

Evaluasi Kuat Tekan Beton Terpasang pada Struktur Dermaga Eksisting Berdasarkan Pengujian *Destructive* dan *Non-Destructive*

Yudi Herdiansah^[1], Widhi Prima Cendana^{[1]*}

^[1] Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, 40525, Indonesia

Email: yudi.herdiansah@lecture.unjani.ac.id, widhiprima11@gmail.com*

*) Correspondent Author

Received: 15 April 2025; Revised: 15 September 2024; Accepted: 11 October 2024

How to cited this article:

Herdiansah, Y., Cendana, W. P., (2025). Evaluasi Kuat Tekan Beton Terpasang pada Struktur Dermaga Eksisting Berdasarkan Pengujian *Destructive* dan *Non-Destructive*. Jurnal Teknik Sipil, 21(1), 109–127. <https://doi.org/10.28932/jts.v21i1.8698>

ABSTRAK

Dermaga merupakan bagian penting suatu pelabuhan karena berfungsi sebagai sarana tambat dan sandar kapal, karenanya penting untuk dipastikan setiap dermaga memiliki fasilitas yang baik dan layak untuk digunakan, baik dari segi operasional maupun dari kekuatan strukturnya. Salah satu bentuk evaluasi dermaga eksisting adalah dengan melakukan pengujian struktur yang bertujuan untuk mendapatkan parameter material yang akan menjadi input untuk permodelan struktur eksisting. Parameter material yang akan dihasilkan berupa nilai kuat tekan beton ekuivalen yang selanjutnya menjadi acuan dalam permodelan struktur eksisting. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian merusak (*destructive test*, DT) dan pengujian tak merusak (*non-destructive*, NDT). Untuk mendapatkan hasil pengujian yang merepresentasikan kondisi struktur eksisting secara keseluruhan, setiap pengujian harus dikorelasikan dengan pengujian lainnya. Korelasi pengujian yang dianalisis adalah antara pengujian *core drill* dengan *hammer test* dan korelasi antara pengujian *core drill* dengan *ultrasonic pulse velocity* (UPV). Hasil korelasi yang dipilih untuk permodelan struktur adalah hasil korelasi pengujian *core drill* dengan UPV. Besaran kuat tekan ekuivalen berdasarkan analisis adalah 21,41 MPa untuk segmen 1, 24,1 MPa untuk segmen 2, dan 23,18 MPa untuk segmen 3. Hasil analisis yang menunjukkan terdapat perbedaan nilai kuat tekan ekuivalen untuk setiap segmennya. Hal tersebut dimungkinkan terjadi akibat adanya perbedaan tahun pembangunan dermaga untuk setiap segmennya dan sejalan dengan didapatkannya perbedaan nilai kuat tekan beton ekuivalen.

Kata kunci: DT, *Hammer Test*, Korelasi, Kuat Tekan Ekuivalen, NDT, Pengujian Struktur, UPV.

ABSTRACT. *Evaluation of Installed Concrete Compressive Strength on Existing Pier Structure Based on Destructive and Non-Destructive Testing.* The dock is a critical component of a port, serving both as a mooring facility and a berthing area for ships. Given the importance of the quay, it is essential to ensure that each quay is equipped with suitable and functional facilities, both in terms of operational use and structural integrity. One method of evaluating existing quays is through structural testing. The objective of this structural testing is to obtain material parameters that will serve as inputs for modeling the existing structure. The material testing parameters to be determined include equivalent concrete compressive strength values, which will be used as references in the structural modeling of the quay. The structural testing comprises both destructive (DT) and non-destructive tests (NDT). To achieve results that accurately represent the overall condition of the existing structure, each test must be correlated with others. The correlations analyzed include those between core drill tests and hammer tests, as well as between core drill tests and ultrasonic pulse velocity (UPV) tests. The correlation results chosen for use in the structural modeling are those between core drill tests and UPV tests. The equivalent compressive strength values obtained from this analysis are 21.41 MPa for Segment 1, 24.1 MPa for Segment 2, and 23.18 MPa for Segment 3. The analysis reveals differences in the equivalent compressive strength values for each segment, likely due to variations in the construction years of the quay segments, which correspond with the observed differences in equivalent concrete compressive strength.

Keywords: DT, *Hammer Test*, Correlation, Equivalent Compressive Strength, NDT, Structural Testing, UPV.

1. PENDAHULUAN

Dermaga merupakan bagian penting pada pelabuhan karena memiliki fungsi sebagai sarana tambat dan sarana sandar kapal. Karena sifat dermaga itu penting maka harus dipastikan memiliki fasilitas yang baik dan layak untuk digunakan, baik dari segi operasional maupun dari kekuatan struktur dermaga itu sendiri.

Di Indonesia banyak dermaga dengan kondisi yang kurang baik, terutama dari segi struktur bangunan. Kondisi tersebut terjadi akibat adanya beberapa kerusakan pada elemen struktur dermaga, seperti halnya terjadi kerusakan pada struktur beton bertulang. Kerusakan pada material beton terjadi karena deteriorasi akibat paparan air laut yang dapat menyebabkan turunnya mutu/kekuatan material beton. Serangan sulfat yang bereaksi dengan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) pada semen terhidrasi akan membentuk kalsium sulfat (CaSO_4) dan kalsium aluminat hidrat ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$) dan selanjutnya membentuk kalsium sulfoaluminat. Volume kalsium aluminat yang lebih besar daripada volume beton solid membuat beton mengalami peningkatan volume, sehingga merusak ikatan antar agregat dan semen sebagai bahan pengikat. Hal ini dapat mengurangi kekuatan serta memperpendek umur beton (Arifatunurrillah et al, 2019). Akibat dari penurunan mutu beton tersebut perlu dilakukan evaluasi terhadap parameter material beton terpasang, yang selanjutnya digunakan sebagai input material pada permodelan struktur eksisting dan untuk menganalisis kapasitas struktur eksisting.

Jenis pengujian beton terpasang pada struktur eksisting dapat berupa pengujian merusak (*Destructive Test*, DT) dan pengujian tidak merusak (*Non-destructive Test*, NDT). Di antara pengujian yang dapat dilakukan untuk mengetahui mutu beton terpasang adalah pengujian sampel *core drill*, *schmidt hammer test*, dan *ultrasonic pulse velocity* (UPV). Hasil yang akan didapat dari pengujian berupa perkiraan nilai kuat tekan beton terpasang yang nantinya akan digunakan sebagai acuan dalam melakukan evaluasi kekuatan struktur dermaga eksisting.

Penentuan kuat tekan beton dianggap sebagai kriteria utama untuk menentukan mutu beton (Aydin, F & Saribiyik, M, 2010). Berbagai metode uji DT dan NDT telah dikembangkan dalam menentukan kuat tekan beton. Di antara beberapa jenis pengujian NDT, pengujian *hammer test* yang paling banyak dilakukan (Sanchez, K., & Tarranza, N., 2014). Selain uji *hammer*, pada umumnya dilakukan penambahan berupa pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) yang bertujuan menilai kualitas dan kekuatan beton (Al-Nu'man et al, 2014). Untuk mendapatkan data yang bisa menggambarkan kondisi bangunan secara spesifik, nilai kuat tekan beton bisa didapatkan dari hasil uji beton inti atau *core drill* (Haavisto, J., et al, 2020).

