

PENGARUH DILATASI TIPE *ISOLATION JOINT* DAN *CONSTRUCTION JOINT* TERHADAP DEFLEKSI LATERAL TIANG PANCANG DERMAGA

Kuntoro Warso Nugroho¹, Yusep Muslih Purwana² dan Bambang Setiawan³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta
Email: kuntoro.wn@gmail.com

²Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta
Email: bbstw88@yahoo.co.id

³Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta
Email: [ymuslih@ft.uns.ac.id](mailto:yumuslih@ft.uns.ac.id)

ABSTRACT

Wharf is one of the buildings in the port that is used as a place to dock ships and carry out port activities. The wharf structure is divided into several systems that require Dilatation (Joint) to control the fracture of the structure and separate the two different structures. Wharf structure generally uses the Isolation Joint (IJ) type dilatation, while the Construction Joint (CJ) type is commonly used in structures on the ground. The type of restraints of the dilatation structure in the IJ type is modeled as free, while the CJ type is modeled as roll. This study studied the effect of the use of IJ and CJ type dilatation on the wharf structure on the top of pile deflection. Soil data in Mempawah Regency, West Kalimantan was used as a case example and the analysis process using the Finite Element Method software. The results showed that the greatest effect of combined loading on the top of pile deflection in the longitudinal direction in the IJ and CJ types was 6.3 cm (IJ) and 3.8 cm (CJ), occurred in extreme conditions, , while the transverse direction was 7.5 cm (IJ) and 6.8 cm (CJ) occurred when the dock received the ship's berthing load. Type CJ dilatation has an effect in reducing the longitudinal deflection of the top of pile by 38.93% and the transverse direction by 4.51%

Keywords: pile, wharf, deflection, dilatation, construction joint, isolation joint

ABSTRAK

Dermaga adalah salah satu bangunan di pelabuhan yang digunakan sebagai tempat sandar kapal dan melakukan aktivitas kepelabuhan. Struktur dermaga terbagi menjadi beberapa sistem yang memerlukan Dilatasi (*Joint*) untuk mengontrol keretakan struktur dan memisahkan dua struktur yang berbeda. Struktur dermaga umumnya menggunakan dilatasi tipe *Isolation Joint* (IJ), sementara tipe *Construction Joint* (CJ) banyak digunakan pada struktur yang berada di atas tanah. Tipe perletakan struktur dilatasi pada tipe IJ dimodelkan sebagai *free*, sedangkan tipe CJ dimodelkan sebagai *roll*. Penelitian ini mempelajari pengaruh penggunaan dilatasi tipe IJ dan CJ pada struktur dermaga terhadap defleksi ujung tiang pancang. Data tanah di Kabupaten Mempawah Kalimantan Barat digunakan sebagai contoh kasus dan proses analisis menggunakan *software* Metode Elemen Hingga. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh terbesar kombinasi pembebanan terhadap defleksi ujung tiang pancang arah memanjang pada tipe IJ dan CJ terjadi pada kondisi ekstrim, yaitu: 6,3 cm (IJ) dan 3,8 cm (CJ), sementara arah melintang adalah 7.5 cm (IJ) dan 6.8 cm (CJ) terjadi pada saat dermaga menerima beban sandar kapal. Dilatasi Tipe CJ berpengaruh dalam mereduksi defleksi ujung tiang pancang arah memanjang sebesar 38.96% dan arah melintang sebesar 9.03%.

Kata kunci: tiang pancang, dermaga, defleksi, dilatasi, *construction joint*, *isolation joint*

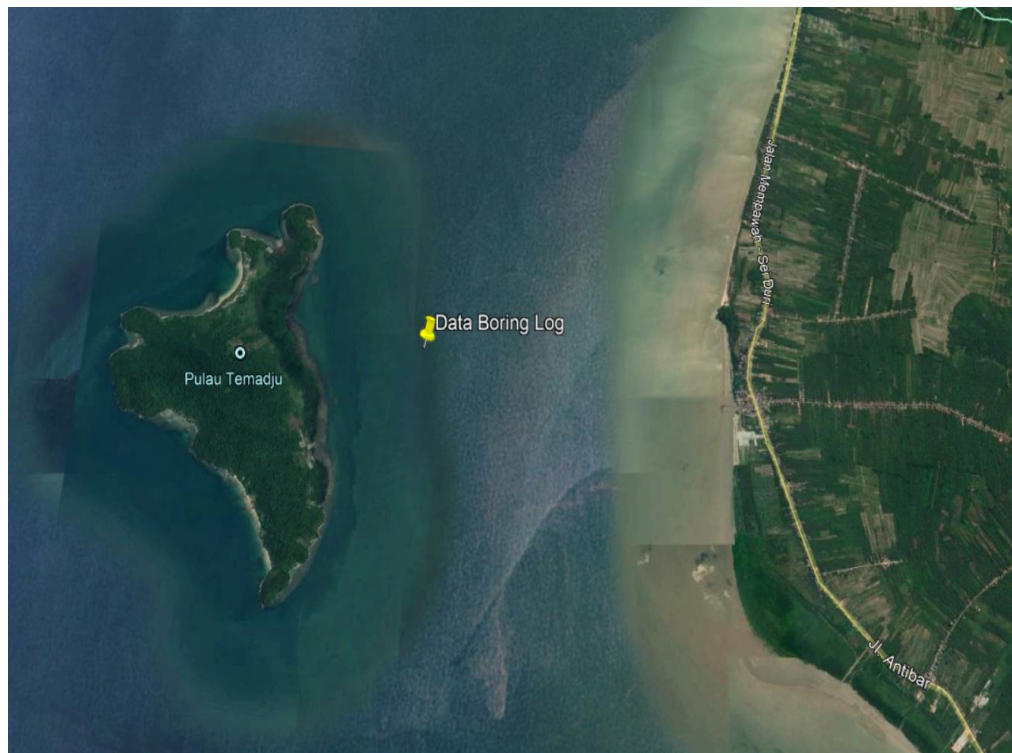
1. PENDAHULUAN

Program Tol Laut atau merupakan salah satu Program Strategis Nasional di era pemerintahan Presiden Joko Widodo yang bertujuan untuk memperbaiki distribusi barang antar pulau di Indonesia menjadi semakin mudah dan lancar, sehingga diharapkan dapat menekan biaya pengiriman dan berdampak pada harga barang yang lebih merata di seluruh Indonesia. Konsep tol laut merupakan jalur pelayaran yang menghubungkan pulau-pulau di seluruh Indonesia dengan menggunakan kapal-kapal besar, dimana salah satu penunjang program tersebut adalah dengan peningkatan pembangunan infrastruktur berupa pelabuhan. Dermaga adalah salah satu bangunan di dalam pelabuhan yang digunakan sebagai tempat sandar kapal dan melakukan aktivitas kepelabuhan seperti bongkar muat barang atau menaik-turunkan penumpang. Dermaga terbagi menjadi bangunan struktur atas dan struktur bawah. Bangunan struktur atas terdiri dari pelat lantai dan balok, sedangkan bangunan struktur bawah terdiri dari fondasi. Kestabilan struktur diperhitungkan sehingga dapat menopang bangunan dan menahan beban bangunan khususnya pada struktur

