

ANALISIS MATERIAL BAJA ASTM A36 PADA DAUN PINTU AIR BENDUNG BEKASI DENGAN METODE SIMULASI BUILDING INFORMATION MODELING

Mochamad Ubaedillah Fajri¹, Ahsan², Yopi Handoyo²

¹Program Strata Satu Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam “45” Bekasi

²Tim Pengajar Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam “45” Bekasi

Jl. Cut Mutia No.83, Margahayu, Bekasi Tim., Kota Bks, Jawa Barat 17113

E-mail Penulis: ubaybisa@gmail.com

Abstrak

Pengoperasian pintu air intake bendung tipe Bulkhead Gates sangat dipengaruhi debit aliran air irigasi, aktivitas pengaturan laju aliran sangat penting dilakukan guna pembagian jumlah aliran ke berbagai wilayah yang dilaluinya. Hal ini umumnya dilakukan guna menjaga kekuatan struktur baja pintu air intake bendung tipe Bulkhead Gates. Laju aliran air dengan kapasitas tertentu jika terjadi penurunan debit aliran air maupun jumlah debit aliran air yang meningkat drastis pada musim penghujan. Saat jumlah aliran air meningkat, pengoperasian struktur pintu air mengalami beban yang sangat tinggi sehingga struktur pintu air mengalami elastisitas material pada daun pintu air tersebut dan juga struktur baja pendukungnya. Hal ini sangat riskan sekali terjadi patahan atau retakan secara tiba-tiba pada bangunan struktur pintu air. Dalam studi penelitian ini menggunakan metode Building Information Modeling (BIM) dengan menggunakan permodelan struktur baja pintu air intake bendung tipe Bulkhead Gates sebagai dasar penelitian untuk mencari pembebanan minimal dan maksimal yang dipengaruhi debit aliran air. Secara fisik struktur baja pintu air intake bendung tipe Bulkhead gates memenuhi nilai syarat pembebanan. Penelitian ini menggunakan material jenis ASTM A36 Sheet Plate Carbon Steel pada daun pintu air yang dapat memberikan prediksi pembebanan yang akurat pada simulasi tersebut, kombinasi variasi tinggi muka air di atas ambang rata-rata TMA 18,98 mdpl dengan Q ke SITB (m³/det) dengan curah hujan yang sangat deras. Simulasi modeling BIM pada pintu air ini juga dapat mengatur debit secara efektif dan juga batas ambang pembebanan pada struktur baja pintu air. Dari hasil Simulasi metode BIM pada penelitian ini dapat bermanfaat sebagai referensi konsep struktur baja pada bangunan pintu air intake bendung tipe Bulkhead Gates.

Kata kunci: Building Information Modeling, Material ASTM A36 Sheet Plate Carbon Steel, Konstanta Elastisitas Material.

Abstract

The operation of the intake gates of the Bulkhead Gates type weir is strongly influenced by the flow of irrigation water flow, the activity of regulating the flow rate is very important to be carried out in order to divide the amount of flow to the various regions it passes. This is generally done to maintain the strength of the steel structure of the air intake door of the Bulkhead Gates type weir. Water flow rate with a certain capacity if there is a decrease in water flow discharge and the amount of discharge of water flow which increases dramatically in the rainy season. When the amount of water flow increases, the operation of the sluice structure experiences a very high load, the structure of the sluice has the elasticity of the material on the sluice leaves and also the supporting steel structure. This is very risky if there is a sudden break or crack in the sluice structure. In this research study using the Building Information Modeling (BIM) method using steel structure modeling The intake gates of the Bulkhead Gates type weir as the basis of the research to find the minimum and maximum loading influenced by the water flow discharge. Physically steel structure The bulkhead gates type intake gates fulfill the loading requirements. This research uses ASTM A36 Sheet Plate carbon steel material on sluice leaves which can provide accurate loading predictions on the simulation. a combination of variations in water level above the average threshold of TMA 18.98 masl with Q to SITB (m³/sec) with very heavy rainfall. BIM modeling simulation on the sluice gate can also effectively regulate discharge and also the threshold of loading on the steel sluice structure. From the results of the simulation of the BIM method in this study can be useful as a reference to the concept of steel structure in the building of the air intake door of the Bulkhead Gates type weir.

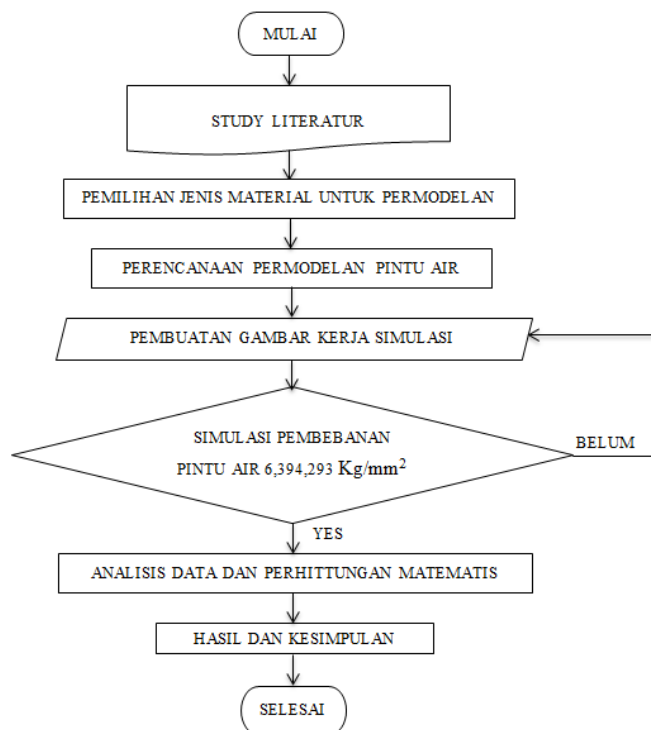
Keywords: Building Information Modeling, Materials ASTM A36 Sheets Plate Carbon Steel, Konstanta Material Elasticity.