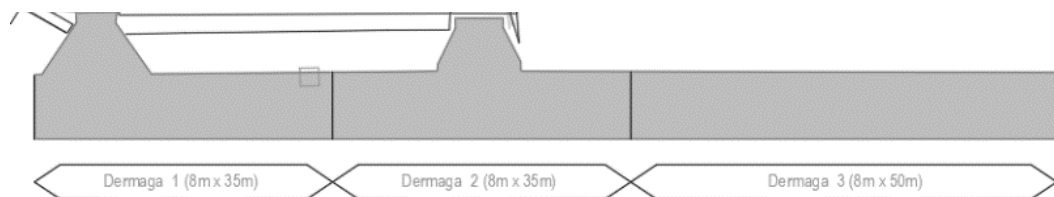
Pada penelitian ini digunakan beberapa metode pengolahan data hasil uji *destructive* dan *non-destructive* pada material beton terpasang. Selanjutnya dilakukan analisis untuk

mendapatkan nilai kuat tekan beton ekuivalen yang diperlukan dalam melakukan permodelan dan analisis kekuatan struktur eksisting.

2. METODOLOGI PENELITIAN

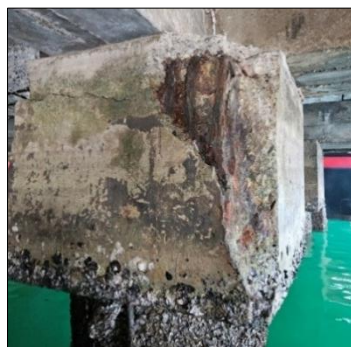
2.1. Kondisi Eksisting Struktur

Setiap bangunan dermaga memiliki 4 komponen utama struktur, yaitu: struktur tiang pancang, *pile cap*, balok dan pelat lantai. Kondisi eksisting struktur dermaga tinjauan terdiri dari tiga segmen struktur bangunan yang dibedakan sesuai dengan tahun pembangunan dermaga dan penamaan segmen dermaga seperti diilustrasikan pada Gambar 1



Gambar 1. Ilustrasi Pembagian Segmen Dermaga

Dari perbedaan tahun pembangunan didapatkan kondisi visual struktur yang menunjukkan adanya kerusakan pada beton. Bentuk kerusakan yang terjadi berupa retakan pada beton dan korosi pada tulangan. Kerusakan terbesar terjadi pada segmen 1 dermaga yang dimungkinkan akibat umur rencana struktur yang hampir tercapai. Adapun tipe kerusakan yang terjadi seperti pada Gambar 2. Dari kondisi visual struktur selanjutnya dijadikan acuan dalam menentukan pengujian struktur beton terpasang.



a. Kerusakan Pada Pilecap

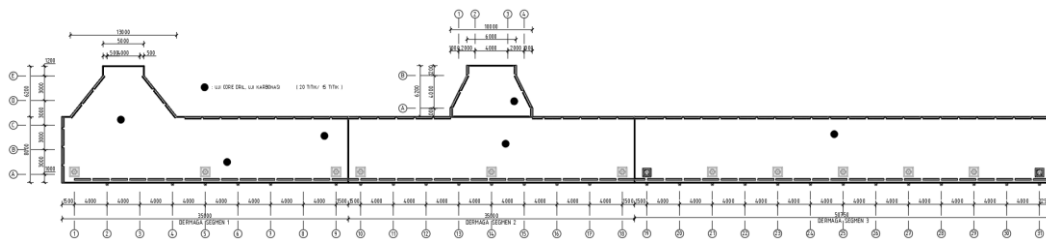


b. Kerusakan Pada Balok dan Pelat Lantai

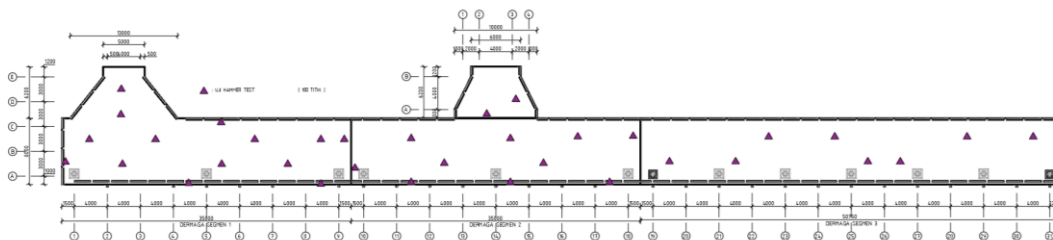
Gambar 2. Tipikal Kerusakan Struktur

2.2. Pengujian Struktur

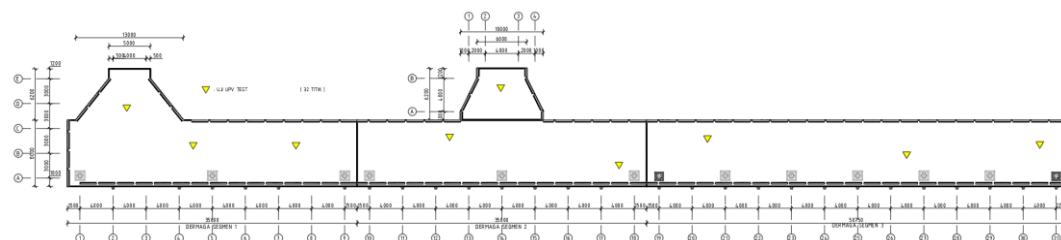
Pemeriksaan detail pada struktur dilaksanakan pada area sekitar kerusakan dan pada bagian-bagian struktur yang dianggap dapat mewakili keseluruhan struktur. Metode yang digunakan ditentukan berdasarkan informasi yang telah dikumpulkan pada tahapan survei visual struktur. Pemeriksaan struktur yang umum dilakukan menggunakan peralatan uji *non-destructive* seperti *schmidt rebound hammer test* dan *ultrasonic pulse velocity (UPV)*. Pada lokasi yang dianggap perlu didapatkan informasi lebih jauh dilakukan uji *destructive* berupa pengujian *core drill*. Pengujian struktur dilakukan di beberapa titik dermaga yang terletak pada beberapa elemen struktur yang tersebar pada pelat lantai, balok dan *pilecap*. Gambar 2 sampai dengan Gambar 4 menunjukkan lokasi titik pengujian yang tersebar pada elemen struktur.



Gambar 2. Denah Pengujian Struktur *Core Drill*



Gambar 3. Denah Pengujian Struktur *Schmidt Rebound Hammer Test*



Gambar 4. Denah Pengujian Struktur *Ultrasonic Pulse Velocity*

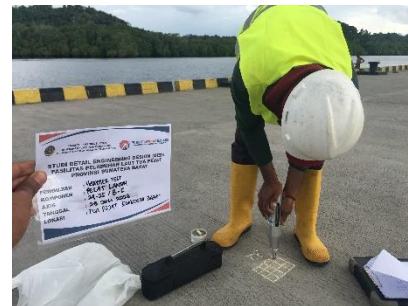
Pada Tahun 2022, Juliafad dan Komala melakukan pengujian struktur pada beton eksisting menggunakan alat uji *hammer test* dan ditahun 2023 Chairunnisa, melakukan pengujian struktur yang serupa menggunakan alat uji UPV dan *hammer test* pada struktur beton terpasang.

