (Mulyono 2005)

2.4.3 Agregat

Agregat merupakan butiran mineral yang merupakan hasil disintegrasi alami batu-batuan atau juga berupa hasil mesin pemecah batu dengan memecah batu alam. Agregat merupakan salah satu bahan pengisi pada beton, namun demikian peranan agregat pada beton sangat penting. Kandungan agregat dalam beton kira-kira mencapai 60% - 80% dari volume total beton. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan beton. Agregat dibedakan menjadi dua macam yaitu agregat kasar dan agregat halus, agregat kasar dapat didapat secara alami dan buatan. (Tjokrodinuljo 1996)

Untuk menghasilkan beton dengan kekompakan yang baik, diperlukan gradasi agregat yang baik. Gradasi agregat adalah distribusi ukuran kekerasan butiran agregat. Gradasi diambil dari hasil pengayakan dengan lubang ayakan 38mm, 25mm, 19mm, 12,5mm, 9,6mm, 4,75mm, 2,36mm, 1,18mm, 0,6mm, 0,425mm, 0,150mm untuk koral. Untuk pasir lubang ayakan 4,75mm, 2,36mm, 1,18mm, 0,6mm, 0,425mm, dan 0.15mm. Penggunaan bahan batuan dalam adukan beton berfungsi : (Antoni 2007)

1. Menghemat penggunaan semen portland.
2. Menghasilkan kekuatan yang besar pada beton.
3. Mengurangi susut pengerasan.
4. Mencapai susunan pampat beton dengan gradasi beton yang baik.
5. Mengontrol workability adukan beton dengan gradasi bahan batuan baik.

2.5 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan kekuatan tekan maksimum yang dapat dipikul beton persatuan luas. Ada empat bagian utama yang mempengaruhi kekuatan tekan beton, yaitu (1) proporsi bahan-bahan penyusunnya, (2) metode perancangan beton, (3) perawatan, (4) keadaan benda uji pada saat pengujian

tekan dilaksanakan. Berdasarkan ASTM C39, kuat tekan beton dihitung dengan membagi beban tekan maksimum yang diterima benda uji selama pengujian dengan luas penampang melintang dan menyatakan hasilnya dengan dibulatkan ke satu decimal dalam satuan MPa (0,1 MPa). Kuat tekan beton normal antara 20 – 40 MPa. (Mulyono 2005)

Faktor air semen (*water cement ratio = w/c*) sangat mempengaruhi kuat tekan beton. Semakin kecil nilai *w/c* maka jumlah airnya yang sedikit akan menghasilkan kuat tekan beton yang besar. Selain itu susunan besar butiran agregat yang baik dan tidak seragam dapat memungkinkan terjadinya interaksi antar butir sehingga rongga antar agregat dalam kondisi optimum yang menghasilkan beton padat dan kuat tekan yang tinggi.

Jenis campuran beton akan mempengaruhi kuat tekan beton. Jumlah pasta semen harus cukup untuk melumasi seluruh permukaan butiran agregat dan mengisi rongga-rongga diantara agregat sehingga dihasilkan beton dengan kuat tekan yang diinginkan. Untuk memperoleh beton dengan kekuatan seperti yang diinginkan, maka beton yang masih muda perlu dilakukan perawatan dengan tujuan agar proses hidrasi pada semen berjalan dengan sempurna. Pada proses hidrasi semen dibutuhkan kondisi dengan kelembaban tertentu. Apabila beton terlalu cepat mengering, akan timbul retak-retak pada permukaannya. Retak-retak ini akan menyebabkan kekuatan beton turun, juga akibat kegagalan mencapai reaksi hidrasi penuh.

2.6 Metode Pengujian Kekuatan Tekan Beton

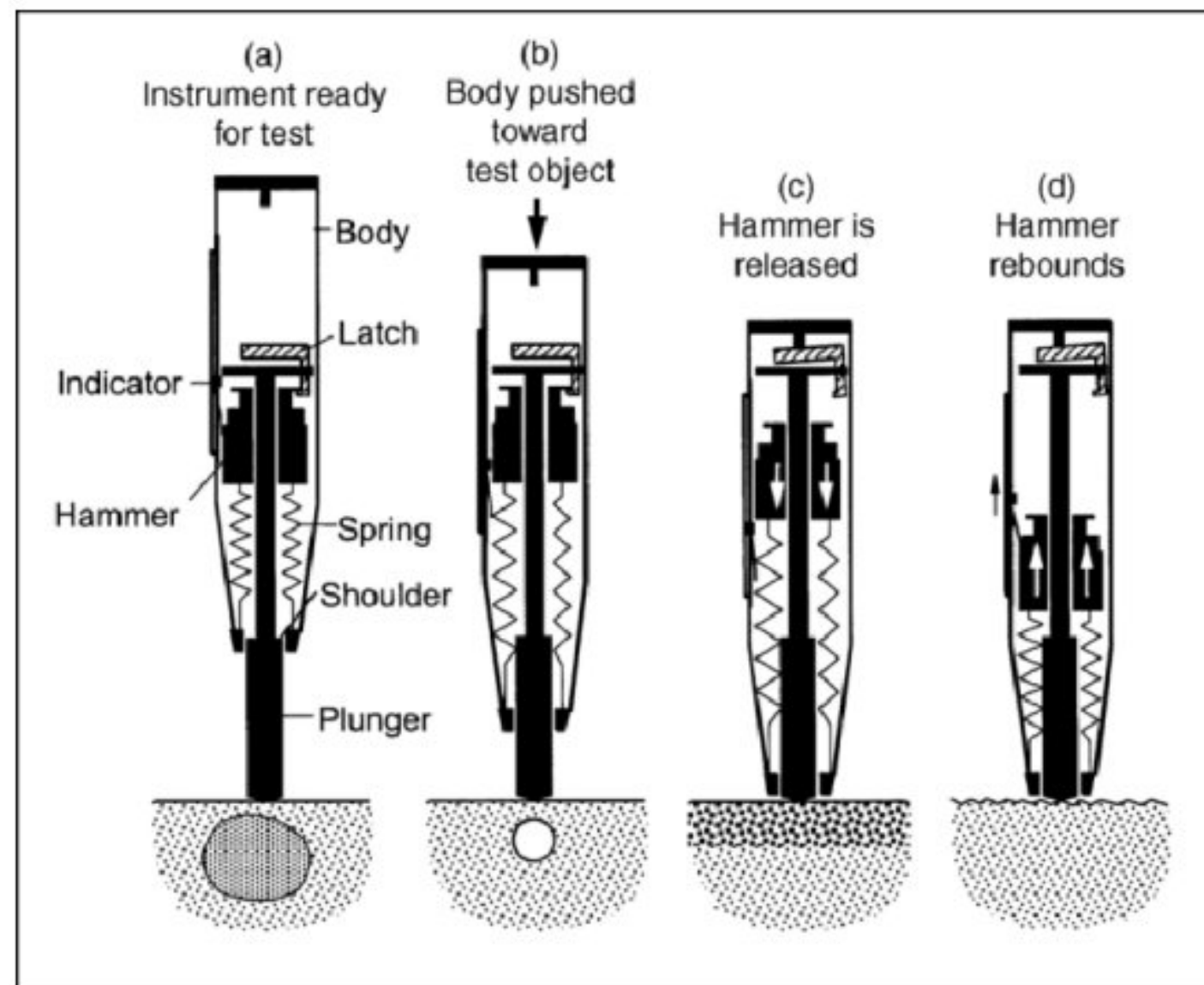
Kekuatan tekan beton dapat diuji dalam dua cara yaitu Destruktif *Test* (DT) dan *Non Destruktif Test* (NDT). Destruktif *Test* (DT) adalah pengujian yang sifatnya merusak benda uji, sampel ditekan sampai pecah, dari situ diperoleh data kekuatan beton yang sifatnya aktual. pengujian *Non Destruktif Test* (NDT) adalah salah satu metode yang digunakan untuk memprediksi kekuatan beton tanpa merusak benda uji pelaksanaannya dapat dilakukan ditempat kerja (*insitu*), hasilnya berupa data kekuatan yang bersifat perkiraan, metode yang umum dipakai adalah *hammer test* dan Test UPV. (Arwanto 2006)

