

Contents list available at journal.uib.ac.id**Journal of Civil Engineering and Planning**Journal homepage: <https://journal.uib.ac.id/index.php/jce>

Penggunaan Metode *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) dalam Evaluasi Kerusakan Struktural *Mooring Dolphin* Pasca Insiden Kapal (Studi Kasus : Perbaikan *Mooring Dolphin* – Pertamina, Tg.Uban)

The Use of Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) Method in Evaluating Structural Damage of Mooring Dolphin Following a Ship Incident (Case Study: Repair of Mooring Dolphin – Pertamina, Tg. Uban)

Muhammad Andika Rivaldo¹, Indrastuti²^{1,2}Teknik Sipil, Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Internasional BatamEmail Korespondensi: 2011022.muhammad@uib.edu

ARTICLE INFORMATION	ABSTRACT
<p>Keywords:</p> <p><i>Mooring Dolphin</i> <i>UPV (Ultra Pulse Velocity)</i> <i>Repair Method</i></p>	<p><i>Mooring Dolphin is an important port infrastructure that often receives high dynamic loads and is at risk of damage due to ship collisions, as occurred in Tanjung Uban, where the Mooring Dolphin owned by PT Pertamina was damaged after a collision with a vessel from PT Soechi Lines. This study uses the Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) method as part of a Non-Destructive Test (NDT) to evaluate the level of structural damage. UPV works by measuring the speed of ultrasonic waves through concrete to identify cracks, voids, or weak zones. Testing was conducted on the upper and lower structures of the Mooring Dolphin, with results showing cracks ranging in depth from 2 to 15 cm and widths of 0.2 to 1.5 mm, particularly in the areas directly affected. Most of the structure showed wave speeds above the safe threshold, indicating that the integrity of the concrete is relatively good; however, zones with low wave speeds were found that require repair. This study demonstrates that the UPV method is effective in providing detailed information about the location and extent of damage to support repair processes. Technical recommendations include epoxy injection in cracks and additional reinforcement in critical areas to enhance the structure's resistance to dynamic loads. The findings of this study are expected to serve as a reference for the evaluation and repair of port structures that experience similar damage.</i></p>

1. Pendahuluan

Sebagian besar terminal pelabuhan, cara tradisional untuk merapat dan mengikat kapal melibatkan penggunaan dermaga, *Jetty*, atau pelabuhan dengan perlengkapan Fender dan Bollard. Namun, fasilitas sandar yang sudah ada sering menghadapi tantangan dalam menyesuaikan kapal-kapal besar karena pembatasan draft dan kapasitas beban struktural yang terbatas. Dalam evaluasi keselamatan proses merapat kapal, perlu mempertimbangkan berbagai faktor yang berbeda untuk mendapatkan pemahaman menyeluruh tentang pergerakan kapal dan respons dari infrastruktur pelabuhan (Grm, 2021). Sebagai tanggapan terhadap ini, konfigurasi alternatif dapat dirancang, misalnya dengan menggabungkan pelabuhan dengan struktur *Dolphin* untuk menciptakan sistem sandar dan tambat yang lebih terpadu (Afentoulis et al., 2023). *Dolphin* adalah struktur laut terisolasi untuk merapat dan mengikat kapal. Peran pokoknya terletak pada menancapkan dan mengamankan kapal yang

bertanggung jawab untuk mengangkut minyak dan gas selama proses muat dan bongkar di pelabuhan. Dolphin umumnya dibagi menjadi dua jenis, yaitu Breasting Dolphins dan Mooring Dolphins. Breasting Dolphins berfungsi membantu merapatnya kapal dengan menanggung sebagian beban merapat, menjauhkan kapal dari menekan struktur dermaga, dan berfungsi sebagai titik pengikatan untuk membatasi pergerakan longitudinal kapal yang sedang diperlukan untuk sebuah pelabuhan sesuai dengan fungsi pelabuhan tersebut. Pelabuhan pada umumnya digunakan dalam aktivitas transportasi masyarakat, perikanan, dan industri minyak serta gas.