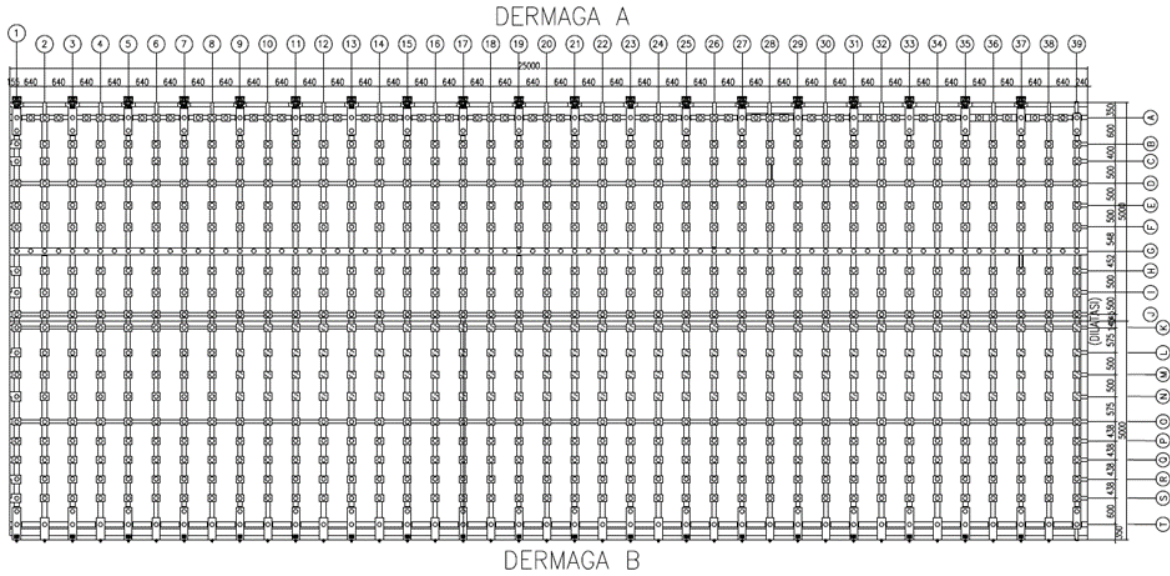
bagian bawah, yaitu fondasi. Beban yang diperhitungkan pada perencanaan fondasi adalah beban vertikal dan beban lateral (Kawengian, dkk 2018).

Struktur dermaga yang terbagi menjadi beberapa sistem memerlukan Dilatasi (*Joint*) untuk mengontrol keretakan struktur dan memisahkan dua sistem yang berbeda tersebut. Terdapat 3 (tiga) tipe Dilatasi yang umum digunakan pada struktur, yaitu *Isolation Joint*, *Construction Joint* dan *Constraction Joint*. Tipe yang umum digunakan pada struktur dermaga adalah tipe *Isolation Joint*, sementara tipe *Construction Joint* sering digunakan pada struktur lantai di atas tanah.

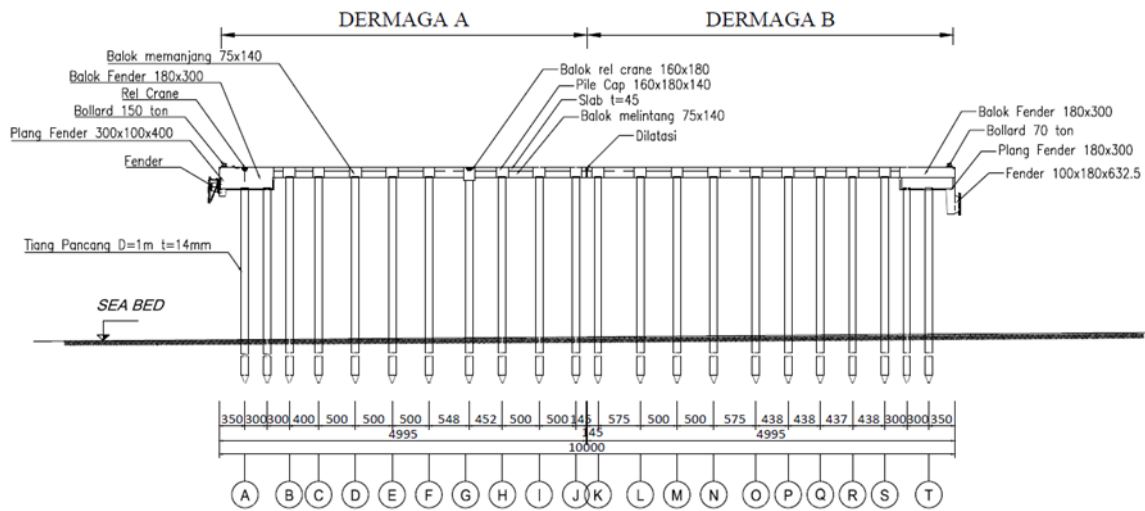
Penelitian ini mempelajari tentang pengaruh penggunaan Dilatasi tipe *Isolation Joint* dan *Construction Joint* terhadap defleksi ujung tiang pancang dermaga pada kondisi *service* dan ekstrim. Penelitian dilakukan dengan memodelkan dua struktur dermaga yang bersebelahan, dimana masing-masing dermaga direncanakan untuk disandari kapal dengan kapasitas yang berbeda. Dermaga yang disandari kapal dengan kapasitas 100.000 *DWT* dinamakan Dermaga A, dan dermaga yang disandari kapal 50.000 *DWT* dinamakan Dermaga B. Sarana bongkar muat pada Dermaga A direncanakan akan menggunakan *Container Crane* dan Dermaga B menggunakan *Harbour Mobile Crane (HMC)*, selain itu di atas Dermaga B direncanakan juga akan difungsikan sebagai tempat penumpukan *container* sementara, lengkap dengan *Rubber Tyred Gantry Crane (RTGC)* sebagai peralatan bongkar muat dan penyusun *Container*. Dermaga A dan B mempunyai dimensi yang sama yaitu 250 x 50 m, berupa struktur beton bertulang dan menggunakan tiang pancang beton diameter 1000 mm tebal 14 mm yang berdiri di atas *seabed* dengan kedalaman 16 *mLWS*. Struktur dermaga berdiri di atas lapisan tanah lunak yang dalam dengan nilai *N-SPT* antara 10-20 (data tanah, topografi dan lingkungan menggunakan data sekunder di area Kabupaten Mempawah, Kalimantan Barat). Lokasi pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 1 sementara ilustrasi pemodelan dermaga dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3 berikut.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