2.6.1 Hammer test

Hammer test atau *rebound hammer test* (RHT), dikembangkan di Jerman pada tahun 1930, berdasarkan ASTM C805 dan BS 4408 bagian 4, dimanfaatkan untuk

menguji kekerasan permukaan beton. Pada tahun 1948 *Hammer test* dikembangkan oleh seorang insinyur berkebangsaan swiss, Dr. Ernest Schmidt yang selanjutnya dikenal dengan Swiss Hammer. Untuk mengetahui keadaan beton dan menilai keadaan beton dari bunyi metalik yang dihasilkan dalam suatu konstruksi dilakukan dengan memukul beton tersebut dengan sebuah *hammer*. Pada tahun 1979, metode pengujian RHT tecantum pada ASTM (ASTM C 805-79) sebagai metode pengujian standar, menjelaskan bahwa metode ini dapat digunakan untuk memperkirakan keseragaman beton dan mendeteksi daerah berkualitas rendah dalam beton, namun tidak berarti sebagai metode pengganti pada pengujian beton. Secara umum penggunaan alat ini untuk memeriksa keseragaman beton dan membandingkan satu beton terhadap yang lain, tetapi hanya dapat digunakan sebagai indikasi kasar kekuatan beton secara mutlak. (Arwanto 2006)

Hammer test merupakan peralatan NDT yang nyaman, mudah dikerjakan, murah, pengukurannya dapat dilakukan dengan cepat yaitu suatu alat pemeriksaan mutu beton tanpa merusak beton. Beton dengan mutu rendah akan memiliki nilai rendah. Namun, ketika dua spesimen beton memiliki kekuatan yang sama dan kekakuan yang berbeda, nilai-nilai *rebound* yang dihasilkan satu sama lain tidak mungkin sama. Jumlah energi yang hilang lebih besar dengan beton kekakuan rendah dari energi yang hilang dengan beton kekakuan tinggi. Alasan ini terkait dengan parameter material. Misalnya jumlah agregat kasar dan bagaimana penggabungan agregat dalam campuran beton hal ini mempengaruhi kekuatan beton, sehingga dapat pula mempengaruhi nilai *rebound*. (Arwanto 2006)



Gambar 2.6. Ilustrasi Skematik Kerja *Rebound Hammer* (ACI 228. IR-95)

Pada gambar 2.6. menunjukkan cara kerja *Rebound hammer*, ada 3 metode dalam melakukan pengujian dengan palu beton, setiap metode memiliki grafik nilai *rebound* vs estimasi kuat beton yang berbeda yaitu :

1. Sudut 0° untuk pengujian pengujian tegak lurus horizontal
2. Sudut -90° untuk pengujian tegak lurus kebawah
3. Sudut $+90^\circ$ untuk pengujian tegak lurus keatas

Beberapa faktor lain yang perlu diperhatikan dalam melaksanakan pengujian yaitu:

1. Umur struktur.

Pada tahap konstruksi umur beton sangat mempengaruhi terhadap hasil pengujian dengan palu beton, umur beton dari 1 hingga 14 hari mengalami peningkatan yang signifikan, sedangkan 14 hari hingga 28 hari beton mengalami peningkatan yang tidak terlalu signifikan berkisar antara 1-3 Mpa. Berbeda hal-nya dengan pengujian terhadap struktur eksisting yang sudah berumur panjang, akan banyak faktor yang mempengaruhi terhadap hasil pengujian yang berkaitan erat dengan depresiasi bangunan (penurunan mutu).

2. Kondisi permukaan.

Pastikan kondisi permukaan beton tidak terlalu lembab, kasar dan kering sehingga pembacaan nilai *rebound* dapat lebih efektif.