Dari fungsi pelabuhan tersebut diperlukan adanya fasilitas penunjang seperti Jetty, Dolphin, *Fender*, *Bollard*, dan lainnya yang pastinya supaya memberikan kenyamanan serta keamanan dalam pergerakan kapal nantinya. Dengan pentingnya fasilitas pelabuhan tersebut pada artikel ini membahas tentang fasilitas pelabuhan yang sedang terjadi kerusakan setelah terjadinya insiden oleh kapal. Insiden ini menyebabkan perlu adanya pengecekan kembali pada struktur yang telah terjadinya insiden supaya fungsi fasilitas ini tidak menurun dan membahayakan saat operasional nantinya. Pada Desember 2022, kejadian yang tidak menguntungkan terjadi, menyebabkan kerusakan pada Mooring Dolphin milik PT Pertamina. Kerusakan tersebut berasal dari tabrakan yang melibatkan kapal yang dimiliki oleh PT Soechi Lines. Akibatnya, integritas struktural Mooring Dolphin terganggu, memerlukan perbaikan segera untuk mengembalikan fungsionalitas operasionalnya. PT Pertamina secara resmi meminta pihak PT Soechi Lines bertanggung jawab atas perbaikan untuk mengembalikan Mooring Dolphin ke kondisi kerja yang benar.

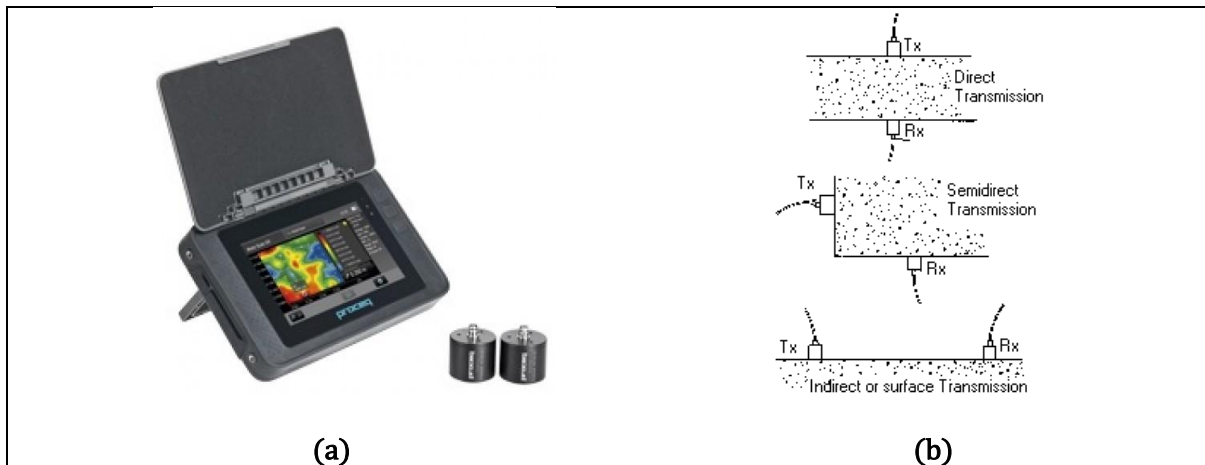
Dari pemeriksaan dan survei awal dengan metode visual setelah insiden terjadi, hasilnya adalah area di bawah pipa tidak berubah dari desain yang berarti tidak ada masalah dari kecelakaan tersebut, tetapi di area atas harus diperbaiki karena dari survei diketahui ada retak atau masalah lainnya dan memerlukan adanya pengujian struktur pada beton Mooring Dolphin tersebut. Pengujian struktur dilakukan melalui serangkaian pengujian tahap demi tahap untuk mengidentifikasi kekuatan beton, menemukan keberadaan dan spesifikasi detail tulangan yang terpasang, termasuk jumlah, dimensi, dan penataannya (Leuvangi Hutagalung et al., 2020). Pengujian struktur beton tersebut memiliki dua acara yaitu melalui NDT (*Non Destructive Test*) dan DT (*Destructive Test*). Untuk pengujian NDT (*Non Destructive Test*) merupakan pengujian tanpa merusak benda uji, sedangkan DT (*Destructive Test*) melakukan pengujian dengan merusak benda uji.

Metode yang akan digunakan dalam pengujian struktur beton Mooring Dolphin milik Pertamina ini menggunakan Metode NDT (*Non Destructive Test*) yakni tanpa merusak benda uji. Dalam pengujian NDT (*Non Destructive Test*) memiliki alat yang akan digunakan yaitu *Hammer Test* guna pengujian dengan memberikan tumbukan atau tekanan pada struktur sebelum media tersebut digunakan dan UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*) dengan memberikan gelombang yang akan terdeteksi pada suatu alat untuk memastikan struktur yang telah digunakan. Dikarenakan pengujian ini dilakukan pada media yang telah digunakan maka pengujian hanya dilakukan dengan UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*). Setelah dilakukan pengujian UPV tersebut maka akan dapat disimpulkan perbaikan yang diperlukan pada Mooring Dolphin milik Pertamina tersebut. Tujuan artikel ini adalah untuk memastikan Mooring Dolphin dipulihkan ke kapasitas operasional penuh dan mematuhi standar keselamatan dan operasional dalam industri minyak dan gas.