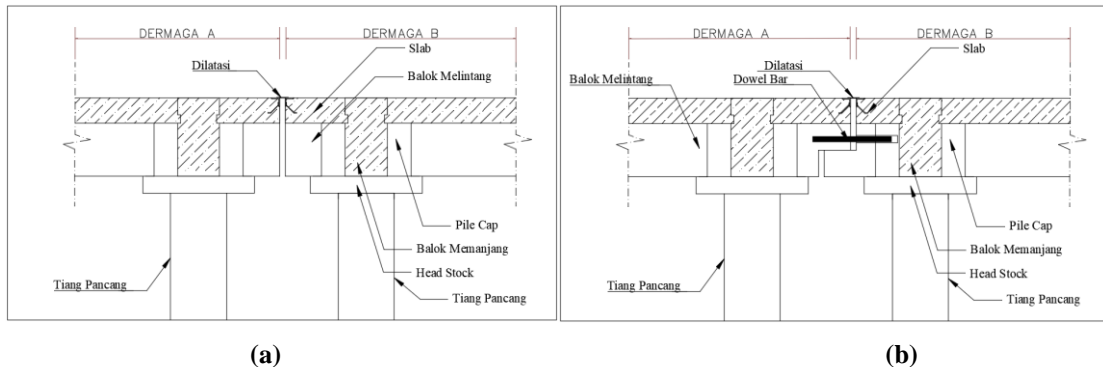


Gambar 2. Denah Dermaga A dan B



Gambar 3. Tampak samping Dermaga A dan B

Antar Dermaga A dan B terdapat dilatasi untuk memisahkan dua struktur tersebut. Dilatasi yang dimodelkan dalam penelitian ini adalah tipe *Isolation joint* dan dibandingkan dengan tipe *Construction joint*. Ilustrasi tipe dilatasi antar struktur dermaga A dan B dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. (a) Dilatasi tipe *Isolation Joint*; (b) Dilatasi tipe *Construction Joint*

2. LANDASAN TEORI

Tinjauan Pustaka

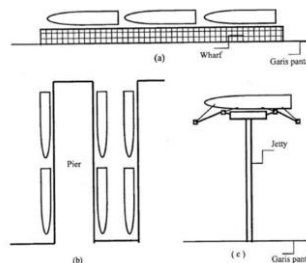
Sударsono & Setiawan (2018) dalam penelitian yang berjudul “Pemodelan Struktur Dermaga Menggunakan Sistem Perletakan Metode *P-Y* dan Sistem Perletakan *Virtual Fixity Point*” memodelkan struktur dermaga dengan menggunakan sistem perletakan *P-Y* dan sistem perletakan dengan menggunakan *Virtual Fixity Point*. Metode *P-Y* memodelkan struktur tiang pancang sebagai elemen-elemen dengan tumpuan pegas elastis, sementara metode Titik Jepit Tak Nyata (*Virtual Fixity Point*) memodelkan tiang pancang dikondisikan terjepit pada kedalaman tertentu dari dasar *seabed*. Penelitian dilakukan pada struktur dermaga pada tanah lunak, dengan dimensi 80 x 10 m dan tiga variasi diameter $d_1 = 558$ mm tebal 12 mm, $d_2 = 609$ mm tebal 12 mm dan $d_3 = 650$ mm tebal 10 mm. Hasil yang didapat bahwa output deformasi dan rasio tegangan yang terjadi pada model *P-Y* lebih besar jika dibandingkan dengan metode *Virtual Fixity Point*.

Anandika & Wurjanto (2000) dalam penelitian yang berjudul “Kajian Kedalaman Minimum Tiang Pancang Pada Struktur Dermaga *Deck On Pile*” membandingkan berbagai metode penentuan kedalaman minimum tiang pancang pada struktur Dermaga. Kajian kedalaman minimum tiang pancang dilakukan dengan menggunakan empat metode, yaitu metode OCDI (2002), metode Prasad dan Chari (1999), metode Zhang, dkk (2005) dan metode Tsinker (1997). Kesimpulan yang didapat dari hasil perhitungan ketiga metode tersebut memperlihatkan bahwa metode OCDI (2002) menghasilkan perhitungan kedalaman minimum yang paling pendek dibandingkan dengan ketiga metode yang lain, sementara metode Tsinker adalah yang paling panjang.

Dasar Teori

Definisi dan Tipe Dermaga

Dermaga adalah suatu bangunan pelabuhan yang digunakan untuk merapat dan menambatkan kapal yang melakukan bongkar muat barang dan menaik-turunkan penumpang (Triatmodjo, 2010). Dermaga dibedakan menjadi tiga tipe, yaitu *Wharf*, *Pier* dan *Jetty*. (a) Dermaga tipe *Wharf* adalah dermaga yang dibuat sejajar dengan pantai dan dapat dibuat berimpit dengan garis pantai atau agak menjorok ke laut; (b) Dermaga tipe *Pier* adalah dermaga serupa *Wharf* (berada di garis pantai) yang berbentuk seperti jari dan dapat digunakan untuk merapat kapal pada kedua sisinya; (c) Dermaga tipe *Jetty* adalah dermaga yang menjorok ke laut sehingga sisi depannya berada pada kedalaman yang cukup untuk mencapai kapal. Ilustrasi tipe dermaga dapat dilihat pada gambar 5 berikut.



Gambar 5. Tipe Dermaga: (a) *Wharf*, (b) *Pier* dan (c) *Jetty* (Triatmodjo, 2010)

Gaya-Gaya yang Bekerja pada Struktur Dermaga

Gaya-gaya yang bekerja pada dermaga dapat dibedakan menjadi gaya vertikal dan lateral. Gaya vertikal terdiri dari berat sendiri bangunan, beban hidup, beban peralatan bongkar muat dan sebagainya. Gaya lateral terdiri dari gaya sandar kapal (*berthing forces*), gaya tambat kapal (*mooring forces*) yang timbul karena angin, arus dan gelombang (Triatmodjo, 2010)

Gerusan Lokal /*Local Scour*

Gerusan yang terjadi akibat perubahan aliran air oleh adanya bangunan struktur di atasnya, seperti pilar jembatan, tiang pancang dermaga dan lain-lain (Wiyono et al., 2006).