Aspek diatas perlu diperhatikan dengan benar sehingga pengujian dapat dilaksanakan sesuai dengan prosedur peraturan yang berlaku. Berikut merupakan langkah-langkah dalam melakukan pengujian :

1. *Marking Area*

Pengujian pada satu objek struktur minimal dilakukan dengan 10x pukulan sehingga didapatkan 10 nilai *rebound*. Marking area dilakukan dengan cara membuat persegi dengan lebar 3x2,5cm (2,5cm merupakan jarak minimal pembacaan antar titik uji) hingga didapat titik uji berjumlah 10, seperti pada gambar berikut :

1	2	3
4	5	6
7	8	9
10		

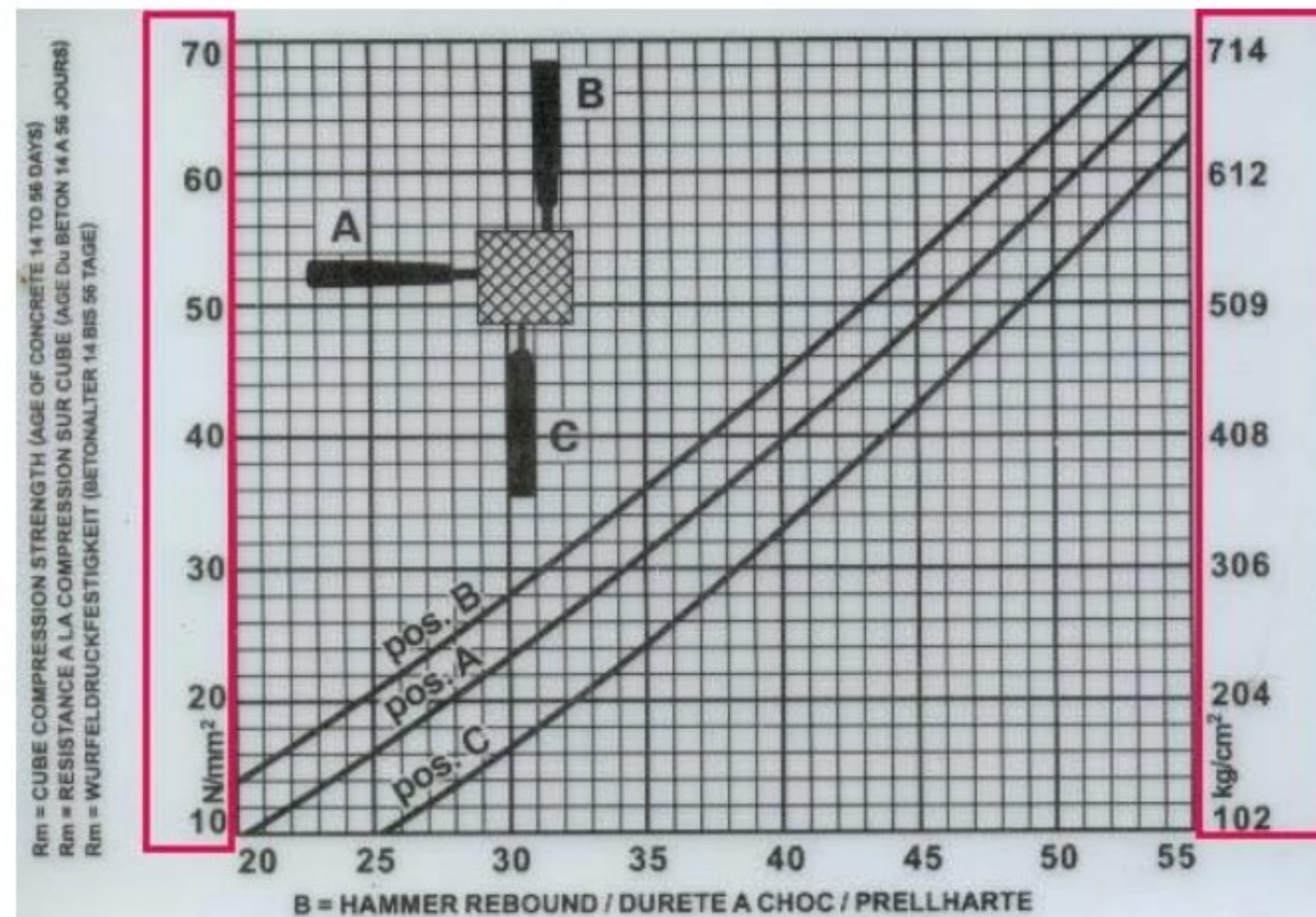
Gambar 2.7. *Marking Area*

2. Tahap pengujian.

Pengujian dilakukan dengan cara menghentakan *plunger* (kepala *hammer*) ke bagian struktur yang akan di uji. Jarak pengujian sesuai dengan tahap marking area yaitu berkisar $\pm 2,5$ cm.

3. Tahap kontrol terhadap hasil pengujian.

Setelah melakukan pengujian hendaknya menghitung nilai rata-rata dari data nilai *rebound* tersebut. ASTM memberikan syarat bahwa hasil pengujian tidak boleh memiliki rentan yang begitu jauh antar hasil pengujian, hal ini berkaitan erat dengan beberapa faktor yang menyebabkan kesalahan bacaan dari hasil pengujian bisa karena keberadaan tulangan dekat pengujian atau karena ada void pada daerah pengujian sehingga memberikan nilai yang begitu kecil, syarat tersebut yaitu ± 5 dari hasil rata-rata nilai *rebound*, maksudnya adalah bahwa hasil pengujian terhadap nilai 10 *rebound* tersebut harus masuk dalam kisaran batas plus 5 dan min 5 terhadap nilai rata-rata *rebound*.



Gambar 2.8. Grafik nilai konversi angka pantul *Hammer* terhadap nilai kuat tekan beton

Setelah mendapatkan semua data pengujian *hammer test*, dilakukan perhitungan kuat tekan beton dengan membaca grafik yang terlihat pada gambar 2.8. sesuai dengan posisi saat pengujian dilakukan.

2.6.2 Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

Ultrasonic Pulse Velocity adalah pengujian kekuatan beton secara tidak langsung, melalui pengukuran kecepatan perambatan gelombang elektronik longitudinal pada media beton. (Happy, dkk, 2013) Dalam pengujian *Ultrasonik Pulse Velocity* (UPV) ada 3 macam metode yaitu :

1. *Direct transmission* (transmisi langsung)
2. *Semi-direct transmission* (transmisi semi langsung)
3. *Indirect of surface transmission* (transmisi tidak langsung pada permukaan)

Indirect transmission (transmisi tidak langsung) biasanya digunakan dalam pengujian untuk mengukur kedalaman retakan sedangkan *Direct transmission* (transmisi langsung) biasa digunakan dalam mengukur tingkat kepadatan beton , estimasi kuat tekan hingga modulus elastisitas.