2. Tinjauan Pustaka

Survey visual sangat diperlukan dalam setiap melakukan audit struktur (assessment) karena dapat memberikan gambaran mengenai kondisi eksisting, membuat pemetaan kerusakan, pemeriksaan mengenai dimensi elemen struktur, dimensi tulangan, kondisi eksisting bangunan dari segi kerusakan (retak dan pecah pada beton) serta kondisi area sekitarnya yang menjadi faktor degradasi yang mempengaruhi. Menurut Ghafoori dan Bury (2020), metode non-destruktif, seperti Ultrasonic Pulse Velocity (UPV), sangat efektif dalam evaluasi kondisi internal komponen struktur beton.

Pelaksanaan pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) ASTM C597-09, 2009, ASTM D 2845 1999b, BS 1881. 1997 bertujuan untuk memeriksa kondisi internal komponen struktur beton. Beton pada prinsipnya memiliki porositas yang cukup tinggi jika dibandingkan dengan material konstruksi lainnya. Microscopic pores, air void, dan juga retak merupakan komponen-komponen yang terdapat di dalam struktur pori (Kwan & Ibrahim, 2019). Penggunaan metoda pengujian berupa UPV mampu digunakan untuk menjustifikasi presentase voids yang berada di dalam beton dengan mempertimbangkan bahwa gelombang ultrasonic hanya merambat melalui fase solid suatu material (Zhang et al., 2021). Dalam hal ini, semakin sedikit void yang berada dalam beton, maka cepat rambat gelombang ultrasonic akan semakin cepat. Sehubungan dengan ini, keberadaan retak atau rongga udara besar dapat terdeteksi melalui metoda pengujian UPV (Karakhan & Pasternack, 2015).



Gambar 2.1 (a) Proceq PL 200 (*Pundit Ultrasonic Pulse Velocity*) (b) metoda pengujian

Gambar 2.1 (a) menunjukkan peralatan UPV yang digunakan dalam investigasi ini. Secara umum terdapat tiga cara dalam pelaksanaan pengujian UPV. Ketiga cara tersebut adalah *direct*, *semi direct* dan *indirect* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 (b).

Metoda direct umumnya digunakan untuk mengetahui mechanical properties beton seperti perkiraan kuat tekan dan dynamic modulus elastik (ASTM International, 2009). Selain itu, pengujian UPV dapat juga digunakan untuk menilai kualitas beton eksisting melalui pengamatan cepat rambat gelombang ultrasonik.

Cepat rambat gelombang ultrasonic (Mohamad et al., 2021) :

$$v = L/t \text{ km/s}$$

$L = \text{Jarak transmitter terhadap receiver (m) – metoda direct}$

$t = \text{waktu } (\mu\text{s})$

Selanjutnya penilaian kualitas beton dilakukan berdasarkan kriteria-kriteria yang tercantum pada BS, 1881, 1983 seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 2.1 Korelasi antara cepat rambat gelombang ultrasonik terhadap kualitas beton (metode *direct*) BS, 1881, 1983

Kecepatan Rambat Gelombang Ultrasonic (UPV) (km/sec)	Kualitas Beton
> 4.5	Sangat Baik
3.5 – 4.5	Baik
3.0 – 3.5	Cukup Baik
2.0 – 3.0	Buruk
< 2.0	Sangat Buruk

Sumber : Neville, AM., Properties of Concrete., 1977.,

Di lain pihak, pengaplikasian metode indirect pada pengujian UPV digunakan untuk mengetahui kedalaman retak yang terjadi pada komponen struktur beton baik akibat internal load maupun external load (Sankar & Muthuraman, 2020).