Dari beberapa penelitian tersebut memungkinkan untuk dilakukan pengujian struktur yang serupa pada objek lokasi penelitian yang akan ditinjau. Referensi dan cara pengujian struktur

mengacu pada standar yang berlaku, baik standar nasional maupun standar internasional seperti: ASTM C1604 untuk pengujian struktur menggunakan alat *core drill*, ASTM C805 untuk pengujian struktur menggunakan *hammer test* dan ASTM C597 untuk pengujian struktur menggunakan UPV. Gambar 6 merupakan dokumentasi pengambilan data yang dikerjakan dan tersebar pada elemen struktur pelat lantai, balok dan *pile cap*.



a. Core Drill



b. Hammer Test



c. UPV

Gambar 5. Pengujian Struktur

2.3. Pengolahan Data

2.3.1. Analisis Outlier

Analisis *outlier* dilakukan untuk seleksi data hasil pengujian beton terpasang. Dengan adanya analisis ini memungkinkan tingkat *error* pada data akan berkurang sehingga hasil pengujian dapat lebih relevan untuk digunakan.

Analisis *outlier* pada pengujian beton terpasang mengacu pada ASTM E178-02, dimana standar tersebut mengidentifikasi data pengujian ke dalam kelas identifikasi *outlier*. Data yang teridentifikasi dalam persyaratan *outlier* harus dikeluarkan sehingga tidak merusak populasi data yang tersedia. Persamaan (1) dan Persamaan (2) digunakan untuk menentukan *outlier*.

$$T_n = \frac{(\bar{x} - x_{\min})}{s} \leq \text{nilai kritis} \quad (1)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Besaran nilai kritis yang menjadi batasan pada analisis *outlier* bisa digunakan sesuai ketentuan yang diatur dalam standar ASTM E178-02 (*Table 1 Critical Value for T*) dengan batasan nilai kritis bervariasi mulai dari 0.1 % hingga 10 %.

2.3.2. Analisis Penggabungan Data

Elemen struktur dermaga pada umumnya dibangun dengan mutu material beton yang sama untuk *pile cap*, balok maupun pelat lantai, sehingga data pengujian beton terpasang untuk setiap elemen struktur memungkinkan bisa digabung dalam pengolahan data pengujian. Akan tetapi pada objek penelitian ini dermaga tinjauan memiliki *history* perbedaan tahun pembangunan, sehingga perlu dilakukan analisis terhadap data yang akan digunakan. Referensi dan ketentuan ini merujuk pada standar peraturan ACI 214-14 R10. Adapun untuk analisis penggabungan data digunakan Persamaan (3) dan Persamaan (4).

$$t = \frac{|\bar{x}_2 - \bar{x}_1|}{S_p \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \quad (3)$$

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{(n_1 + n_2 - 2)}} \quad (4)$$

Batasan nilai kritis yang digunakan terdapat pada Tabel 1, sehingga nilai *t* pada Persamaan (3) tidak boleh melebihi nilai kritis. Jika melebihi nilai kritis maka data pengujian yang berbeda tidak dapat digabung.

Tabel 1. *Probability Value for Seven Degrees of Freedom*

<i>Critical Value</i>	<i>Significance Level</i>	<i>Probability</i>
2.37	95%	1 in 10
3.50	99%	1 in 50
4.78	99.9%	1 in 500

Sumber: ACI 214-14 R10

2.3.3. Analisis Kuat Tekan Beton Ekuivalen

Penentuan nilai kuat tekan beton terpasang hasil pengujian *core drill* dihitung mengacu pada standar ACI 214-4 R10. Pada peraturan ini akan didapatkan hasil berupa nilai kuat tekan beton inisial yang digunakan dalam analisis kuat tekan beton ekuivalen. Persamaan (5) digunakan untuk menghitung hasil pengujian kuat tekan inisial dari pengujian *core drill*.

$$f_{ci} = F_{/d} F_{dia} F_{mc} F_d f_{core} \quad (5)$$

Selanjutnya nilai kuat tekan inisial digunakan dalam perhitungan nilai kuat tekan ekuivalen beton terpasang. Nilai kuat tekan ekuivalen digunakan sebagai estimasi *compressive strength* beton yang digunakan dalam menganalisis struktur dermaga eksisting.

Berdasarkan ACI 214-4 R10, nilai kuat tekan ekuivalen dapat dihitung menurut beberapa alternatif metode yang terdapat pada Persamaan (6) sampai dengan Persamaan (12).

$$f_{0.10} = \bar{f}_c - K s_c \quad (6)$$

$$f'_{ceq} = \bar{f}_c - \sqrt{(K s_c)^2 + (Z s_a)^2} \quad (7)$$

$$f'_{ceq} = C(\bar{f}_c)_{CL} \quad (8)$$

$$\bar{f}_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci} \quad (9)$$

$$s_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(f_{ci} - \bar{f}_c)^2}{(n-1)}} \quad (10)$$

$$s_a = \bar{f}_c \sqrt{V_{fd}^2 + V_{dia}^2 + V_{mc}^2 + V_d^2} \quad (11)$$

$$(\bar{f}_c)_{CL} = \bar{f}_c - \sqrt{\frac{(T s_c)^2}{n} + (Z s_a)^2} \quad (12)$$

Nilai kuat tekan ekuivalen pada Persamaan (6) merupakan metode persamaan yang memberikan faktor toleransi berkisar 10% terhadap nilai kuat tekan yang didapat. Sedangkan nilai kuat tekan ekuivalen sebagai referensi desain mengacu pada Persamaan (7). Untuk nilai kuat tekan ekuivalen pada Persamaan (8) menjelaskan batasan *lower bound* beton terpasang. Selain ACI 214-4 R10, untuk mendapatkan nilai kuat tekan ekuivalen pada beton terpasang juga diatur dalam ACI 562-19 dengan rumusan pada Persamaan (13).

$$f'_{ceq} = 0.9 \bar{f}_c \left[1 - 1.28 \sqrt{\frac{(k_c V)^2}{n} + 0.0015} \right] \quad (13)$$

Dari beberapa persamaan nilai kuat tekan ekuivalen yang telah disebutkan, selanjutnya dilakukan analisis dan perhitungan terhadap data hasil pengujian lapangan pada beton terpasang. Nilai yang didapatkan dari perhitungan selanjutnya akan digunakan sebagai properti material pada permodelan struktur dermaga eksisting.

2.3.4. Metodologi Korelasi Pengujian

Pengujian kekuatan beton yang paling akurat adalah pengujian dengan menggunakan uji beton inti. Namun karena sifat pengujian beton inti merusak struktur, menyebabkan terbatasnya jumlah sampling yang dapat dilakukan sehingga perlu dilakukan korelasi nilai kuat tekan beton inti dengan pengujian lainnya (Khoeri, H., 2016). Dalam penelitian Shariati pada tahun 2010, menjelaskan mengenai korelasi pengujian kuat tekan beton antara pengujian UPV dan *Hammer Test*. Pada tahun yang sama (2010) Aydin, F., & Saribiyik, M., melakukan penelitian mengenai

korelasi kuat tekan antara hasil uji *hammer test* dengan sampling material kubus beton dan dilakukan hal sama pada tahun 2021 oleh Ichsan., M, et al. dan pada tahun 2015, Al-Nu'man melakukan penelitian mengenai korelasi pengujian kuat tekan beton pada kubus beton dengan pengujian UPV.

Dari beberapa penelitian tersebut maka dilakukan penelitian korelasi yang hampir serupa pada setiap hasil pengujian struktur beton terpasang. Supaya nilai korelasi kuat tekan beton bisa menginterpretasikan kuat tekan beton terpasang, maka pengujian beton dilakukan pada titik yang sama baik itu untuk pengujian *core drill* maupun untuk pengujian *hammer* dan pengujian UPV.