Cara kerja alat, dengan memberi getaran gelombang longitudinal lewat transduser elektro – akustik, melalui cairan perangkai yang berwujud gemuk ataupun sejenis pasta selulose, yang dioleskan pada permukaan beton sebelum tes dimulai. Saat gelombang merambat melalui media yang berbeda, yaitu gemuk dan beton, pada batas gemuk dan beton akan terjadi pantulan gelombang yang merambat dalam bentuk gelombang geser dan longitudinal. Gelombang geser merambat tegak lurus lintasan, dan gelombang longitudinal merambat sejajar 11

lintasan. Pertama kali yang mencapai transduser penerima adalah gelombang longitudinal. Oleh transduser menjadi sinyal gelombang elektronik yang dapat dideteksi oleh transduser penerima, sehingga waktu tempuh gelombang dapat diukur. (Lawson dkk, 2011)

2.6.3 Kuat Tekan Beton

Salah satu cara Destruktif *Test* (DT) adalah pengujian kuat tekan beton dengan cara merusak benda uji / sampel hingga memperoleh nilai kekuatan yang bersifat actual. Pengujian ini yang paling umum dilakukan karena mudah untuk dilaksanakan. Hasil uji kuat tekan beton dapat bervariasi oleh berbagai faktor dari material penyusunnya, tipe benda uji, ukuran benda uji, tipe cetakan, curing, keadaan permukaan benda uji, dan kekakuan mesin uji tekan. Peralatan yang digunakan dalam pengujian kuat tekan beton adalah *Compression Testing Machine* (CTM) pengujian dengan menggunakan sudah sangat meluas digunakan di berbagai Negara. Pengujian dapat dilakukan dengan berbagai tipe mesin, baik yang digerakkan secara otomatis oleh sistem hidrolis ataupun dengan sistem hidrolis yang masih manual, juga dengan berbagai mesin menurut kapasitas maksimumnya. (Arwanto 2006)



Gambar 2.9. Proses pengujian kuat tekan beton

(sumber: <https://precast.co.id>)

2.7 Korosi pada Beton Bertulang

Setiap konstruksi yang telah dibangun harus dievaluasi secara terus menerus untuk menentukan kinerja bangunan. Ambruknya suatu infrastruktur seperti jembatan, jalan layang, dermaga dan lain-lain karena secara tiba-tiba sering terjadi korban akibat runtuhnya konstruksi bangunan baik itu dari segi finansial maupun

keselamatan manusia. Salah satu penyebab kerusakan bangunan dilingkungan laut adalah korosi pada beton dan tulangan. Secara umum, tulangan baja didalam beton tidak akan terkorosi, karena beton pada umumnya memiliki pH tinggi (sekitar 12.5), sifat pH tinggi atau basa/alkali pada beton terbentuk sebuah lapisan pasif yang menyebabkan baja terlindung dari pengaruh luar. Baja baru terkorosi bila lapisan pasif ini rusak (pH beton turun) yang biasanya disebabkan oleh faktor-faktor sebagai berikut: Karbonasi, Klorida, Garam Magnesium dan Serangan Sulfat. (F 2007)

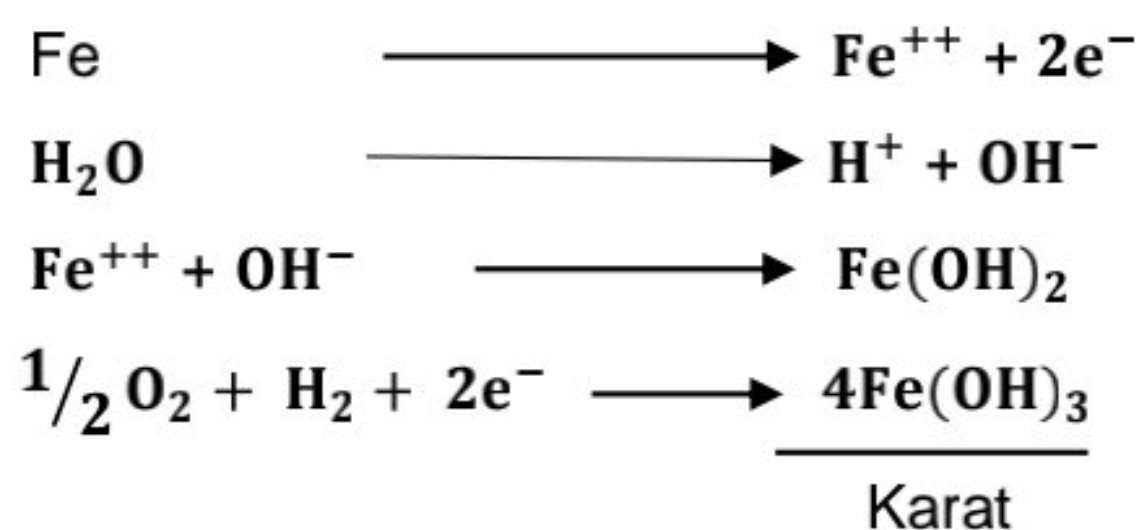
2.7.1 Baja Tulangan di Dalam Beton

Baja tulangan di dalam beton berada dalam lingkungan bersifat basa kuat dengan nilai $\text{pH} \pm 12,5$. Keadaan ini disebabkan karena beton mengandung 20 – 30 persen Kalsium Dihidrosida (Ca(OH)_2), sebagian berupa larutan jenuh Ca(OH)_2 di dalam beton, sebagian mengendap berupa kristal Ca(OH)_2 di dalam beton. Lingkungan basa kuat ini memberikan perlindungan terhadap baja tulangan di dalam beton dari serangan korosi karena baja tulangan di dalam lingkungan basa kuat menjadi pasif. (F 2007)