Untuk menghitung kedalaman gerusan lokal dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$F_r = \frac{U}{\sqrt{gh}} \quad (1)$$

$$\frac{s_m}{h} = 2 K_1 K_2 \left(\frac{b}{h}\right)^{0.65} F_r^{0.43} \quad (2)$$

dengan: F_r = bilangan Froude; U = kecepatan arus rata-rata (m/dtk); g = gaya gravitasi (9,81 m/dtk); h = kedalaman air (m); S_m = Gerusan (m); K_1 = faktor bentuk tiang; K_2 = faktor orientasi tiang

Dilatasi

Dilatasi (*Joint*) adalah sebuah sambungan atau pemisahan pada struktur karena mempunyai sistem yang berbeda. Dilatasi atau *joint* pada plat beton bertulang dimaksudkan untuk membatasi dan mengarahkan retakan pada plat beton (Fachrurrazi et al., 2014). Ada tiga jenis dilatasi (*joint*), yaitu sebagai berikut: (a) *Isolation* atau *expansion joint*: digunakan untuk memisahkan dua atau lebih sistem struktur yang berbeda. (b) *Construction joint*: dibuat untuk menghubungkan segmen-segmen dalam proses pengecoran beton. (c) *Contraction joint*: dibuat khusus untuk mengontrol retak pada beton pada area yang sangat luas.

Metode Elemen Hingga

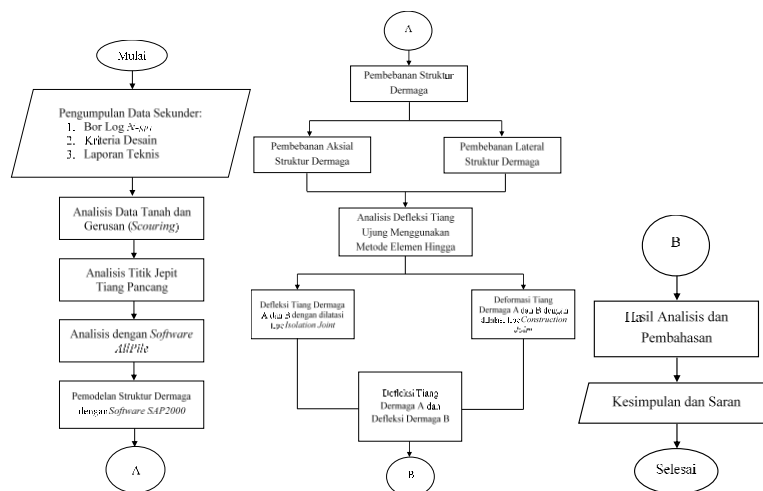
Metode elemen hingga adalah cara pendekatan solusi analisa numerik dimana struktur kontinu dengan derajat kebebasan tak hingga disederhanakan ke dalam elemen-elemen kecil yang umumnya memiliki geometri lebih sederhana dengan derajat kebebasan tertentu, sehingga lebih mudah dianalisa. Elemen-elemen diferensial ini memiliki asumsi fungsi perpindahan yang dikontrol pada nodal-nodal yang diberikan syarat keseimbangan dan kompatibilitas. Perpindahan pada titik lain diasumsikan dipengaruhi oleh nilai nodal. Matriks kekakuan untuk tiap elemen disusun dengan menerapkan prinsip energi, dan kemudian diturunkan persamaan keseimbangannya pada tiap nodal dari elemen diskrit sesuai kontribusi elemennya. Metode Elemen Hingga digunakan oleh para ahli teknik struktur untuk analisis struktur rangka dan portal dalam perencanaan dermaga lebih cocok untuk digunakan pada merencanakan dermaga sistem terbuka. Analisis hitungan dapat dilakukan dengan tingkat ketelitian yang lebih tinggi dibandingkan dengan cara konvensional (Limas, 2014).

Metode elemen hingga dapat digunakan untuk memecahkan berbagai masalah. Daerah yang dianalisis dapat mempunyai bentuk, beban dan kondisi batas yang sembarang. Jaring-jaringnya dapat terdiri dari berbagai jenis, bentuk dan besaran fisik elemen. Kemudahan penggunaan berbagai hal tersebut dapat tergabung dalam satu program komputer dengan menyiapkan data pemilihan jenis, geometri, kondisi batas, elemen dan lain-lain. Keunggulan lain dari metode elemen hingga adalah adanya arti fisik yang cukup dengan antara jaring elemen dengan struktur aktualnya, dimana jaring tersebut bukan merupakan abstrak matematis yang sulit divisualisasikan, sementara kekurangan dari metode ini adalah hasil yang diperoleh untuk suatu kasus berupa hasil numerik yang bukan merupakan persamaan bentuk tertutup yang dapat dipakai untuk kasus sejenis yang hanya berbeda parameternya saja.

Saat ini telah berkembang beberapa software elemen hingga yang dapat digunakan untuk analisis struktur dermaga, antara lain adalah *software SAP2000* dan *Plaxis*. *SAP2000* banyak digunakan oleh ahli struktur untuk perencanaan struktur rangka dan portal. Dalam perencanaan struktur dermaga, *SAP2000* dipakai untuk perencanaan dermaga tipe terbuka. *Software Plaxis* banyak digunakan oleh ahli geoteknik dalam menyelesaikan permasalahan-permasalahan geoteknik seperti analisis stabilitas lereng, perencanaan turap, dan dalam perencanaan dermaga lebih sesuai untuk analisis dermaga tipe tertutup.

3. METODE PENELITIAN

Tahapan-tahapan yang dilakukan untuk metode penelitian dapat dilihat Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Diagram Alir (*Flow Chart*)

Data Tanah

Penelitian ini menggunakan data tanah yang diambil dari data sekunder penyelidikan tanah area Kabupaten Mempawah Kalimantan Barat.