Dari pengolahan data pengujian, didapatkan perkiraan hasil mutu beton dari setiap pengujian sample *core drill*, *hammer* dan UPV. Dari ketiga data tersebut dibuat hubungan atau persamaan yang mengkorelasikan antara nilai kuat tekan hasil pengujian *core drill* dengan kuat tekan yang didapat dari pengujian *hammer test* dan UPV. Selanjutnya nilai kuat tekan yang didapat dibuat hubungan regresi nilai kuat tekan di titik yang sama sesuai dengan tipe pengujian struktur.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian lapangan yang telah dilakukan, dibuat pengolahan data hasil uji. Pengolahan yang dilakukan merujuk pada peraturan yang masih berlaku guna mendapatkan kesesuaian hasil pengujian.

3.1. Hasil Analisis Kuat Tekan Core Drill

Berdasarkan ACI 214-4 R10 yang ditunjukkan pada Persamaan (5), analisis nilai kuat tekan beton terpasang dari pengujian *core drill* disajikan pada Tabel 2.

Setelah data perkiraan kuat tekan terkoreksi didapatkan, selanjutnya dilakukan cek data terhadap *outlier* sesuai dengan ketentuan ASTM E178-02. Data hasil pengujian yang dapat digunakan dalam analisis selanjutnya terdapat pada Tabel 3.

Dari Tabel 3 dapat dijelaskan bahwa populasi data hasil pengujian *core drill* tidak termasuk ke dalam populasi *outlier*, sehingga seluruh data bisa digunakan dalam analisis. Karena jumlah data terbatas, maka untuk menambah populasi data dilakukan cek data sesuai dengan yang ditunjukkan pada Persamaan (3). Hasil dari analisis penggabungan data pengujian *core drill* terdapat pada Tabel 4.

Pada Tabel 4 dijelaskan bahwa nilai t tidak lebih dari nilai kritis sesuai dengan ketentuan pada Tabel 1, sehingga data hasil pengujian pada segmen 1 hingga segmen 3 dapat digabung dan digunakan pada analisis penentuan nilai kuat tekan ekuivalen. Analisis nilai kuat tekan beton ekuivalen pada beton terpasang dari hasil *core drill* terdapat pada Tabel 5 dan

Tabel 6.

Tabel 2. Analisis Kuat Tekan Beton

Identitas Elemen Struktur	Tinggi Benda Uji	Rasio l/d	Peak Load	Compressive Strength	Faktor Koreksi				f_{ci}
	(mm)		(kN)	(MPa)	(F.l/d)	(F.dia)	(F.mc)	(F.d)	(MPa)
CD1	109,1	1,604	66,1	18,20	0,981	1,038	1	1,06	19,65
CD2	125,6	1,847	62,9	17,32	0,997	1,038	1	1,06	19,01
CD3	156,5	2,301	99,2	27,32	0,989	1,038	1	1,06	29,74
CD4	154,9	2,278	66,5	18,31	0,991	1,038	1	1,06	19,96
CD5	136,4	2,006	63,2	17,40	1,000	1,038	1	1,06	19,15
CD6	118,7	1,746	52,8	14,54	0,992	1,038	1	1,06	15,87
CD7	150,5	2,213	91,1	25,08	0,995	1,038	1	1,06	27,46
CD8	138,9	2,043	69,2	19,05	1,000	1,038	1	1,06	20,97
CD9	150,4	2,212	70,4	19,38	0,995	1,038	1	1,06	21,22
CD10	152,1	2,237	97,9	26,96	0,993	1,038	1	1,06	29,47
CD11	143,2	2,106	67,1	18,48	0,999	1,038	1	1,06	20,31
CD12	156,5	2,301	94,8	26,10	0,989	1,038	1	1,06	28,42
CD13	159,5	2,346	112,1	30,87	0,986	1,038	1	1,06	33,50
CD14	122,0	1,794	81,7	22,50	0,995	1,038	1	1,06	24,64
CD15	135,0	1,985	81,3	22,39	1,000	1,038	1	1,06	24,64
CD16	109,1	1,604	82,7	22,77	0,981	1,038	1	1,06	24,59
CD17	125,6	1,847	105,7	29,10	0,997	1,038	1	1,06	31,95
CD18	156,5	2,301	94,3	25,97	0,989	1,038	1	1,06	28,27
CD19	154,5	2,272	82,8	22,80	0,991	1,038	1	1,06	24,87
CD20	136,4	2,006	84,2	23,18	1,000	1,038	1	1,06	25,52

Catatan:

Diameter benda uji digunakan 68 mm.

Tabel 3. Analisis Outlier Pengujian Core Drill

No	f_{ci} (Mpa)		
	Segmen 1	Segmen 2	Segmen 3
1	19,651	19,155	15,875
2	19,009	33,502	24,636
3	29,743	24,872	25,520
4	19,965	-	-
5	27,461	-	-
6	20,969	-	-
7	21,221	-	-
8	29,475	-	-
9	20,309	-	-
10	28,422	-	-
11	24,640	-	-
12	24,594	-	-
13	31,948	-	-
14	28,272	-	-
Jumlah Data (n)	14	3	3
Standar Deviasi (s)	4,477	7,223	5,332
Rata -Rata	24,691	25,843	22,010
Nilai Minimum (x_{min})	19,009	19,155	15,875
T_{min}	1,269	0,926	1,151
Nilai Kritis (1%)	2,659	1,155	1,155
Outlier Check	NO	NO	NO

Tabel 4. Analisis Penggabungan Data *Core Drill*

No	f_{ci} (Mpa)	
	Segmen 1	Segmen 2 & 3
1	19.651	19.155
2	19.009	33.502
3	29.743	24.872
4	19.965	15.875
5	27.461	24.636
6	20.969	25.520
7	21.221	-
8	29.475	-
9	20.309	-
10	28.422	-
11	24.640	-
12	24.594	-
13	31.948	-
14	28.272	-
Jumlah Data (n)	14	6
Standar Deviasi (s)	4.477	6.054
Rata -Rata	24.691	23.926
S_p		4.966
t		0.316
Nilai Kritis		3.500
Check Penggabungan Data	Ya, Data Bisa Digabung	

Tabel 5. Resume Data Nilai Kuat Tekan Beton Ekuivalen Pengujian *Core Drill*

No	f_{ci} (Mpa)	$(f_{ci} - (f_{c_avg}))^2$	No	f_{ci} (Mpa)	$(f_{ci} - (f_{c_avg}))^2$
1	19.65	23.15	11	20.31	17.25
2	19.01	29.73	12	28.42	15.68
3	29.74	27.89	13	33.50	81.72
4	19.96	20.22	14	24.64	0.03
5	19.15	28.16	15	24.64	0.03
6	15.87	73.74	16	24.59	0.02
7	27.46	9.00	17	31.95	56.04
8	20.97	12.20	18	28.27	14.52
9	21.22	10.51	19	24.87	0.17
10	29.47	25.13	20	25.52	1.12

Tabel 6. Resume Perhitungan Nilai Kuat Tekan Beton Ekuivalen Pengujian *Core Drill*

Uraian	Satuan	Nilai
Nilai Kuat Tekan Rata - Rata	f_{c_avg} (MPa)	24.46
Standar deviasi ekuivalen sampel	S_c (MPa)	4.85
Standar deviasi faktor kekuatan	S_a (MPa)	2.04
Lower bound sampel ekuivalen	$(f_{c_avg})_{CL}$ (MPa)	22.90
ACI 214-4 R10 (Persamaan 6)	$f_{0.10}$ (MPa)	18.02
ACI 214-4 R10 (Persamaan 7)	f'_{c_eq} (MPa)	16.97
ACI 214-4 R10 (Persamaan 8)	f'_{c_eq} (MPa)	20.38
ACI 562-19 (Persamaan 13)	f'_{c_eq} (MPa)	20.64