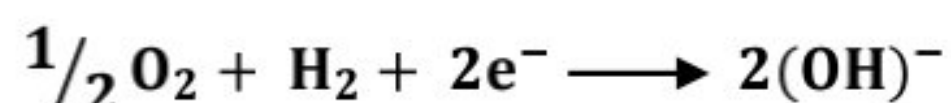
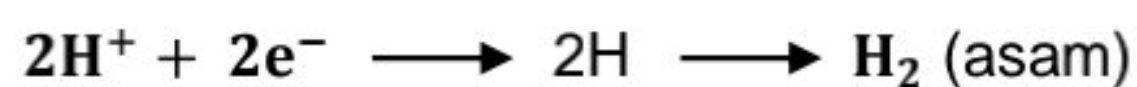
2.7.2 Korosi Baja Tulangan

Korosi baja tulangan adalah reaksi kimia atau elektro kimia antara baja tulangan dengan lingkungannya. Secara umum reaksi tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut: (F 2007)

Reaksi Anodik :



Reaksi Katodik :



Baja tulangan yang terkorosi, volume karatnya lebih besar ± 3 kali dari volume bahan asalnya sehingga mengakibatkan keretakan pada beton. Hal ini merupakan

awal dari kerusakan beton yang akhirnya menuju ke kerusakan yang lebih parah sehingga secara keseluruhan memperpendek usia pakai konstruksi yang bersangkutan. (F 2007)

Baja tulangan di dalam beton terkorosi apabila keadaan pasif hilang yaitu pH lingkungan pada bidang kontak baja-beton turun sampai < 9,5. Kondisi dimana proses korosi baja tulangan di dalam beton dapat berlangsung sebagai berikut: (Wang, Chu-Kia, Charles G 1993)

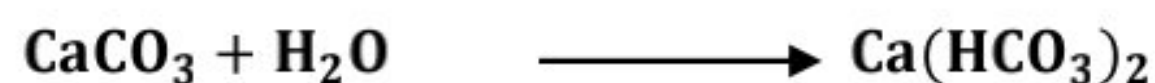
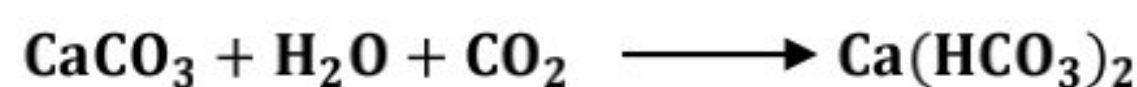
1. Karbonasi

Karbonasi terjadi ketika CO_2 , sebagai gas alam di udara, menembus permukaan beton melalui bagian kering pori-pori yang saling berhubungan dalam struktur mikro beton, dan bereaksi dengan Ca(OH)_2 di bagian lembab pori-pori untuk membentuk CaCO_3 dan air (H_2O). Reaksi karbonasi mengurangi pH larutan pori menjadi kurang dari 9 karena reduksi Ca(OH)_2 , yang mengarah pada penghancuran lapisan oksida pasif yang melindungi batang baja dari korosi.

Proses karbonisasi berlangsung menurut reaksi sebagai berikut :



Reaksi tersebut masih dapat berlanjut sebagai berikut :



Proses karbonasi ini berlangsung dari permukaan beton ke bagian dalam beton yang akhirnya mencapai bidang kontak baja beton. Apabila proses karbonasi telah mencapai bidang kontak baja- beton, pH lingkungan pada bidang kontak baja-beton turun sampai < 9,5. Kedalaman yang terkena dampak dari permukaan beton dapat dengan mudah ditampilkan dengan menggunakan larutan indikator *fenolftalein*.

Fenolftalein adalah bahan putih atau pucat kristal kuning. Untuk digunakan sebagai indikator itu dilarutkan dalam pelarut yang cocok seperti isopropil alkohol (*isopropanol*) dalam larutan 1%. Larutan indikator fenolftalein diterapkan pada permukaan fraktur segar beton. Jika indikator berubah ungu, pH di atas 8,6. Dimana solusi tetap tidak berwarna, pH beton di bawah 8,6, menunjukkan karbonasi. Sebuah pasta penuh berkarbonasi memiliki pH sekitar 8,4. Dalam prakteknya, pH 8,6 hanya dapat memberikan warna sedikit merah muda samar-samar terlihat. A, kuat segera, perubahan warna menjadi ungu menunjukkan pH yang agak tinggi, mungkin pH 9 atau 10. Beton dengan larutan pori pH 10-12

kurang alkali dari beton suara tapi masih akan menghasilkan perubahan warna yang kuat dengan indikator fenolftalein.



Gambar 2.10. Fenolftalein (Indikator pH)

Perlunya uji tingkat karbonasi adalah untuk mengetahui apakah selimut beton masih melindungi tulangan baja di dalamnya. Proses karbonasi menetralkan kondisi basa dalam beton. Jika selimut beton seluruhnya telah terkarbonasi mencapai tulangan baja di dalamnya, maka baja tulangan di dalamnya akan segera terkorosi ketika udara lembab dan oksigen mencapai tulangan.

Cara kerja uji karbonasi adalah dengan membuat lubang kecil pada beton sampai dengan perkiraan ketebalan selimut beton. Bersihkan lubang dengan semprotan angin dari debu dan kotoran lainnya, kemudian semprotkan cairan 1% *phenolthaelin* ke dalam lubang tersebut.

Setelah dihasilkan kedalaman karbonasi setelah menyemprotkan cairan 1% *phenolthaelin* pada area pengujian, dimungkinkan untuk menghitung umur beton yang tersisa dengan mengetahui kedalaman karbonasi berdasarkan umur awal pembangunan dilakukan. Persamaan yang dilakkan sebagai berikut: (International Atomic Energy Agency 2002)

$$C = A \sqrt{t} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

C = kedalaman karbonasi

t = umur Gedung saat ini (tahun)

A = konstanta dengan satuan tingkat karbonasai per-tahun

2. Degradasi oleh Sulfat

Apabila larutan sulfat masuk ke dalam beton, maka akan terjadi reaksi dengan senyawa hidrasi kalsium aluminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) yang terdapat di dalam beton.

Reaksi yang terjadi pada proses ini adalah sebagai berikut :



Reaksi ini menghasilkan Kalsium Sulfo Aluminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$).