Kedalaman retak beton dihitung melalui persamaan berikut (Laman & Hendrix, 2019):

$$h = x \sqrt{\frac{(4t_1^2 - t_2^2)}{(t_2^2 - t_1^2)}}$$

dimana:

x: Jarak antara transmitter terhadap receiver (mm)

t₁: Waktu rambat gelombang ultrasonik *transmitter* (T₁) - *receiver* (R₁) (μs)

t₂: Waktu rambat gelombang ultrasonik *transmitter* (T₂) - *receiver* (R₂) (μs)

Metoda indirect juga dapat diaplikasikan untuk mengetahui kualitas beton di elemen struktur beton yang tidak mengalami keretakan. Dengan mempertimbangkan bahwa kedalaman gelombang ultrasonik yang mampu dicapai dengan menggunakan metoda indirect adalah sebesar setengah jarak transmitter terhadap receiver (berdasarkan uji laboratory), maka bentuk gelombang ultrasonik yang terbentuk dengan mengaplikasikan metoda *indirect* dapat diasumsikan berbentuk setengah lingkaran, dimana jarak antara *transmitter* terhadap *receiver* merupakan diameter dari bentuk setengah lingkaran gelombang ultrasonik. Sehingga korelasi cepat rambat gelombang ultrasonik yang didapat dengan mengaplikasikan metoda *direct* dan *indirect* untuk jarak *transmitter* dan *receiver* yang sama adalah sebagai berikut:

$L \rightarrow t_{direct}$ gelombang ultrasonik berbentuk garis lurus

$L \rightarrow t_{indirect}$ gelombang ultrasonik berbentuk setengah lingkaran

$$\frac{t_{direct}}{t_{indirect}} = \frac{L}{1/2\pi L} = \frac{2}{\pi} = 0.64$$

$$t_{direct} = 0.64 t_{indirect}$$

Sehingga untuk mengevaluasi tingkat kepadatan beton dengan melakukan pengujian UPV melalui metoda indirect harus dikorekasi terlebih dahulu. Selain itu, metode indirect (transmisi tidak langsung) digambarkan sebagai metode pengujian yang paling tidak sensitif. British Standards (BS 1881) menyatakan bahwa metode indirect memiliki kecepatan gelombang 5 hingga 20% lebih rendah daripada metode *direct*, sebagian besar tergantung pada kualitas beton. Jones (1962).

3. Metode

3.1 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, penulis menerapkan metode penelitian kuantitatif yang memanfaatkan data numerik untuk menganalisis dan mendeskripsikan informasi yang ingin dipahami.

Metode penelitian kuantitatif melibatkan dua jenis pengumpulan data: Data Primer dan Data Sekunder.

Data primer diperoleh langsung melalui survei lapangan yang dilakukan oleh peneliti. Data ini harus mencerminkan kondisi nyata di lapangan sebagai bukti konkret dari data tersebut. Untuk penelitian ini, data primer meliputi kondisi struktur beton yang dilakukan pengujian UPV (*Ultra Pulse Velocity*).

Sementara itu, Data Sekunder dalam penelitian ini mencakup peta lokasi penelitian yang berfokus pada *Mooring Dolphin* Pertamina Tanjung Uban. Pengumpulan data berlangsung selama 10 hari dengan berbagai kegiatan berawal dari survei lapangan, pengambilan data UPV (*Ultra Pulse Velocity*) dan penyusunan hasil analisis yang dilakukan.

3.2 Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan di salah satu perusahaan besar Minyak dan Gas Di Indonesia yaitu PT Pertamina. Lokasi proyek berada di Tanjung Uban dengan alamat JL Nusa Indah No.1, Tj. Uban Kota,

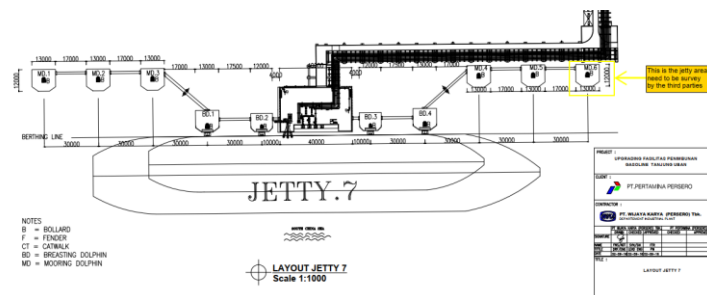
Kec. Bintang Utara, Kabupaten Bintang, Kepulauan Riau 29152. Dilokasi tersebut penulis melakukan pengujian UPV (*Ultra Pulse Velocity*) untuk mengetahui kerusakan yang terjadi pada *Mooring Dolphin* milik Pertamina Tanjung Uban setelah terjadinya insiden oleh kapal.