3.2. Hasil Analisis Kuat Tekan *Rebound Hammer Test*

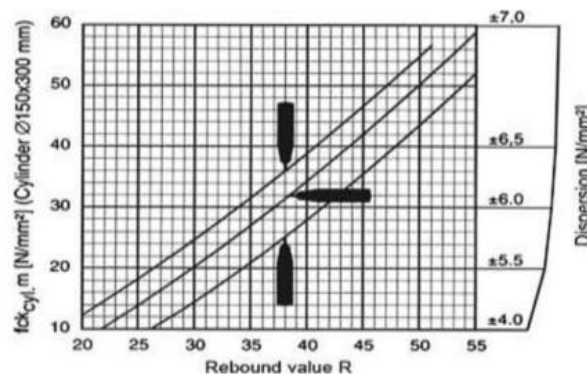
Penentuan kuat tekan berdasarkan pengujian *rebound hammer test* bertujuan untuk mengetahui keseragaman dari beton terpasang. Dalam hal ini dilakukan uji *outlier* pada data hasil pengujian *hammer test*. ASTM C805-18 menjelaskan pengolahan data *outlier* pada pengujian *hammer test*. Data yang digunakan telah di seleksi terhadap batas atas dan batas bawah hasil pengujian menurut Persamaan (14) dan Persamaan (15). Nilai batasan ini merupakan nilai kritis dalam pengujian *hammer test*.

$$\text{Batas Atas} = R_{\text{rata-rata}} + 6 \quad (14)$$

$$\text{Batas Bawah} = R_{\text{rata-rata}} - 6 \quad (15)$$

Nilai $R_{\text{rata-rata}}$ merupakan rata - rata angka pantul yang didapatkan dari hasil pengujian lapangan. Untuk nilai angka pantul (R) yang lebih atau kurang dari nilai kritis maka data dikeluarkan dari populasi dan lokasi pengambilan sampel dipindahkan ke lokasi lain sehingga jumlah data minimum angka pantul (R) terpenuhi.

Data yang telah dievaluasi terhadap nilai kritis, selanjutnya diolah untuk mendapatkan nilai R_{use} . Nilai R_{use} pada beberapa kondisi dapat dikonversi menjadi perkiraan nilai kuat tekan beton terpasang menggunakan pendekatan grafik Gambar 7 yang dikeluarkan oleh produsen alat.



Gambar 6. Konversi Angka Pantul Terhadap Kuat Tekan beton

Perkiraan kuat tekan beton terpasang hasil *hammer test* setelah dikonversi terhadap Gambar 6 disajikan pada Tabel 7. Nilai kuat tekan yang didapatkan dari hasil pengujian ini relatif sangat besar dan tidak mencerminkan kondisi eksisting terpasang. Sehingga nilai kuat tekan perkiraan ini tidak digunakan sebagai analisis langsung dalam penentuan nilai kuat tekan beton terpasang. Supaya data hasil *hammer test* lebih masuk akal, maka nantinya akan dikorelasikan dengan pengujian lain yaitu dengan data pengujian hasil *core drill* yang akan disampaikan pada bagian selanjutnya.

Tabel 7. Perkiraan Nilai Kuat Tekan Beton Berdasarkan Angka Pantul (R)

No	f_{ci} (Mpa)					
	Segmen 1		Segmen 2		Segmen 3	
	R_{use}	f_c'	R_{use}	f_c'	R_{use}	f_c'
1	43.90	48.00	44.00	48.00	36.70	48.00
2	41.70	44.00	43.70	46.00	32.40	46.00
3	41.10	43.00	42.90	45.00	38.40	45.00
4	44.00	48.00	44.30	48.00	39.30	48.00
5	49.70	59.00	41.70	43.00	40.10	43.00
6	51.30	63.00	41.90	43.00	40.70	43.00
7	49.40	59.00	44.80	48.00	34.60	48.00
8	48.70	57.00	40.30	41.00	32.80	41.00
9	42.30	44.00	36.40	34.00	32.10	34.00
10	49.60	58.00	42.80	44.00	36.00	44.00
11	39.20	39.00	47.10	53.00	36.60	53.00
12	51.90	61.00	49.60	57.00	36.90	57.00
13	44.90	49.00	46.00	51.00	36.30	51.00
14	49.50	59.00	46.90	51.00	32.80	51.00
15	49.40	59.00	46.40	53.00	33.20	53.00
16	47.10	53.00	44.10	48.00	36.50	48.00
17	47.60	55.00	41.22	43.00	34.90	43.00
18	40.60	42.00	41.80	43.00	40.30	43.00
19	42.20	45.00	35.90	33.00	30.50	33.00
20	49.70	58.00	40.90	47.00	35.60	47.00
21	45.70	56.00	40.80	47.00	29.00	47.00
22	45.70	54.00	41.50	49.00	32.40	49.00
23	45.40	54.00	35.40	37.00	34.20	37.00
24	45.60	54.00	40.70	47.00	30.10	47.00
25	40.10	45.00	40.50	47.00	36.60	47.00
26	45.30	54.00	39.20	44.00	31.30	44.00
27	46.80	56.00	37.80	42.00	29.50	42.00
28	46.20	56.00	37.80	42.00	30.10	42.00
29	46.70	56.00	41.50	49.00	-	-
30	47.10	58.00	38.10	43.00	-	-
31	44.90	53.00	31.50	32.00	-	-
32	43.80	52.00	33.30	34.00	-	-
33	42.40	50.00	33.00	34.00	-	-
34	45.40	56.00	35.90	38.00	-	-

3.3. Hasil Analisis Kuat Tekan *Ultrasonic Pulse Velocity*

Salah satu kondisi aktual komponen struktur beton yang harus diketahui adalah kondisi homogenitas beton dan kedalaman retakan bila terjadi. Pengujian dilakukan dengan alat *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV / Pundit). Nilai perkiraan kuat tekan beton terpasang berdasarkan pengujian UPV pada Tabel 8 menggunakan pendekatan dengan persamaan $f_{cu}=11.8040 \exp(0.2601v)$ (Al-Nu'man et al, 2015). Selanjutnya dilakukan analisis terhadap klasifikasi *outlier* data pada Tabel 9 dan didapatkan data hasil pengujian UPV tidak termasuk ke dalam klasifikasi *outlier* sehingga bisa digunakan untuk analisis selanjutnya. Karena jumlah data yang terbatas, perlu dilakukan analisis penggabungan data sesuai Persamaan (3) dengan hasil pada Tabel 10.