Volume kristal Kalsium Sulfo Aluminat 3 kali volume kalsium aluminat (bahan asalnya) sehingga mengakibatkan beton mengalami retak halus. Hal ini merupakan jalan bagi larutan dari luar dan atau proses karbonasi mencapai bidang kontak baja-beton. Apabila larutan dari luar dan atau proses karbonasi telah mencapai bidang kontak baja-beton, pH lingkungan pada bidang kontak baja beton turun sampai <9,5. Hal ini mengakibatkan keadaan pasif baja tulangan hilang dan baja tulangan akan terkorosi yang akhirnya merusak beton.

3. Degradasi oleh Klorida

Ion klorida telah terkenal sangat agresif terhadap bahan konstruksi baja. Klorida melalui reaksi hidrolisa membentuk asam. Asam yang dihasilkan menetralkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang terdapat di dalam beton. Apabila proses netralisir $\text{Ca}(\text{OH})_2$ telah mencapai bidang kontak baja-beton, pH lingkungan pada bidang kontak baja-beton turun sampai < 9,5. Hal ini mengakibatkan keadaan pasif baja tulangan hilang dan baja tulangan terkorosi yang akhirnya merusak beton.

2.8 Perbaikan Beton

Perbaikan beton pada struktur bangunan dapat timbul karena hal-hal berikut ini:

1. Kesalahan pada saat perencanaan (design) struktur.
2. Kesalahan pada saat pelaksanaan pekerjaan dan kurang terampilnya pekerja.
3. Kondisi cuaca dan lingkungan yang ekstrim.
4. Terpapar dalam jumlah yang besar unsur kimia yang dapat mengurangi kekuatan beton.
5. Bertambahnya usia struktur.

Pemilihan metode perbaikan beton yang sesuai dipengaruhi oleh : penyebab, luas dan sifat kerusakan, fungsi dan pentingnya struktur, ketersediaan material dan alat yang sesuai, serta pengetahuan menyeluruh tentang perilaku jangka panjang bahan yang akan digunakan untuk pekerjaan perbaikan. Sesuai dengan kebutuhan, metode perbaikan bersifat supersisial/kosmetik atau mungkin memerlukan penggantian sebagian atau keseluruhan struktur bangunan.

Terdapat beberapa material yang umumnya digunakan untuk melakukan perbaikan beton, antara lain adalah :

1. Semen Grout

Grouting adalah suatu proses, dimana suatu cairan campuran antara semen dan air diinjeksikan dengan tekanan ke dalam rongga, pori, rekahan dan retakan batuan yang selanjutnya cairan tersebut dalam waktu tertentu akan menjadi padat secara fisika maupun kimiawi.

Bahan *grouting* yang digunakan dalam pekerjaan *grouting* dapat berupa material suspensi dan atau kimiawi. Material suspensi yang umum dipakai adalah semen dan bila perlu dipakai bahan tambahan berupa bentonit atau bahan sejenis. Air sebagai bahan cairan yang dipakai sebagai pencampur semen, harus bebas dari kandungan lumpur, bahan organik dan unsur lain yang dapat mengakibatkan penurunan kualitas campuran. Sedangkan bahan semen yang digunakan adalah *Portland Cement (PC)*, tipe I yang tidak mengandung bahan lain dan memenuhi syarat yang ditentukan dalam SII - 3 - 1981.

2. Epoxy Resin

Resin yang digunakan pada umumnya berasal dari *epoxide*, *polyester*, *acrylic* atau *polythene*. Penerapan resin untuk pekerjaan perbaikan memerlukan pemahaman menyeluruh tentang sifat kimia dan fisik dan kinerjanya dalam struktur, terutama dengan berlalunya waktu dan di lingkungan yang tidak bersahabat.

Aplikasi resin epoksi teknik sipil contohnya seperti memperbaiki retakan, perbaikan struktur beton yang tererosi, perbaikan jembatan, saluran air, kolom dan balok yang berkarat secara kimia. Umumnya bahan resin digunakan dalam pekerjaan perbaikan dan restorasi dimana sifat seperti, kekuatan tinggi (karenanya bagian tipis), adhesi yang sangat baik (dengan demikian tambalan kecil), waktu

curing lebih cepat (sehingga menghemat waktu), dan ketahanan kimia yang tinggi diperlukan. Salah satu resin yang paling banyak diadopsi adalah dari epoksida.

Mortar resin dapat diperoleh dengan menambahkan pengisi seperti pasir kasar atau pasir kapur yang dikalsinasi. Reaksi kimia dimulai segera setelah resin dan pengeras digabung-kan. Kebanyakan kombinasi memiliki potlife antara 30 dan 60 menit. Mereka mengembangkan kekuatan dan sifat perekat yang sangat baik dan tahan terhadap banyak bahan kimia selain memiliki ketahanan terhadap air yang baik.

3. *Polymer Concrete Composites*

Sebagian besar kekurangan yang ditemukan pada beton struktural biasa diatasi dengan menggunakan komposit beton polimer baik dalam bentuk lapisan permukaan di atas struktur atau dengan memasukkannya ke dalam struktur. Komposit beton polimer merupakan perkembangan yang relatif baru dan telah digunakan dalam aplikasi struktural sejak tahun 1950. Mereka memiliki kekuatan yang sangat tinggi dan lebih tahan lama dan tahan terhadap kebanyakan bahan kimia dan asam.

Terdapat 3 (tiga) jenis komposit beton polimer, yaitu *polymer impregnated concretes* (PIC), *polymer concretes* (PC), dan *polymer cement concretes* atau *polymer modified concretes* (PCC or PMC). Semua tiga jenis komposit beton polimer berguna untuk melakukan perbaikan dan pekerjaan restorasi pada struktur yang rusak. Penggunaan komposit ini untuk aplikasi postdistress dan post failure terus meningkat karena daya tahan superior, ikatan yang sangat baik dengan struktur beton induk, abrasi superior dan sifat tahan aus, tingkat resistensi yang tinggi terhadap bahan kimia seperti klorida dan asam, dan penyerapan airnya sangat rendah. Perbaikan retak dapat dengan mudah dilakukan dengan cara menyuntikkan beton polimer yang rusak akibat korosi tulangan yang bisa terkelupas dan diganti dengan beton polimer.