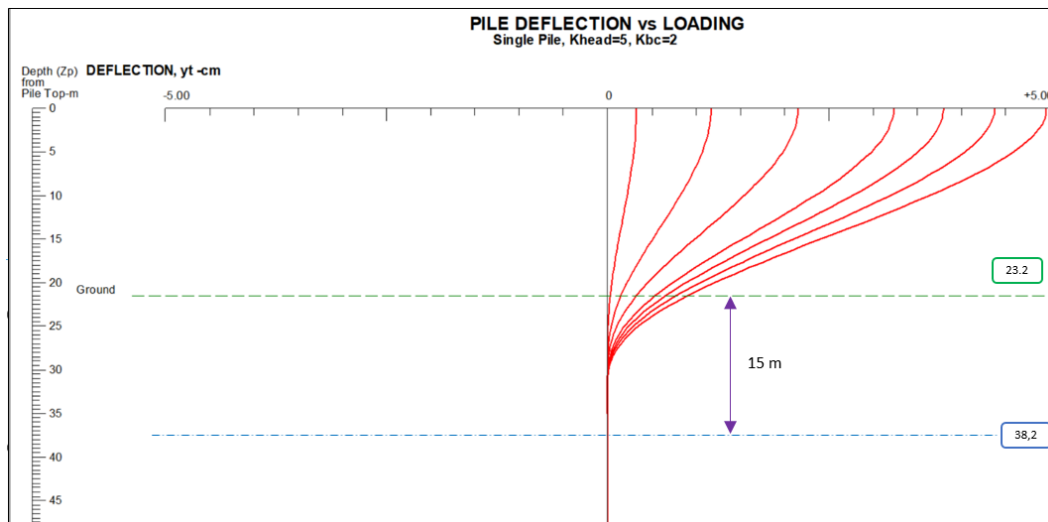
Data *Boring Log* terdiri dari lapisan lempung kelanauan (*silty clay*) mulai dari lapisan *very soft* menuju ke *medium stiff* dengan N_{-SPT} 1-7 sedalam 11 m dari elevasi *seabed*, di bawahnya terdapat lapisan pasir (*medium dense grey sand*) dengan N_{-SPT} 16-26 sedalam 9 m, lapisan *clayey sand* dari *loose* ke *medium dense* dengan N_{-SPT} 7-11 sedalam 14 m, kemudian di bawahnya terdapat lapisan berlapis-lapis antara sand dan clay dengan N_{-SPT} 10-20 sedalam 22 m, dan dari elevasi 56 m sampai dengan 60 m di bawah *seabed* ditemukan lapisan *medium dense to dense grey sand* dengan N_{-SPT} 11-35. Dari data tersebut maka dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat lapisan tanah keras sampai kedalaman 60 m.

Gerusan / Scour

Perhitungan Gerusan/*Scour* menggunakan persamaan (1) dan (2) diperoleh hasil $S_m = 1.48 \text{ m} \approx 1,5 \text{ m}$.

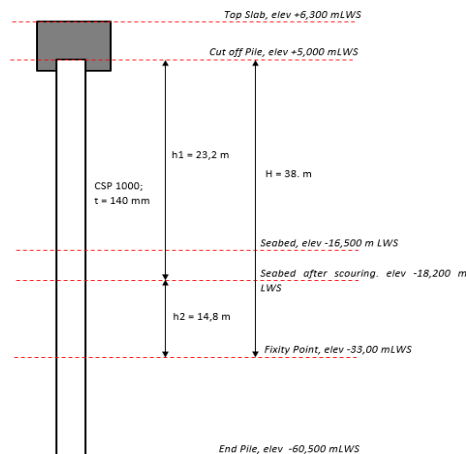
Penentuan Titik Jepit

Penentuan Titik Jepit / *Fixity Point* dilakukan dengan menggunakan *software AllPile*. Struktur dermaga dimodelkan secara menyeluruh sehingga interaksi antara fondasi tiang pancang dengan tanah dimodelkan sebagai titik *jepit/fixity point*. Analisis titik jepit pada struktur fondasi dengan memperhitungkan potensi *scouring* menggunakan *software AllPile* diperoleh panjang tiang. Hasil perhitungan *fixity point* dengan *AllPile* dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Hasil Perhitungan *Fixity Point* dengan *AllPile*

Dari gambar di atas didapat kedalaman titik jepit adalah 15 m dari *seabed*, maka panjang tiang dalam pemodelan *AllPile* adalah $23,2+15=38,2$ dibulatkan ke 38 m. Ilustrasi pemodelan *fixity point* adalah sebagai berikut:



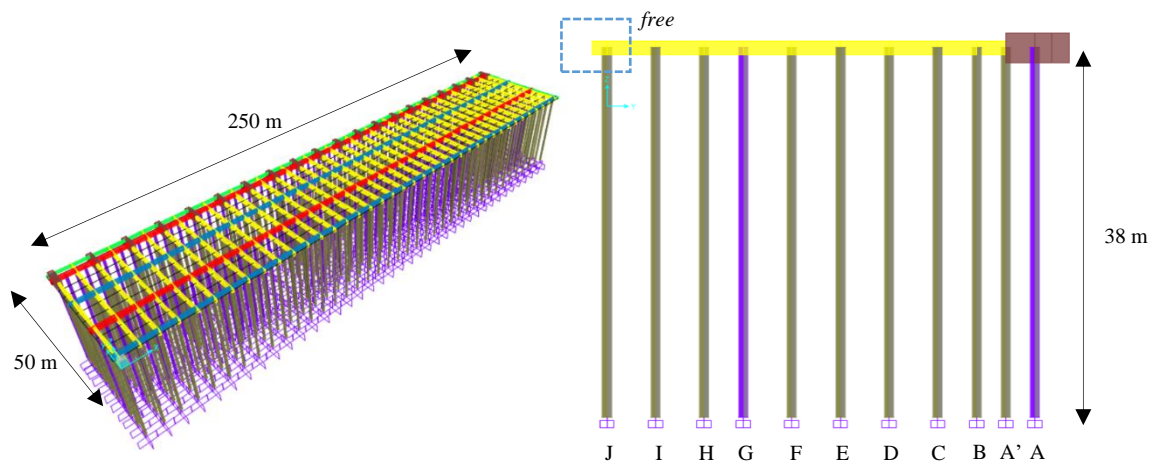
Gambar 8. Ilustrasi Pemodelan *Fixity Point* dengan *AllPile*

Pemodelan Struktur Dermaga

Langkah selanjutnya adalah membuat pemodelan struktur menggunakan Metode Elemen Hingga dengan *software*. Pemodelan struktur dermaga yaitu balok dermaga, pelat dermaga, dan tiang dermaga. Panjang tiang pancang sampai dengan titik jepit berdasarkan analisa *fixity point*. Pemodelan struktur dermaga dibagi menjadi dua bagian dengan dimensi 250 x 50 m. Bagian yang menghadap laut disebut Dermaga A dan bagian yang menghadap darat disebut Dermaga B. Denah dan potongan model struktur dermaga dapat dilihat pada Gambar 9.