Gambar 3.1 *Mooring Dolphin 6, Jetty 7 PT. Pertamina Tanjung Uban (Tampak Depan)*



Gambar 3.2 Area *Mooring Dolphin 6, Jetty 7 PT. Pertamina Tanjung Uban (Google View)*

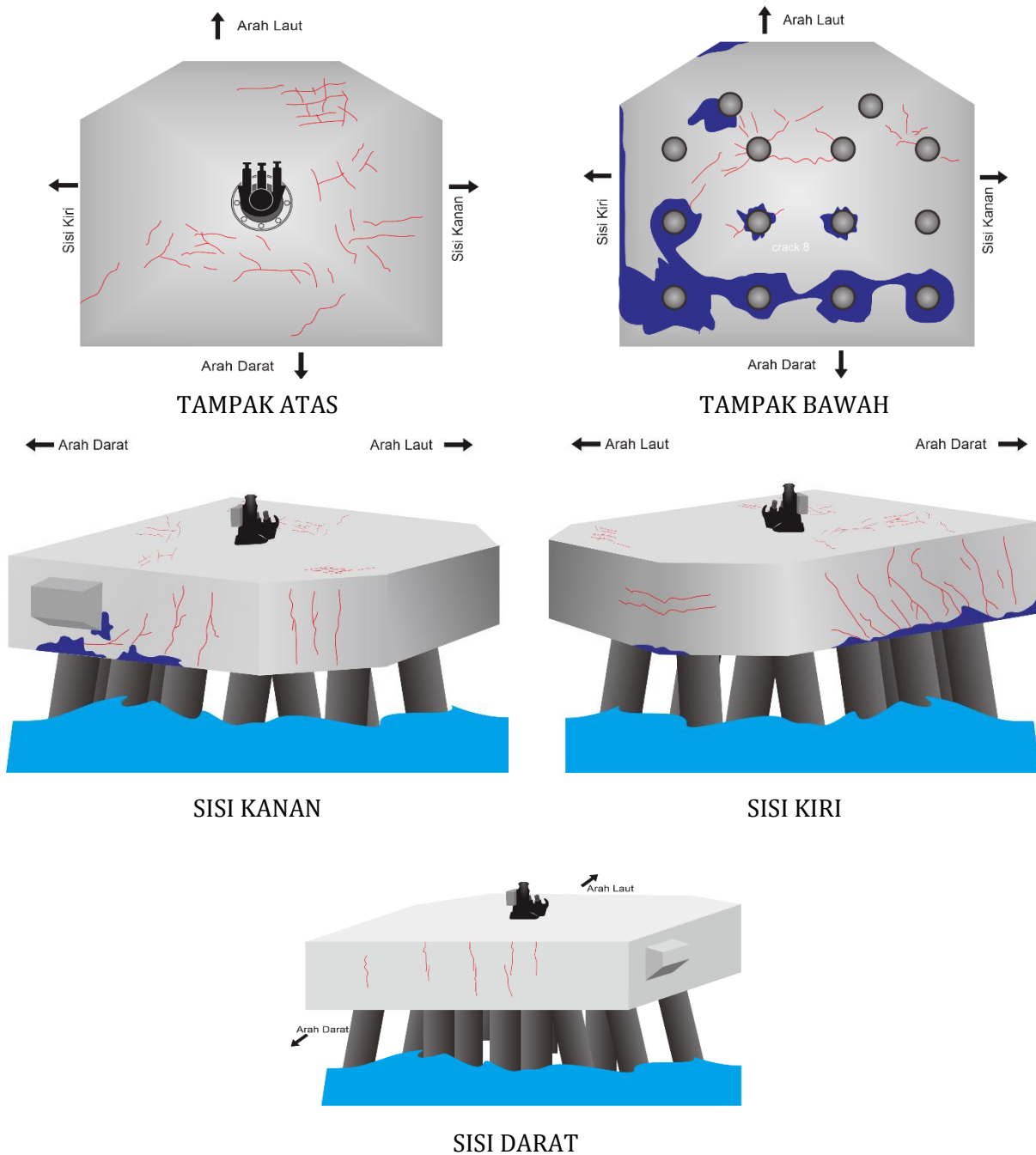


Gambar 3.3 Layout *Mooring Dolphin 6, Jetty 7 PT. Pertamina Tanjung Uban*

4. Hasil Dan Pembahasan

4.1 Data

Berdasarkan hasil survei visual yang dilakukan di *Mooring Dolphin 6, Jetty 7 PT. Pertamina Tanjung Uban* dapat digambarkan sebagai berikut :



Hasil Uji Kedalaman Retak (*Crack Depth*)