Tabel 8. Nilai Perkiraan Kuat Tekan Beton Pengujian UPV

No	Segmen 1		Segmen 2		Segmen 3	
	V (km/s)	fc' (MPa)	V (km/s)	fc' (MPa)	V (km/s)	fc' (MPa)
1	2.41	22.09	2.98	25.62	2.44	22.26
2	2.45	22.35	2.72	23.92	3.30	27.88
3	2.30	21.50	4.13	34.59	2.82	24.60
4	3.46	29.07	3.80	31.74	2.83	24.62
5	3.61	30.18	2.93	25.31	4.06	33.96
6	3.03	25.96	3.58	29.99	3.43	28.80
7	3.39	28.47	3.47	29.14	3.17	26.89
8	-	-	3.76	31.42	3.98	33.22
9	-	-	2.92	25.23	3.98	33.22
10	-	-	3.86	32.20	3.83	32.00
11	-	-	3.23	27.34	-	-

Tabel 9. Analisis *Outlier* Pengujian UPV

No	<i>f_{ci}</i> (Mpa)		
	Segmen 1	Segmen 2	Segmen 3
1	22.09	25.62	22.26
2	22.35	23.92	27.88
3	21.50	34.59	24.60
4	29.07	31.74	24.62
5	30.18	25.31	33.96
6	25.96	29.99	28.80
7	28.47	29.14	26.89
8	-	31.42	33.22
9	-	25.23	33.22
10	-	32.20	32.00
11	-	27.34	-
Jumlah Data (n)	7	11	10
Standar Deviasi (s)	3.67	3.50	4.19
Rata -Rata	25.66	28.77	28.74
Nilai Minimum (<i>x_{min}</i>)	21.50	23.92	22.26
<i>T_{min}</i>	1.13	1.38	1.54
Nilai Kritis (1%)	2.09	2.48	2.41
<i>Outlier Check</i>	NO	NO	NO

Tabel 10. Analisis Penggabungan Data Pengujian UPV

Keterangan	<i>f_{ci}</i> (Mpa)	
	Segmen 1	Segmen 2
Jumlah Data (n)	7	11
Standar Deviasi (s)	3.675	3.509
Rata -Rata	25.660	28.773
<i>S_p</i>		3.572
<i>t</i>		1.802
Nilai Kritis		2.370
<i>Check</i> Penggabungan Data	Ya, Data Bisa Digabung	

Dari Tabel 10 dijelaskan bahwa nilai *t* tidak lebih dari nilai kritis sesuai dengan ketentuan pada Tabel 1, sehingga data hasil pengujian pada Tabel 9 dapat digabung dan digunakan lebih

lanjut. Resume nilai kuat tekan pada beton terpasang hasil pengujian UPV terdapat pada Tabel 11 dan dapat disimpulkan rata – rata nilai kuat tekan beton terpasang adalah 27.98 MPa.

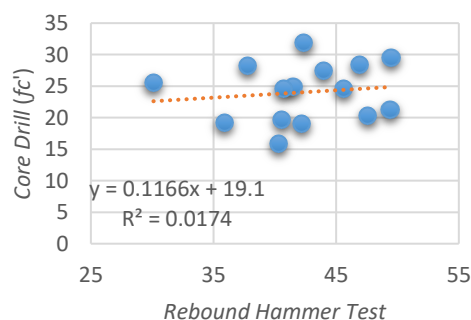
Tabel 11. Resume Nilai Kuat Tekan Beton Berdasarkan Pengujian UPV

Gabungan Data Segmen 1,2 3	Kuat Tekan (MPa)
Minimum	21.50
Maksimum	34.59
Rata - Rata	27.98

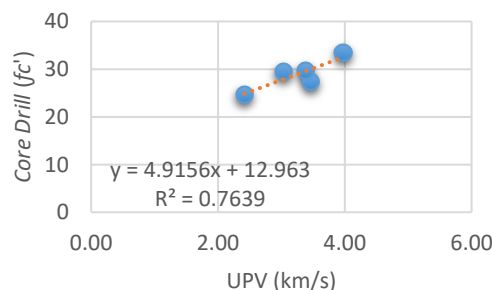
Supaya nilai kuat tekan beton yang dihasilkan dari pengujian UPV bisa digunakan lebih konservatif, data perlu di korelasikan dengan pengujian lainnya yaitu pengujian *core drill*.

3.4. Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton Terpasang

Korelasi nilai kuat tekan beton terpasang dilakukan untuk 2 kondisi. Kondisi pertama adalah mengkorelasikan nilai kuat tekan hasil pengujian *core drill* dengan *hammer test* yang ditunjukkan pada Gambar 8. Kondisi kedua mengkorelasikan hasil pengujian *core drill* dengan hasil pengujian UPV yang ditunjukkan pada Gambar 9. Nilai yang dikorelasikan merupakan nilai pada titik yang sama saat pengujian berlangsung.



Gambar 7. Hubungan *Core Drill* dengan *Hammer Test*



Gambar 8. Hubungan *Core Drill* dengan UPV

Berdasarkan Gambar 8 dan Gambar 9, didapatkan 2 persamaan regresi untuk menghitung perkiraan kuat tekan pada beton terpasang sesuai dengan jenis pengujian struktur baik itu hasil *hammer test* yang terdapat pada Tabel 12 maupun hasil dari pengujian UPV pada Tabel 13.

Tabel 12. Nilai Kuat Tekan Korelasi Pengujian *Hammer* ($y=0.1166x+19.1$)

No	Segmen 1		Segmen 2		Segmen 3	
	Angka Pantul	fc' (MPa)	Angka Pantul	fc' (MPa)	Angka Pantul	fc' (MPa)
1	43.90	24.22	44.00	24.23	36.70	23.38
2	41.70	23.96	43.70	24.20	32.40	22.88
3	41.10	23.89	42.90	24.10	38.40	23.58
4	44.00	24.23	44.30	24.27	39.30	23.68
5	49.70	24.90	41.70	23.96	40.10	23.78
6	51.30	25.08	41.90	23.99	40.70	23.85
7	49.40	24.86	44.80	24.32	34.60	23.13
8	48.70	24.78	40.30	23.80	32.80	22.92
9	42.30	24.03	36.40	23.34	32.10	22.84
10	49.60	24.88	42.80	24.09	36.00	23.30
11	39.20	23.67	47.10	24.59	36.60	23.37
12	51.90	25.15	49.60	24.88	36.90	23.40
13	44.90	24.34	46.00	24.46	36.30	23.33
14	49.50	24.87	46.90	24.57	32.80	22.92
15	49.40	24.86	46.40	24.51	33.20	22.97
16	47.10	24.59	44.10	24.24	36.50	23.36
17	47.60	24.65	41.22	23.91	34.90	23.17
18	40.60	23.83	41.80	23.97	40.30	23.80
19	42.20	24.02	35.90	23.29	30.50	22.66
20	49.70	24.90	40.90	23.87	35.60	23.25
21	45.70	24.43	40.80	23.86	29.00	22.48
22	45.70	24.43	41.50	23.94	32.40	22.88
23	45.40	24.39	35.40	23.23	34.20	23.09
24	45.60	24.42	40.70	23.85	30.10	22.61
25	40.10	23.78	40.50	23.82	36.60	23.37
26	45.30	24.38	39.20	23.67	31.30	22.75
27	46.80	24.56	37.80	23.51	29.50	22.54
28	46.20	24.49	37.80	23.51	30.10	22.61
29	46.70	24.55	41.50	23.94	-	-
30	47.10	24.59	38.10	23.54	-	-
31	44.90	24.34	31.50	22.77	-	-
32	43.80	24.21	33.30	22.98	-	-
33	42.40	24.04	33.00	22.95	-	-
34	45.40	24.39	35.90	23.29	-	-

Tabel 13. Nilai Kuat Tekan Korelasi Pengujian UPV ($y=4.915x+12.963$)

No	Segmen 1		Segmen 2		Segmen 3	
	V (km/s)	fc' (MPa)	V (km/s)	fc' (MPa)	V (km/s)	fc' (MPa)
1	2.41	24.81	2.98	27.61	2.44	24.96
2	2.45	25.01	2.72	26.33	3.30	29.18
3	2.30	24.27	4.13	33.26	2.82	26.82
4	3.46	29.97	3.80	31.64	2.83	26.87
5	3.61	30.71	2.93	27.37	4.06	32.92
6	3.03	27.86	3.58	30.56	3.43	29.82
7	3.39	29.63	3.47	30.02	3.17	28.55