Pemodelan Dilatasi Tipe *Isolation Joint* Pada Dermaga

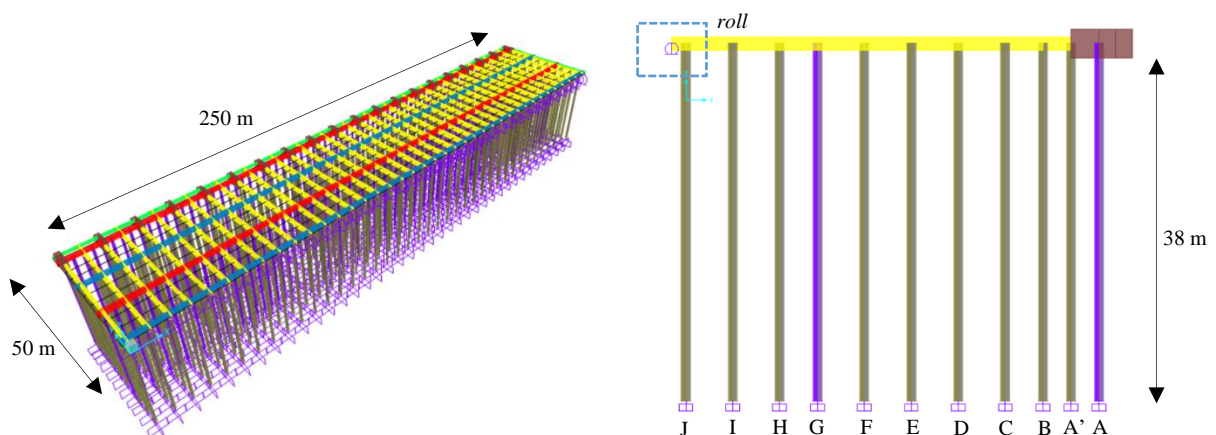
Dilatasi tipe *Isolation Joint* pada *Software* Metode Elemen Hingga dimodelkan sebagai *free (no restraint)*. Pemodelan ini didasarkan pada fungsi dilatasi tersebut yang memisahkan struktur dermaga A dan B menjadi benar-benar terpisah, sehingga efek beban dan pergerakan struktur akibat beban tidak saling mempengaruhi. Perletakan ini ditempatkan pada struktur slab pada pertemuan antar dermaga. Ilustrasi pemodelan dapat dilihat pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9. Pemodelan *Isolation Joint* Pada Dermaga

Pemodelan Dilatasi Tipe *Construction Joint* Pada Dermaga

Dilatasi tipe *Construction Joint* pada *Software* Metode Elemen Hingga dimodelkan sebagai perletakan *roll*. Pemodelan ini didasarkan pada fungsi dilatasi tersebut yang mengontrol pergerakan lateral struktur dermaga A dan B ke arah melintang dan mengunci pergerakan ke arah memanjang dan aksial dengan adanya *dowel bar*, sehingga efek beban dan pergerakan struktur akibat beban saling mempengaruhi. Perletakan ini ditempatkan pada struktur slab pada pertemuan antar dermaga. Ilustrasi pemodelan dapat dilihat pada Gambar 10 berikut.



Gambar 10. Pemodelan *Construction Joint* Pada Dermaga

Kombinasi Pembebanan

Setelah penentuan pembebanan selesai dilanjutkan dengan membuat kombinasi pembebanan dengan kondisi *service* dan ekstrem. Faktor beban dan kombinasi pembebanan merujuk pada kombinasi pembebanan pada standard *Porth Long Beach (POLB)* pada kondisi *service (Service Load Design)* dan penambahan kombinasi kasus tertentu. Tabel kombinasi pembebanan sesuai standard *POLB* seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor Beban dan kombinasi Pembebanan

LOAD AND RESISTANCE FACTOR DESIGN (LRFD) ^b										
LOAD COMBINATION FACTORS										
CASE	D	L+I ^c	E	W	BE	M	R+S+T	BU	C	
I	1.20	1.60	1.60	1.00	-	-	1.20	1.20	1.20	D = Dead Loads
II ^d	0.90	-	1.60	1.00	-	-	1.20	1.20	1.20	L = Live Loads
III	1.20	1.00	1.60	1.00	1.60	-	-	1.20	1.20	I = Impact Factor
IV	1.20	1.60	1.60	1.00	-	1.60	-	1.20	1.20	BU = Buoyancy Loads
SERVICE LOAD DESIGN (SLD) / ALLOWABLE STRESS DESIGN (ASD) ^e										
LOAD COMBINATION FACTORS										
CASE	D	L+I ^c	E	W	BE	M	R+S+T	BU	C	
I	1.00	1.00	1.00	0.60	-	-	1.00	1.00	1.00	BE = Berthing Loads
II	1.00	0.75	1.00	0.45	1.00	-	-	1.00	1.00	M = Mooring Loads
III	1.00	1.00	1.00	0.60	-	1.00	-	1.00	1.00	E = Earth Pressure Loads
	a For earthquake load combinations, refer to Section 4.5.2									
	b The Load Resistance Factor Design require the strength reduction factors, ϕ s spesified in ACI-318 (Ref. 2). Strength reduction factors shall follow ACI-318 (Ref. 2) for reinforced concrete design and AISC (Ref. 4) for structural steel design.									
	c The LRFD and SLD/ASD crane wheel loads determined according to section 3.3.3 should be combined with other loads listed in the table without additional factors.									
	d Reduce load factor to 0.9 for deal load (D) to check members for minimum axial load and maximum moment.									
	e Increase in allowable stress shall not be used									
										W = Wind Loads on Structure
										R = Creep Loads
										S = Shrinkage Loads
										T = Temperature Loads
										C = Current on Structure Loads

Kasus III, IV, V dan VI didasarkan pada standard *POLB*, sementara Kasus I dan III merupakan tambahan kasus yang dimaksudkan untuk meneliti perilaku defleksi tiang pancang mulai dari kombinasi pembebanan paling sederhana.

Berikut adalah kombinasi pembebanan yang diinput ke dalam *software*:

Kondisi tiap Kasus adalah sebagai berikut:

Kasus I : Beban Aksial

Adalah kasus yang disimulasikan dengan hanya terdiri dari beban vertikal saja. Tujuan dari pemodelan kasus ini adalah untuk menganalisis pengaruh beban vertikal terhadap perilaku defleksi tiang pancang.

Kasus II : Beban Aksial + Lateral (tanpa *Live Load*)

Adalah kondisi akibat beban aksial dan lateral tanpa memperhitungkan beban hidup. Tujuan dari pemodelan kasus ini adalah untuk mengetahui perilaku defleksi tiang pancang akibat beban aksial (tanpa beban hidup) dan beban lateral.

Kasus III : Beban Aksial + Lateral (dengan *Live Load*)

Adalah kondisi pada saat dermaga operasional (mengacu pada Tabel 1 *Case I*). Tujuan dari pemodelan kasus ini adalah untuk mengetahui perilaku defleksi tiang pancang akibat beban aksial (dengan` beban hidup) dan beban lateral.