Hasil uji kedalaman retak (*Crack Depth*) yang dilakukan di struktur atas *Mooring Dolphin 6*, *Jetty 7 PT. Pertamina Tanjung Uban* dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Struktur Atas	kedalaman retak	mulai dari	25 - 59 mm
	lebar retak	mulai dari	0,20 - 0,45 mm
- Struktur Bawah	kedalaman retak	mulai dari	23 - 98 mm
	lebar retak	mulai dari	0,15 - 0,40 mm
- Sisi Kanan	kedalaman retak	mulai dari	12 - 57 mm
	lebar retak	mulai dari	0,30 - 1,00 mm
- Sisi Kiri	kedalaman retak	mulai dari	16 - 58 mm
	lebar retak	mulai dari	0,25 - 0,55 mm
- Sisi Depan Kanan	kedalaman retak	mulai dari	18 - 20 mm
	lebar retak	mulai dari	0,20 - 0,25 mm

29				3330	Cukup
30				3250	Cukup
31				3061	Cukup
32			Area Atas (Uji 5)	3269	Cukup
33				3296	Cukup
34				3751	Baik
35				3214	Cukup
36				3276	Cukup
37				3447	Cukup
38				3505	Baik
39				Area Atas (Uji 6)	3420
40			3479		Cukup
41			3065		Cukup
42			3771		Baik
43			3125		Cukup
44			3092		Cukup
45			3012		Cukup
46			Area Atas (Uji 7)	3694	Baik
47				4013	Baik
48				4432	Baik
49				4164	Baik
50				3425	Cukup
51				3244	Cukup
52				3017	Cukup
53				3512	Baik
54			Area Atas (Uji 8)	3233	Cukup
55				2540	Buruk
56				2881	Buruk
57				4074	Baik
58				3092	Cukup
59				3334	Cukup
60				3560	Baik
61			Area Atas (Uji 9)	4209	Baik
62				3474	Cukup
63				3367	Cukup
64				3872	Baik
65				3263	Cukup
66				3498	Cukup
67				3553	Baik
68			Area Atas (Uji 10)	3284	Cukup
69				3430	Cukup

70				3225	Cukup
71				3893	Baik
72				3844	Baik
73				3623	Baik
74				3242	Cukup
Nilai Minimum				2540	Buruk
Nilai Maksimum				4432	Baik
Nilai Rata-rata				3380	Cukup

- **Area Struktur Bawah**

Di Area struktur bawah Mooring Dolphin 6, Jetty 7 PT. Pertamina Tanjung Uban Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) dilakukan pada 21 titik lokasi.

Uji kedalaman retak (*Crack Depth*) dilakukan pada area struktur bawah *Mooring Dolphin 6*, berikut resume hasil pengujiannya :

Tabel 4.2 Resume Hasil Pengujian UPV Kepadatan Beton Area Bawah ASTM C597-09, 2009, ASTM D 2845 1999b

No. Uji	Lokasi	Elemen Struktur	Area	Nilai Kepadatan Beton (m/s)	Kualitas Kepadatan Beton
1	JETTY 7	MD 6	Area Bawah (Uji 1)	4608	Sangat Baik
2				4044	Baik
3				4644	Sangat Baik
4			Area Bawah (Uji 2)	3109	Cukup
5				4386	Baik
6				3771	Baik
7				3580	Baik
8			Area Bawah (Uji 3)	3168	Cukup
9				3231	Cukup
10				3222	Cukup
11			Area Bawah (Uji 4)	3839	Baik
12				3569	Baik
13				3817	Baik
14				3984	Baik
15			Area Bawah (Uji 5)	3317	Cukup
16				3384	Cukup
17				3582	Baik
18				3273	Cukup
19			Area Bawah (Uji 6)	3464	Cukup
20				3080	Cukup

21				3138	Cukup
Nilai Minimum				3080	Cukup
	Nilai Maksimum			4644	Sangat Baik
Nilai Rata-rata				3629	Baik

• **Area Samping Kanan**

Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) dilakukan pada 19 titik lokasi pada Mooring Dolphin 6, Jetty 7 PT. Pertamina Tanjung Uban Area samping Kanan.