Tabel 14. Nilai Kuat Tekan Korelasi Pengujian UPV ($y=4.915x+12.963$) - Lanjutan

No	Segmen 1		Segmen 2		Segmen 3	
	V (km/s)	fc' (MPa)	V (km/s)	fc' (MPa)	V (km/s)	fc' (MPa)
8	-	-	3.76	31.45	3.98	32.53
9	-	-	2.92	27.32	3.98	32.53
10	-	-	3.86	31.94	3.83	31.79
11	-	-	3.23	28.84	-	-

3.5. Perhitungan Nilai Kuat Tekan Beton Ekuivalen

Karena data hasil pengujian *core drill* terbatas, untuk menambah populasi data maka nilai kuat tekan beton terpasang hasil pengolahan data korelasi pada Tabel 12 dan Tabel 13 akan digabungkan dengan nilai kuat tekan beton *core drill* pada Tabel 3. Hasil pengolahan didapat nilai kuat tekan ekuivalen pada Tabel 15 dan Tabel 16.

Tabel 15. Analisis Penggabungan Data f_c' Core Drill dan f_c' Korelasi Hammer

	Segmen 1		Segmen 2		Segmen 3	
	Core	Hammer	Core	Hammer	Core	Hammer
Jumlah data (n)	14	34	3	34	3	28
Standar deviasi (s)	4.47	0.38	7.22	0.50	5.33	0.39
Rata-rata	24.69	24.43	25.84	23.86	22.01	23.13
S_p		2.40		1.79		1.45
t		0.33		1.83		1.28
Nilai kritis		3.50		3.50		3.50
Cek gabungan data		YES		YES		YES

Tabel 16. Analisis Penggabungan Data f_c' Core Drill dan f_c' Korelasi UPV

	Segmen 1		Segmen 2		Segmen 3	
	Core	Hammer	Core	Hammer	Core	Hammer
Jumlah data (n)	14	7	3	11	3	10
Standar deviasi (s)	4.48	2.74	7.22	2.30	5.33	2.81
Rata-rata	24.69	27.46	25.84	29.67	22.01	29.60
S_p		4.01		3.62		3.41
t		1.49		1.62		3.38
Nilai kritis		3.50		3.50		3.50
Check gabungan data		YES		YES		YES

Tabel 15 dan Tabel 16 menjelaskan bahwa data pengujian hasil *core drill* bisa digabungkan dengan nilai kuat tekan hasil korelasi, hal tersebut dapat dilihat karena nilai t lebih kecil dari nilai kritis. Adapun analisis kuat tekan beton ekuivalen dari hasil gabungan data tersebut terdapat pada Tabel 17 dan Tabel 18 yang menunjukkan nilai kuat tekan beton rencana yang akan diaplikasikan lebih lanjut dalam permodelan struktur eksisting.

Tabel 17. Nilai Kuat Tekan Ekuivalen Gabungan *Core Drill* dengan Korelasi *Hammer Test*

Nilai Kuat Tekan Ekuivalen <i>Hammer Test</i>		Segmen 1	Segmen 2	Segmen 3
Nilai kuat tekan rata-rata	$f_{c,avg}$ (MPa)	24.51	24.03	23.27
Standar deviasi ekuivalen sampel	S_c (MPa)	2.38	1.85	0.63
Standar deviasi faktor kekuatan	S_a (MPa)	2.05	2.01	1.94
<i>Lower bound</i> sampel ekuivalen	$(f_{c,avg})_{CL}$ (MPa)	23.12	22.67	21.96
ACI 214-4 R10 (Persamaan 6)	$f_{0,10}$ (MPa)	22.13	21.58	22.43
ACI 214-4 R10 (Persamaan 7)	$f'_{c,eq}$ (MPa)	20.73	20.97	21.66
ACI 214-4 R10 (Persamaan 8)	$f'_{c,eq}$ (MPa)	20.58	20.18	19.55
ACI 562-19 (Persamaan13)	$f'_{c,eq}$ (MPa)	20.84	20.39	19.71

Tabel 18. Nilai Kuat Tekan Ekuivalen Gabungan *Core Drill* dengan Korelasi UPV

Nilai Kuat Tekan Ekuivalen UPV		Segmen 1	Segmen 2	Segmen 3
Nilai kuat tekan rata-rata	$f_{c,avg}$ (MPa)	25.62	28.85	27.85
Standar deviasi ekuivalen sampel	S_c (MPa)	4.13	3.84	4.66
Standar deviasi faktor kekuatan	S_a (MPa)	2.14	2.41	2.32
<i>Lower bound</i> sampel ekuivalen	$(f_{c,avg})_{CL}$ (MPa)	24.05	27.08	26.05
ACI 214-4 R10 (Persamaan 6)	$f_{0,10}$ (MPa)	20.12	23.62	21.51
ACI 214-4 R10 (Persamaan 7)	$f'_{c,eq}$ (MPa)	19.17	22.42	20.14
ACI 214-4 R10 (Persamaan 8)	$f'_{c,eq}$ (MPa)	21.41	24.10	23.18
ACI 562-19 (Persamaan13)	$f'_{c,eq}$ (MPa)	21.62	24.21	23.34

3.6. Pembahasan

Dari hasil pengujian beton terpasang didapatkan resume nilai kuat tekan beton ekuivalen pada Tabel 19.

Tabel 19. Resume Nilai Kuat Tekan Ekuivalen

Kuat Tekan Ekuivalen		Segmen 1	Segmen 2	Segmen 3
<i>Core Drill</i>				
ACI 214-4 R10 (Persamaan 6)	$f_{0,10}$ (MPa)		18.02	
ACI 214-4 R10 (Persamaan 7)	$f'_{c,eq}$ (MPa)		16.97	
ACI 214-4 R10 (Persamaan 8)	$f'_{c,eq}$ (MPa)		20.38	
ACI 562-19 (Persamaan13)	$f'_{c,eq}$ (MPa)		20.64	
Pengujian <i>Core Drill</i> dan Korelasi <i>Hammer Test</i>				
ACI 214-4 R10 (Persamaan 6)	$f_{0,10}$ (MPa)	22.13	21.58	22.43
ACI 214-4 R10 (Persamaan 7)	$f'_{c,eq}$ (MPa)	20.73	20.97	21.66
ACI 214-4 R10 (Persamaan 8)	$f'_{c,eq}$ (MPa)	20.58	20.18	19.55
ACI 562-19 (Persamaan13)	$f'_{c,eq}$ (MPa)	20.84	20.39	19.71
Pengujian <i>Core Drill</i> dan Korelasi UPV				
ACI 214-4 R10 (Persamaan 6)	$f_{0,10}$ (MPa)	20.12	23.62	21.51
ACI 214-4 R10 (Persamaan 7)	$f'_{c,eq}$ (MPa)	19.17	22.42	20.14
ACI 214-4 R10 (Persamaan 8)	$f'_{c,eq}$ (MPa)	21.41	24.10	23.18
ACI 562-19 (Persamaan13)	$f'_{c,eq}$ (MPa)	21.62	24.21	23.34

Dari Tabel 19 dapat digambarkan mengenai kuat tekan ekuivalen pada beton terpasang berdasarkan pengujian *core drill*, hasil pengujian *core drill* dan korelasi *hammer test* dan terakhir adalah hasil pengujian *core drill* dan korelasi UPV. Hasil kuat tekan ekuivalen yang didapatkan dari pengujian *core drill* relatif seragam untuk Persamaan (13) menurut ACI 562-19 dan

Persamaan (8) menurut ACI 214-14 sedangkan nilai kuat tekan ekuivalen berdasarkan Persamaan (6) dan Persamaan (7) memiliki perbedaan/selisih terhadap Persamaan (8) dan Persamaan (13). Besaran selisih yang didapat antara 2 – 4 MPa. Selain itu hasil kuat tekan ekuivalen yang didapatkan dari korelasi pengujian *hammer* juga relatif seragam untuk setiap segmennya dan keseragaman tersebut berlaku juga untuk setiap metode perhitungan yang dijelaskan oleh ACI 562-19 dan ACI 214-14. Sehingga hasil dari pengujian ini lebih konservatif.