Kasus IV : Beban Aksial + Lateral + Beban Sandar Kapal (*Berthing Forces*)

Adalah kondisi pada saat dermaga operasional dan disandari kapal (mengacu pada Tabel 1 *Case II*). Tujuan dari pemodelan kasus ini adalah untuk mengetahui perilaku defleksi tiang pancang akibat kombinasi beban pada saat operasional dan disandari kapal.

Kasus V : Beban Aksial + Lateral + Beban Tambat Kapal (*Mooring Forces*)

Adalah kondisi pada saat dermaga operasional dan kapal sedang bertambat (mengacu pada Tabel 1 *Case III*). Tujuan dari pemodelan kasus ini adalah untuk mengetahui perilaku defleksi tiang pancang akibat kombinasi beban pada saat operasional dan kapal sedang bertambat.

Kasus VI : Beban Aksial + Beban Gempa

Dermaga pada kondisi ekstrim dimana semua aktivitas kepelabuhan berhenti. Tujuan dari pemodelan kasus ini adalah untuk mengetahui untuk mengetahui perilaku defleksi tiang pancang akibat kombinasi beban pada kondisi ekstrim.

4. HASIL PENELITIAN

Tabel 2 memperlihatkan hubungan antara beban per kasus dengan perilaku defleksi lateral ujung tiang pancang arah memanjang (U1). Dari tabel tersebut terlihat bahwa: (1). Defleksi arah memanjang (U1) dilatasi tipe *CJ* lebih besar daripada tipe *IJ* pada Kasus II, III dan IV, dan lebih kecil pada Kasus I, V dan VI; (2). Defleksi terbesar arah memanjang (U1) pada Dilatasi tipe *IJ* adalah sebesar 6,2898 cm (Kasus VI – kondisi ekstrim), sedangkan pada tipe *CJ* adalah sebesar 3,8394 cm (Kasus III – kondisi *service*); (3). Penggunaan Dilatasi tipe *CJ* mereduksi defleksi lateral tiang pancang arah memanjang (U1) sebesar 38,96% daripada tipe *IJ*.

Tabel 2. Defleksi Arah Memanjang (U1) Pada Dermaga A

Nama Kasus	Isolation Joint (U1)				Construction Joint (U1)				Deviasi Maksimal	
	Arah (+)	Arah (-)	Defleksi Maksimal	Defleksi Maksimal	Arah (+)	Arah (-)	Defleksi Maksimal	Defleksi Maksimal	<i>CJM - IJ</i>	
	Cm	Cm	Cm (%)	Cm (%)	Cm	Cm	Cm (%)	Cm (%)	Cm	(%)
Kasus I	0,1033	0,0916	0,1033	1,64%	0,0268	0,0008	0,0268	0,70%	-0,0765	-74,06%
Kasus II	3,0236	-2,9802	3,0236	48,07%	3,8197	-3,8011	3,8197	99,49%	0,7961	26,33%
Kasus III	3,1009	-2,9106	3,1009	49,30%	3,8394	-3,7784	3,8394	100,00%	0,7385	23,82%
Kasus IV	1,5044	-0,4768	1,5044	23,92%	1,7156	-1,5555	1,7156	44,68%	0,2112	14,04%
Kasus V	-0,0225	-2,0639	2,0639	32,81%	-0,0312	-1,3953	1,3953	36,34%	-0,6686	-32,39%
Kasus VI	6,2898	-6,2898	6,2898	100,00%	1,6513	-1,6513	1,6513	43,01%	-4,6385	-73,75%
Maksimal	6,2898	-6,2898	6,2898		3,8394	-3,8011	3,8394		-2,4504	-38,96%

Tabel 3. Defleksi Arah Melintang (U2) Pada Dermaga A

Nama Kasus	Isolation Joint (U1)				Construction Joint (U1)				Deviasi Maksimal	
	Arah (+)	Arah (-)	Defleksi Maksimal	Defleksi Maksimal	Arah (+)	Arah (-)	Defleksi Maksimal	Defleksi Maksimal	<i>CJM - IJ</i>	
	Cm	Cm	Cm (%)	Cm (%)	Cm	Cm	Cm (%)	Cm (%)	Cm	(%)
Kasus I	0,1892	0,1440	0,1892	2,53%	0,4517	0,3182	0,4517	6,63%	0,2625	138,74%
Kasus II	0,6078	-1,3617	1,3617	18,18%	2,3574	-4,9620	4,9620	72,84%	3,6003	264,40%
Kasus III	0,6962	-1,3180	1,318	17,60%	2,5260	-4,8434	4,8434	71,09%	3,5254	267,48%
Kasus IV	2,9127	-7,4887	7,4887	100,00%	2,8578	-6,8126	6,8126	100,00%	-0,6761	-9,03%
Kasus V	5,3141	-1,8806	5,3141	70,96%	5,8354	-2,1339	5,8354	85,66%	0,5213	9,81%
Kasus VI	6,3000	-6,3000	6,3000	84,13%	6,3505	-6,3505	6,3505	93,22%	0,0505	0,80%
Maksimal	6,3000	-7,4887	7,4887		6,3505	-6,8126	6,8126		-0,6761	-9,03%

Tabel 3 memperlihatkan hubungan antara beban per kasus dengan perilaku defleksi lateral ujung tiang pancang arah melintang (U2). Dari tabel tersebut terlihat bahwa: (1) Defleksi arah melintang (U2) dilatasi tipe *CJ* lebih besar daripada tipe *IJ* pada Kasus I, II, III, V dan VI, dan lebih kecil pada Kasus IV; (2) Defleksi terbesar arah melintang (U2) pada Dilatasi tipe *IJ* adalah sebesar 7,4887 cm (Kasus IV), sedangkan pada Dilatasi tipe *CJ* adalah sebesar 6,8126 cm (Kasus IV). Penggunaan Dilatasi tipe *CJ* mereduksi defleksi lateral tiang pancang arah melintang (U2) sebesar 9,03% daripada tipe *IJ*.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian di atas dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh terbesar kombinasi pembebanan terhadap terhadap pola pergerakan defleksi ujung tiang pancang arah memanjang (U1) pada tipe *IJ* dan *CJ* terjadi pada Kasus VI (kondisi ekstrim), yaitu: 6,2898 cm (*IJ*) dan 3,8394 cm (*CJ*). Hal ini terjadi karena pada arah ini, dermaga hanya menerima beban lateral berupa beban lingkungan (gelombang, angin, arus) dan beban gempa, dari kedua beban tersebut beban gempa mempunyai pengaruh terbesar terhadap defleksi ujung tiang pancang.
2. Pengaruh terbesar kombinasi pembebanan terhadap terhadap pola pergerakan defleksi ujung tiang pancang arah melintang (U2) pada tipe *IJ* dan *CJ* terjadi pada Kasus IV (kondisi *service*), yaitu: 7,4887 cm (*IJ*) dan 6,8126 cm (*CJ*). Kondisi pembebanan pada Kasus IV adalah pada saat dermaga kondisi *service* dan kapal sedang proses sandar di dermaga, dimana pada kondisi ini kombinasi beban yang diterima dermaga adalah beban aksial berupa beban mati, beban hidup, beban temperatur, dan beban lateral berupa beban lingkungan (gelombang, angin, arus)

dan beban sandar kapal (*berthing forces*). Dari semua beban tersebut, beban sandar kapal (*berthing forces*) mempunyai kontribusi terbesar terhadap defleksi ujung tiang pancang.