2.9 Syarat-Syarat Struktur Beton Tahan Lama di Laut

Struktur beton yang terletak di pinggir laut dan terkena paparan garam yang ada di dalam air laut bisa rusak setelah beberapa lama terpapar. Garam secara berangsur-angsur bisa masuk ke dalam struktur dan membuat besi di dalamnya mengalami korosi sehingga menyebabkan beton tidak kuat menahan beban.

Supaya struktur beton dapat tahan lama di laut, maka syarat-syaratnya adalah sebagai berikut:

1. Kualitas beton yang bermutu tinggi sehingga kedap air.
2. Memberi selimut beton yang tebal sesuai dengan persyaratan beton.
3. Memakai semen khusus yang tahan terhadap air laut misalnya semen tipe 2, fly ash cement, dll.
4. Memakai pozzolan yang kualitasnya baik daik dosis memadai untuk menghasilkan beton yang kedap air dan tahan lama terhadap serangan air laut.
5. Memakai admixture berupa air *entraining agent*, *water reducing agent*, dll. Untuk memperbaiki *workcability* beton dan mengurangi segregasi sehingga beton lebih homogen, menjadi kedam air, dan tahan lama.
6. Perbandingan campuran sebagai berikut :

a. *Water cement ratio*

Tabel 2.4. Perbandingan air-semen maksimum untuk beton di laut (%)

<i>Zone of exposure</i>	<i>For general construction</i>	<i>For concrete products, or for cases where equivalent conditions of construction and material selection to those of concrete products are guaranted</i>
<i>(a) Submerged zone</i>	50	50
<i>(b) Atmosphere zone</i>	45	50
<i>(c) Splash zone</i>	45	45

b. *Unit cement content*

Tabel 2.5 Konten semen minimum untuk beton di laut yang dibutuhkan untuk mendapat ketahanan yang memuaskan.

<i>Zone of exposure</i>	<i>Maximum size of coarse aggregate (mm)</i>	
	25	40
<i>Splash zone and atmospheric zone</i>	330	3000
<i>Submerged zone</i>	300	280

c. *Air content*

Tabel 2.6 Konten udara standard di dalam beton (%)

<i>Enviromental condition</i>	<i>Maximum size of coarse aggregate (mm)</i>
-------------------------------	--

		24	40
<i>Area possibly affected by freezing and thawing</i>	<i>(a) Splash zone</i>	6	5.5
	<i>(b) Atmospheric zone</i>	5	4.5
<i>Area not affected by freezing and thawing</i>		4	4

7. Besi tulangan yang akan dipakai dicat dengan epoxy.
8. Sebanyak mungkin dihindari adanya sambungan konstruksi pada waktu pengecoran beton. Andaikata sambungan tidak bisa dihindari, maka persiapan harus teliti mengikuti persyaratan yang dicantumkan pada PBI.
9. Beton harus dilindungi terhadap air laut sampai usia 5 hari.
10. Perawatan beton setelah pengecoran (*curing* minimal 7 hari).
11. Pengecoran sebaiknya dilakukan pada malam hari untuk menghindari proses hidrasi yang cepat.

2.10 Tinjauan Empiris

Penelitian empiris mengenai analisis mutu beton dan laju karbonasi dermaga di Pelabuhan Paotere. Dimana Penelitian tersebut menggunakan metode analisis yang berbeda sehingga menghasilkan hasil yang berbeda pula tergantung kondisi dan lokasi dari penelitian tersebut. Berikut ini merupakan penelitian terdahulu terkait dengan analisis mutu beton dan laju karbonasi dermaga di Pelabuhan Paotere. Dapat dilihat lokasi tempat penelitian, metode penelitian, serta hasil yang dihasilkan.

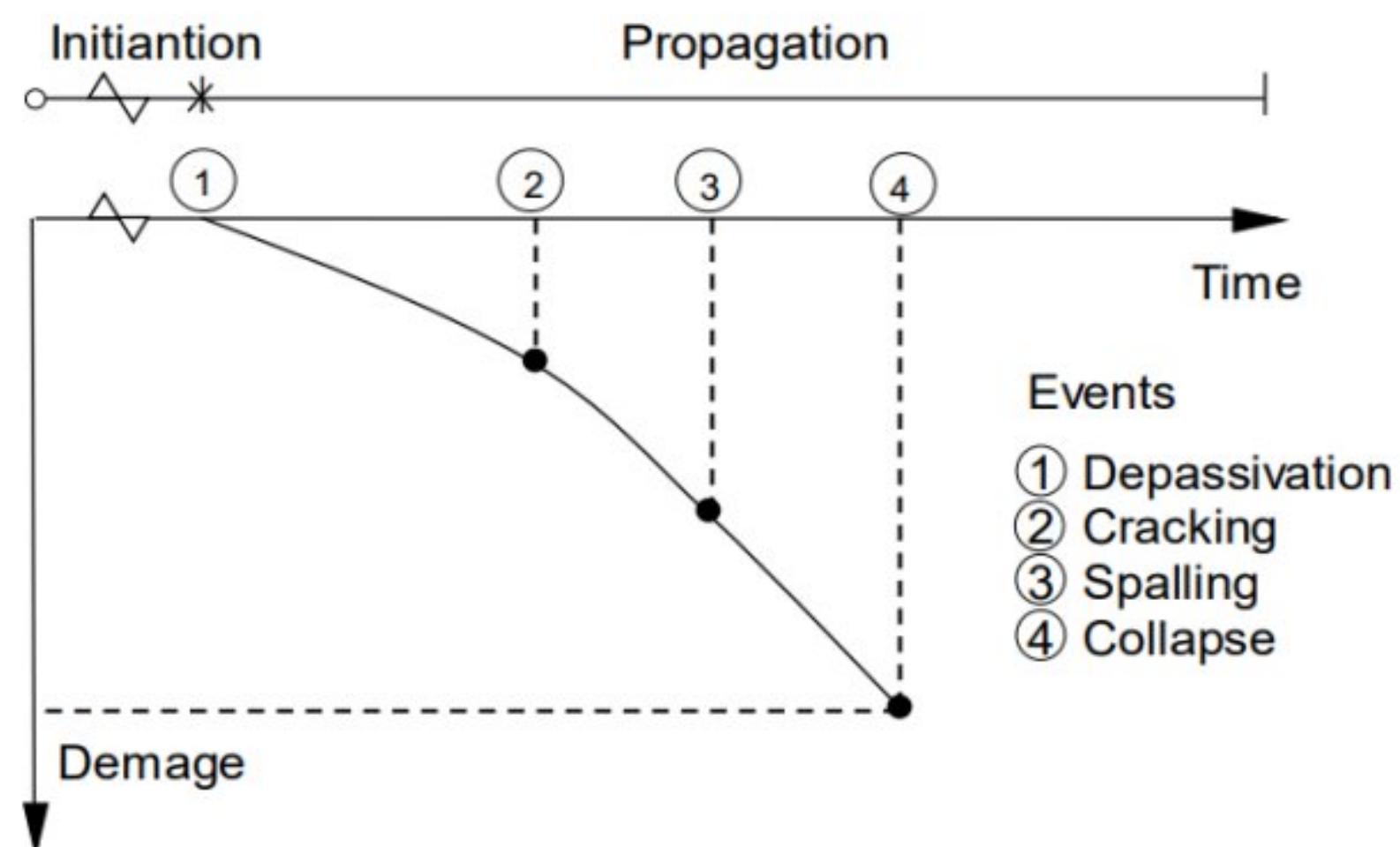
Adapun penelitian relevan mengenai Analisis Mutu Beton dan Laju Karbonasi adalah sebagai berikut:

Menurut hasil penelitian (Folic 2009), Struktur beton yang berinteraksi dengan lingkungan secara mikro maupun makro. Untuk menggambarkan dampak yang ditimbulkan oleh pengaruh lingkungan perlu untuk mengetahui kondisi suhu permukaan, kelembaban dan kemungkinan adanya paparan uap air laut yang mengandung klorida. Respon beton terhadap kondisi lingkungan secara umum berupa penyusutan, pemuaian dan kembang susut akibat merespon kondisi suhu dan kondisi kelembaban, kedalaman karbonasi dan penetrasi klorida. Klasifikasi paparan lingkungan telah diberikan pada standar EN1990. Dimana fokusnya ada pada struktur beton dan interaksinya dengan lingkungan termasuk diantaranya lingkungan air laut. Penting untuk mencegah pengaruh negative lingkungan uap

air laut dan menyesuaikan respon struktur beton dengan penyesuaian pada kualitas beton yang digunakan, semakin daktil beton maka semakin sulit lingkungan mempengaruhinya, sebaliknya semakin porus dan kualitas betonnya maka semakin mudah lingkungan merusaknya dengan apa yang dikenal dengan istilah degradasi material beton.

Dua fase kemunduran mampu layan struktur beton terpasang adalah :

- a. Fase awal (periode) dimana tidak ada pelemahan komponen beton yang nyata, kecuali lapisan pelindung selimut beton yang terjadi setelah beton berumur >15 tahun. Kerusakan yang terjadi berupa degradasi material selimut beton permukaan yang disebabkan oleh paparan klorida yang sering kita sebut dengan karbonasi.
- b. Fase propagasi atau fase lanjut yang terjadi dalam bentuk mekanisme kemunduran aktif yang semakin berkembang dan semakin meningkat bersamaan dengan berjalannya waktu.



Gambar 2.11. Model fase kemunduran

Periode propagasi terdiri dari propagasi dengan indikasi kerusakan minor dan periode percepatan terutama pada struktur yang telah memiliki durasi pemasangan >15 tahun dan setelah itu diikuti dengan periode akselerasi dengan meluasnya retak (*crack*) dan rompal (*spalling*) selimut pelindung beton.

1. Penelitian Terdahulu

Adapun penelitian terdahulu terhadap penelitian yang diajukan yaitu "**Analisis Kuat Tekan Beton dan Laju Karbonasi Lantai Dermaga di Pelabuhan Paotere**" dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.7. Penelitian Terdahulu

No.	Penulis	Judul	Variabel	Hasil Penelitian
1.	(Egi Pratama et al. 2022)	Pemeriksaan Mutu Beton Terpasang Menggunakan Pengujian <i>Nondestruktif</i> (NDT) dan <i>Destruktif</i> , Studi Kasus: Bangunan Beton Bertulang 4 Lantai.	Pengujian <i>Destruktif</i> , Pengujian <i>Non destruktif</i> , <i>Core Drill</i> , <i>Hammer test</i> , Korelasi Uji <i>Non destruktif</i> .	Dari proses observasi data seluruh hasil pengujian, diketahui tidak ada data <i>outlier</i> sehingga semua data dapat digunakan. Hasil pengujian menunjukkan nilai mutu beton eksisting pada bangunan objek kajian tergolong cukup rendah sehingga diperlukan analisis struktur bangunan lebih lanjut menggunakan data properti material beton hasil dari penelitian ini untuk menjamin keandalan strukturnya.
2.	Zoya Shazqia Jofiardi, dkk (2022)	Uji Karbonasi Beton Bertulang pada Gedung Rumah Sakit Pendidikan Universitas Jambi.	Beton bertulang, Karbonasi, Korosi.	Dari hasil penelitian "Uji Karbonasi Beton Bertulang pada Gedung Rumah Sakit Pendidikan Universitas Jambi" yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa setiap elemen di tiap lantai memiliki kedalaman karbonasi yang berbeda dan harus dihentikn karbonasinya dengan cara <i>coating</i> .
3.	(Inovasi et al. 2021)	Survei Kapasitas Teknis Struktur Dermaga Pelabuhan Lampia	Struktur dermaga, <i>hammer test</i> , karbonasi	Kuat tekan beton eksisting dermaga berkisar antara K-300 s/d K-400 dimana masih memenuhi persyaratan mutu beton minimum untuk lingkungan laut yaitu K-300. Korosi dan karbonasi merupakan penyebab utama terjadinya penurunan kapasitas penampang struktur dermaga.