Keseragaman hasil pengujian *core drill* dan korelasi *hammer test* dimungkinkan terjadi karena penggunaan metode uji pantul tidak cocok untuk memperkirakan kekuatan beton dengan umur yang relatif tua (Aydin, F & Saribiyik, M, 2010). Hal tersebut dikarenakan banyak faktor yang mempengaruhi nilai kuat tekan seperti karakteristik campuran, karbonasi permukaan, kondisi kelembaban lingkungan.

Berbeda dengan pengujian *hammer*, pada hasil pengujian berdasarkan korelasi pengujian UPV nilai kuat tekan ekuivalen relatif terdapat perbedaan untuk setiap segmennya. Perbedaan dimungkinkan terjadi akibat adanya rentang waktu masa pembangunan struktur eksisting. Dimana menurut *history* nya dermaga eksisting ini dibangun dalam 3 waktu yang berbeda, yaitu pembangunan dermaga segmen 1 dilakukan pada tahun 1997, dermaga segmen 2 pada tahun 2013 dan terakhir dermaga segmen 3 pada tahun 2022. Dari perbedaan tahun pembangunan tersebut dimungkinkan akan terdapat perbedaan nilai kuat tekan untuk setiap segmennya, terlebih untuk dermaga dengan pembangunan yang sudah cukup lama akan mengalami degradasi ataupun deteriorasi pada struktur beton terpasang.

Berdasarkan alasan – alasan di atas maka nilai kuat tekan beton terpasang yang digunakan adalah berdasarkan hasil korelasi antara nilai pengujian *core drill* dengan pengujian UPV. Nilai yang digunakan untuk analisis selanjutnya seperti terdapat pada Tabel 20 yang berdasarkan perhitungan menurut Persamaan (8) dan Persamaan (13). Nilai kuat tekan yang dihasilkan dari persamaan tersebut menunjukkan nilai yang hampir seragam.

Tabel 20. Kuat Tekan Beton Ekuivalen untuk Permodelan

Deskripsi	Segmen 1	Segmen 2	Segmen 3
Mutu Beton (MPa)	21.41	24.10	23.18

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, disimpulkan bahwa penentuan nilai kuat tekan beton terpasang paling efektif didapatkan dari pengujian merusak seperti *core drill* dikarenakan bisa menggambarkan kondisi asli beton terpasang. Akan tetapi karena sifatnya merusak, data yang didapat akan terbatas. Untuk itu agar mendapatkan hasil yang representatif, hasil pengujian *core drill* perlu dibuat korelasi dengan pengujian lain seperti pengujian *hammer* dan pengujian UPV.

Hasil analisis dari setiap pengujian berupa nilai kuat tekan ekuivalen yang akan digunakan untuk input material pada pemodelan struktur eksisting. Dari pengujian *core drill* menunjukkan adanya selisih nilai kuat tekan beton ekuivalen untuk setiap metode perhitungan. Sedangkan berdasarkan korelasi antara *core drill* dengan *hammer test* didapatkan hasil yang relatif seragam untuk setiap segmennya. Hasil yang didapatkan berdasarkan korelasi pengujian *core drill* dan UPV menunjukkan adanya perbedaan nilai kuat tekan beton untuk setiap segmennya. Perbedaan nilai kuat tekan ekuivalen dimungkinkan terjadi akibat perbedaan tahun pembangunan struktur, sehingga nilai kuat tekan beton untuk setiap segmennya berbeda.

5. DAFTAR PUSTAKA

- ACI 214.4R-10.2010. *Guide for obtaining cores and interpreting Compressive Strength Results*. American Concrete Institute.
- ACI 562.2019. *Code Requirements for Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures and Commentary*. American Concrete Institute.
- Al-Nu'man, B.S., Aziz, B.R., & Khaleel, S.E. (2015). *Compressive Strength Formula for concrete using Ultrasonic Pulse Velocity*. *International Journal of Engineering and Technology (IJETT)*, Vol.26, No.1.
- Arifatunurrillah, A., Saputra, A., Sulistyono, D., (2019). Pengaruh Air Laut Pada Masa Perendaman Terhadap Infiltrasi Ion Klorida Pada Beton dengan Menggunakan Semen Portland Tipe V. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil Universitas Sebelas Maret*, ISSN: 2579-7999.
- ASTM C597.2002. *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*.
- ASTM C1604.2005. *Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores of Shotcrete*.
- ASTM C805.2018. *Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete*.
- ASTM E178-02.2003. *Standard Practice for Dealing with Outlying Observations*.
- Aydin, F., & Saribiyik, M., (2010). *Correlation Schmidt Hammer and compressions testing for concretes in existing buildings*. *Scientific Research and Essays* Vol.5(13), pp.1644-1648.
- Chairunnisa, N., & Pratiwi, A., (2023). Pendampingan Teknis Pengujian Non Merusak dengan *Ultrasonic Pulse Velocity* dan *Hammer Test* pada Struktur Beton Bertulang Bangunan Kantor di Banjarbaru. *Jurnal pengabdian Ilung*, Vol.3, No.1.
- Haavisto, J., Husso, A., Laaksonen, A., (2020). *Compressive strength of core specimens drilled from concrete test cylinders*. *Wiley, Structural Concrete*. 2021;22(suppl.1): E68.-E695.
- Ichsan, M., Tanjung, D., Hasibuan, M., (2021). Analisa Perbandingan Hammer Test dan Compression Testing Machine Terhadap Uji Kuat Tekan Beton. *Buletin Utama Teknik* Vol.17 No. 1.
- Khoeri, H., (2016). *Non-Destructive Test Terhadap Semi Destructive Test Pada Shear Wall Beton Bertulang*. *Jurnal Konstruksia* vol.7 no.2.
- Komala, A., & Juliafad, E., (2022). Evaluasi Kuat Tekan Beton pada Bangunan Gedung Sekolah Dasar Negeri 09 Pasaman. *Applied Science in Civil Engineering*, Vol.4, No.2.
- Sanchez, K., & Tarranza, N., (2014). *Reliability of Rebound Hammer Test in Concrete Compressive Strength Estimation*. *Int'l journal of Advances in Agricultural & Environmental Engg (IJAAEE)* Vol.1 ISSN 2349-1523 EISSN 2349-1531.
- Shariati, M., Sulong, N., Arabnejad, M., Shafigh, P., & Sinaei, H., (2010). *Assessing the strength of reinforced concrete structures through Ultrasonic Pulse Velocity and Schmidt Rebound Hammer test*. *Scientific Research and Essays* Vol 6(1), pp. 213-220.