Uji kedalaman retak (*Crack Depth*) dilakukan pada struktur atas *Mooring Dolphin 6*, berikut resume hasil pengujiannya:

Tabel 4.3 *Resume Hasil Pengujian UPV Kepadatan Beton Area Samping Kanan ASTM C597-09, 2009, ASTM D 2845 1999b*

No. Uji	Lokasi	Elemen Stuktur	Area	Nilai Kepadatan Beton (m/s)	Kualitas Kepadatan Beton
1	JETTY 7	MD 6	Samping Kanan	3896	Baik
2				3874	Baik
3				3175	Cukup
4				3251	Cukup
5				4191	Baik
6				3256	Cukup
7				3165	Cukup
8				3655	Baik
9				3529	Baik
10				3570	Baik
11				4069	Baik
12				3281	Cukup
13				3867	Baik
14				3284	Cukup
15				3501	Baik
16				3874	Baik
17				3215	Cukup
18				3344	Cukup
19				3544	Baik
Nilai Minimum				3165	Cukup
Nilai Maksimum				4191	Baik
Nilai Rata-rata				3555	Baik

• **Area Samping Kiri**

Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) dilakukan pada 19 titik lokasi pada *Mooring Dolphin 6*, Jetty 7 PT. Pertamina Tanjung Uban Area samping Kiri.

Uji kepadatan beton dilakukan pada Area samping kiri *Mooring Dolphin 6*, berikut *resume* hasil pengujiannya:

Tabel 4.4 *Resume hasil Uji Ultrasonic Pulse Velocity (Kepadatan Beton) Area Samping Kiri ASTM C597-09, 2009, ASTM D 2845 1999b*

No. Uji	Lokasi	Elemen Stuktur	Area	Nilai Kepadatan Beton (m/s)	Kualitas Kepadatan Beton
1	JETTY 7	MD 6	Samping Kiri	3423	Cukup

2				3358	Cukup
3				3230	Cukup
4				3084	Cukup
5				4156	Baik
6				3537	Baik
7				3496	Cukup
8				3771	Baik
9				3284	Cukup
10				3203	Cukup
11				3118	Cukup
12				3273	Cukup
13				2838	Buruk
14				2705	Buruk
15				3110	Cukup
16				2854	Buruk
17				4504	Baik
18				3349	Cukup
19				3498	Cukup
Nilai Minimum				2705	Buruk
Nilai Maksimum				4504	Baik
Nilai Rata-rata				3357	Cukup

• **Area Belakang (Arah Darat)**

Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) dilakukan pada 31 titik lokasi pada *Mooring Dolphin 6*, Jetty 7 PT. Pertamina Tanjung Uban bagian belakang (arah darat).

Uji kedalaman retak (*Crack Depth*) dilakukan pada struktur atas *Mooring Dolphin 6*, berikut resume hasil pengujiannya:

Tabel 4.5 *Resume Hasil Pengujian UPV Kepadatan Beton Area Belakang (Arah Darat) ASTM C597-09, 2009, ASTM D 2845 1999b*

No. Uji	Lokasi	Elemen Struktur	Area	Nilai Kepadatan Beton (m/s)	Kualitas Kepadatan Beton
1	JETTY 7	MD 6	BELAKANG (Arah Darat)	3299	Cukup
2				3230	Cukup
3				3181	Cukup
4				3840	Baik
5				3461	Cukup
6				3390	Cukup
7				3198	Cukup
8				3766	Baik
9				3101	Cukup
10				3091	Cukup
11				3511	Baik
12				3324	Cukup
13				3362	Cukup
14				3694	Baik
15				3663	Baik
16				3602	Baik
17				3508	Baik
18				3507	Baik
19				3706	Baik
20				3961	Baik
21				3054	Cukup
22				3288	Cukup
23				3549	Baik

24				3519	Baik
25				3254	Cukup
26				3398	Cukup
27				3430	Cukup
28				3612	Baik
29				3298	Cukup
30				3560	Baik
31				3041	Cukup
Nilai Minimum				3041	Cukup
Nilai Maksimum				3961	Baik
Nilai Rata-rata				3432	Cukup

• **Area Depan (Arah Laut)**

Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) dilakukan pada 31 titik lokasi pada Mooring Dolphin 6, Jetty 7 PT. Pertamina Tanjung Uban bagian belakang (arah darat).