3. Dilatasi Tipe *CJ* berpengaruh dalam mereduksi defleksi ujung tiang pancang arah memanjang (*U1*) sebesar 38,96% dan arah melintang (*U2*) sebesar 9,03%. Hal ini terjadi karena penggunaan *Dowel Bar* pada Dilatasi tipe *CJ* yang dipasang searah dengan *U2*, sehingga pada arah tersebut masih memungkinkan untuk bergerak, sementara pergerakan arah *U1* terkunci.

6. SARAN

1. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menggunakan jenis tiang pancang yang berbeda, formasi tiang miring dan dimensi dermaga yang lebih kecil.
2. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan membandingkan pengaruh penggunaan tipe Dilatasi terhadap gaya dalam tiang pancang seperti gaya geser, gaya momen dan sebagainya.
3. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan perbandingan penggunaan tipe dilatasi ditinjau dari segi efektivitas pada saat konstruksi, keuntungan dan kerugian pada masa *service* dermaga dan biaya konstruksi secara keseluruhan.
4. Penelitian dapat dikembangkan dengan penempatan dilatasi pada arah melintang dermaga, atau menggunakan tipe dilatasi yang lain.
5. Dapat digunakan alternatif metode lain dalam menganalisis defleksi lateral dengan metode beda hingga

DAFTAR PUSTAKA

- A. C. I. 302.1R-04, A. C. I. (2004). *Guide for Concrete Floor and Slab Construction Reported by ACI Committee 302*.
- Aini, N., Alamsyah, & Abidin, Z. (2017). Perkembangan Pelabuhan Ulee Lheue Pasca Tsunami 2005-2016. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa (JIM) Jurusan Pendidikan Sejarah FKIP Unsyiah*, 2(November), 74–85.
- Anandika, A., & Wurjanto, A. (2000). Kajian Kedalaman Minimum Tiang Pancang pada Struktur Dermaga *Deck on Pile*. *Jurnal Teknik Kelautan ITB*, 1, 1–8.
- Baehaki, Soelarso, & Permatasari, A. (2018). Analisis Perilaku Struktur Gedung Lab Terpadu UNTIRTA Berdasarkan Peraturan SNI 1726:2012. *Jurnal Pondasi Teknik Sipil Universitas Sultan Ageng Tirtayasa*, 7(1), 62–73.
- British Standard BS6349. (2014). Maritiem Works Standard*.
- D.Cook, R. (1990). Konsep dan Aplikasi Metode Elemen Hingga. *In Drugs of the Future (Vol. 1, Issue 1)*. PT. Eresco.
- Fachrurrazi, T. M., Budiarta, N., & Mataram, N. K. (2014). Analisis Kinerja Dermaga Terhadap Pertumbuhan Pengguna Jasa Transportasi Laut di Pelabuhan Padangbai-Bali. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 17(2), 169–178.
- Indarto, H., A., H. T. C., & Putra, K. C. A. (2013). Aplikasi SNI Gempa 1726 : 2012 (pp. 1–138).
- Kawengian, S., Balamba, S., & Sarajar, A. N. (2018). Analisis Daya Dukung Lateral pada Tiang Pancang Kelompok di Dermaga Belang. *Jurnal Sipil Statik*, 6(9), 683–692.
- Kristianto, A., Surjandari, N. S., & Djarwanti, N. (2017). Analisis Defleksi Lateral Tiang Tunggal Free-End Pile pada Tanah Kohesif. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 1(36), 615–622.
- Limas, V. V. (2014). Studi Numerik Menggunakan Metode Elemen Hingga untuk Membandingkan Daya Dukung Pondasi Tiang Bor yang Diuji dengan Metode Kentledge dan Metode *Bi-Directional (O-Cell)*. Universitas Katolik Parahyangan.
- Parung, H., Suprapti, A., & A, D. P. P. (2012). Perencanaan Dermaga Pelabuhan Peti Kemas Maloy di Kutai Timur. *Jurnal Penelitian Teknik Sipil*, 1, 1–8.
- Prasad, Y. V. S. N., dan Chari, T. R. (1999). *Lateral Capacity of Model Rigid Piles in Cohesionless Soils, Soils Found.* 39(2), 21–29.
- PT. Wijaya Karya (Persero). (2019). Laporan Desain Struktur Dermaga.
- Sendow. T. K, Londong, J., & Manoppo, M.R.E. (2014). Analisis Tingkat Pelayanan Dermaga Sorong. *Jurnal Sipil Statik*, 2(1), 47–54.
- Siliwangi, M., Rizki, F., Pratomo, A., Prabandiyani, S., & Hardiyati, S. (2014). Perancangan Pondasi Tiang Pancang Dermaga Packing Plant Banjarmasin – Kalimantan Selatan. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 3(1), 270–282.
- SNI 1725-2016. (2016). Pembebanan untuk Jembatan. In Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1726:2019. (2019). Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung (Issue 8).
- Sudarsono, I., & Setiawan, D. (2018). Pemodelan Struktur Dermaga Menggunakan Sistem Perletakan Metode P-Y dan Sistem Perletakan Virtual Fixity Point. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 12, September*, 18–19.
- Triatmodjo, B. (2010). Perencanaan Pelabuhan (Pertama). BETA OFFSET.

- Tsinker, G. P. (1997). *Handbook of Port and Harbor Engineering: Geotechnical and Structural Aspect*.
- Wiyono, A., Soekarno, I., & Egon, A. (2006). Perbandingan Beberapa Formula Perhitungan Gerusan di Sekitar Pilar (Kajian Laboratorium). 13(1), 1–10.
- Zhang, L., Silva, F., dan Grismala, R. (2005). *Ultimate Lateral Resistance to Piles in Cohesionless Soils*, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. ASCE, 131(1), 78–83.