Uji kedalaman retak (*Crack Depth*) dilakukan pada struktur atas *Mooring Dolphin 6*, berikut *resume* hasil pengujiannya:

Tabel 4.6 *Resume* Hasil Pengujian UPV Kepadatan Beton Area Depan (Arah Laut) ASTM C597-09, 2009, ASTM D 2845 1999b

No. Uji	Lokasi	Elemen Struktur	Area	Nilai Kepadatan Beton (m/s)	Kualitas Kepadatan Beton
1	JETTY 7	MD 6	Area Depan (Kanan) Uji 1	4460	Baik
2				3625	Baik
3				3582	Baik
4			Area Depan (Kiri) Uji 2	3994	Baik
5				3651	Baik
6				3568	Baik
7				3773	Baik
Nilai Minimum				3568	Baik
Nilai Maksimum				4460	Baik
Nilai Rata-rata				3808	Baik

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dari investigasi menggunakan metode UPV (*Ultra Pulse Velocity*) pada *Mooring Dolphin 6*, Jetty 7 PT. Pertamina Tanjung Uban dengan hasil pemeriksaan kedalaman keretakan masih dalam kondisi selimut beton dan hasil analisa struktur yang didapatkan termasuk dalam kondisi baik, maka dapat disimpulkan bahwa kerusakan yang terjadi tidak menyebabkan kerusakan parah pada struktur beton sehingga *Mooring Dolphin* tersebut hanya perlu perbaikan beton ringan pada area *spalling* dan *crack*. Untuk *Mooring Dolphin* milik PT Pertamina masih dapat digunakan seperti fungsi sebelumnya.

Daftar Pustaka

Afentoulis, V., Rivemale, J., Battesti, J., Afentoulis, V., Rivemale, J., & Battesti, J. (2023). *Performance-based design of berthing / mooring dolphin structure considering geotechnical and structural constraints under offshore load conditions To cite this version : HAL Id : hal-04264290 Journées Méditerranéennes de l' AIPCN / PIANC Med days.*

Anwar, S., Miharja, J., & Miranda, M. (2021). Sistem dan Prosedur In-Out Clearance Kapal Keagenan

- Pertamina di Port of Pontianak. *E-Journal Marine Inside*, 3(December), 43–53. <https://doi.org/10.56943/ejmi.v3i2.33>
- Grm, A. (2021). Ships added mass effect on a flexible mooring dolphin in berthing manoeuvre. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(2), 1–21. <https://doi.org/10.3390/jmse9020108>
- Leuvanggi Hutagalung, P., Sitohang, A., & Ndururu, L. (2020). APLIKASINON DESTRUCTIVE TEST PADA INVESTIGASI KEANDALAN STRUKTUR BETON JEMBATAN (Studi Kasus: Jembatan Aek Bogal Ruas Jalan Singkuang-Natal). *Engineering*, 3(1), 82–88.
- ASTM International. (2009). ASTM C597-09: Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. <https://doi.org/10.1520/C0597-09>
- ASTM International. (1999). ASTM D2845-99: Standard Test Method for Bulk Density and Apparent Density of Ceramic Materials. <https://doi.org/10.1520/D2845-99>
- Ghafoori, N., & Bury, A. (2020). Advances in Non-Destructive Testing Techniques for Concrete Structures: Applications and Challenges. *Materials Today: Proceedings*, 33, 1258–1266. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.321>
- Jones, R. (1962). Some Aspects of Ultrasonic Testing of Concrete. *NDT International*, 1(2), 77–81. [https://doi.org/10.1016/0020-0748\(68\)90009-1](https://doi.org/10.1016/0020-0748(68)90009-1)
- Karakhan, A., & Pasternack, Y. (2015). Effect of Cracks and Void on the Ultrasonic Pulse Velocity Measurements. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27(1), 04014093. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000921](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000921)
- Kwan, A. T. Y., & Ibrahim, D. (2019). Performance of Non-Destructive Test Methods in Assessing Concrete Strength: A Review. *Materials*, 12(24), 4115. <https://doi.org/10.3390/ma12244115>
- Laman, S. R., & Hendrix, M. J. (2019). The Use of Ultrasonic Pulse Velocity to Monitor Concrete Strength in the Field. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 13, 38. <https://doi.org/10.1186/s40069-019-0344-3>
- Mohamad, S., Mehab, M., & Shaari, H. (2021). Ultrasonic Pulse Velocity and Schmidt Hammer for Quality Assessment of Concrete. *Advances in Civil Engineering*, 2021, Article ID 6660895. <https://doi.org/10.1155/2021/6660895>
- Sankar, P. R., & Muthuraman, K. (2020). Ultrasonic Pulse Velocity Technique for Structural Health Monitoring of Concrete Structures: A Review. *Advances in Smart Structures and Systems*, 14(1), 1–15. <https://doi.org/10.12989/sss.2020.14.1.001>
- Zhang, P., Zhang, L., & Xu, S. (2021). Assessment of the Condition of Concrete Based on Non-Destructive Testing Methods. *Construction Materials*, 173, 112132.