PENDAHULUAN

Komponen utama pada saluran irigasi adalah sebuah bangunan bendungan dan pintu air yang merupakan perangkat untuk mengendalikan debit aliran air dan juga difungsikan sebagai mengatur debit aliran ke berbagai wilayah dengan pembagian air sesuai kebutuhan. Dengan adanya pembangunan pintu air maka pembagian air baku terkelola dengan baik dan merata di setiap wilayah. Namun dalam proses perencanaan pembangunan pintu air banyak mengalami kendala, salah satu diantaranya adalah proses pemilihan jenis material struktur baja yang sesuai peruntukannya di lapangan (site). Dalam hal ini seleksi jenis material sangat vital sekali, karena keterkaitan dengan kekuatan struktur baja yang akan mengalami pembebanan yang terpengaruh oleh debit aliran air yang sangat fluktuatif, terlebih lagi pada saat musim hujan dengan curah hujan yang tinggi dengan debit aliran air semakin deras maka pembebanan pada pintu air semakin meningkat.

Pada proses perencanaan pintu air banyak sekali yang terkait didalamnya. Diantaranya adalah perhitungan kekuatan struktur baja sebagai material utamanya. Dalam tahap penelitian ini hanya memfokuskan pada perencanaan dan perhitungan struktur material ASTM A36 Sheet Plate Carbon Steel dengan metode simulasi pembebanan pintu air menggunakan metode BIM (Building Information Modeling). Metode ini digunakan untuk simulasi pembebanan pintu air yang mengalami tegangan karena terpengaruh debit aliran air pada struktur baja pintu air intake bendung tipe Bulkhead gates. Tujuan Penelitian ini dilakukan untuk meneliti struktur baja pada pintu air yang mengalami pembebanan terjadi adalah sebagai berikut yaitu dapat merencanakan perlakuan material ASTM A36 Sheet Plate Carbon Steel yang akan digunakan untuk pembuatan struktur baja pintu air, mendapatkan analisis pembebanan yang terjadi selama proses simulasi pintu air intake bendung tipe Bulkhead Gates, sehingga mendapatkan hasil desain dan perencanaan struktur pintu air yang maksimal, mengetahui jenis material yang layak digunakan pada proses perencanaan struktur pintu air intake bendung tipe Bulkhead gates, dan mengetahui karakteristik laju aliran air dan debit air yang dapat mengurangi tegangan pada material ASTM A36 Sheet Plate Carbon Steel.

METODE



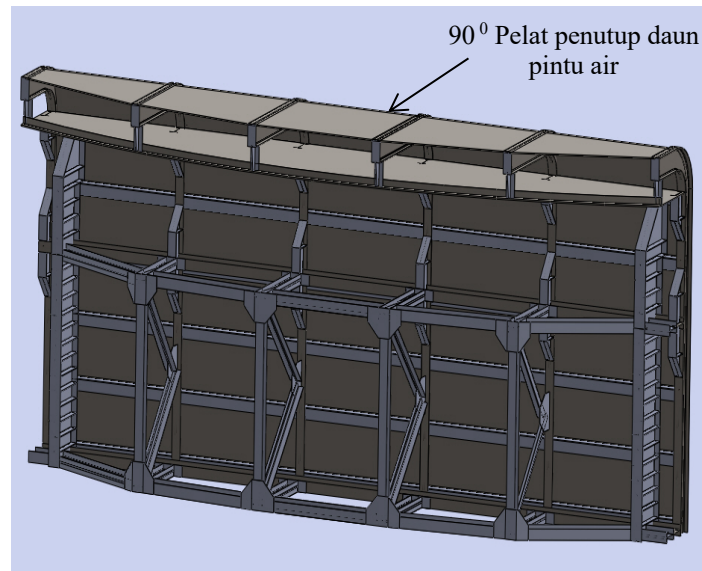
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Desain Modeling Pintu Air Intake Bulkhead Gates

Berdasarkan Gambar 1. awal penelitian adalah pembuatan *modeling* 3D dengan metode *Building Information Modeling* (BIM). Pembuatan *modeling* 3D pada pintu air intake bendung tipe *Bulkhead gates* menggunakan program pengolah gambar 3 dimensi seperti terlihat di Gambar 2. Data-data beberapa skala dengan komponen pendukung seperti terlihat pada Tabel 1. dikumpulkan mulai dari studi literatur sampai observasi, ini dilakukan guna mendukung proses perencanaan.

Tabel 1. Komponen Steel Struktur pendukung daun pintu utama

No.	Deskripsi	Item Material	Dimensi	Material
1	Lower Guide	Sheet Plate	t 10 mm	ASTM A36
2	Upper Guide	Sheet Plate	t 10 mm	ASTM A36
3	Gusset	Sheet Plate	t 10 mm	ASTM A36
4	Stiffener Center	Sheet Plate	t 10 mm	ASTM A36
5	H-beam	Steel Struktur	150x150x6.5x10 mm	ASTM A36
6	Stiffener	Steel Struktur	t 10 mm	ASTM A36
7	Equal Anggle	Steel Struktur	150x150 mm	ASTM A36
8	Wide Flange	Steel Struktur	300x150 mm	ASTM A36
9	Wide Flange	Steel Struktur	200x150 mm	ASTM A36
10	Wide Flange	Steel Struktur	200x125 mm	ASTM A36



Gambar 2. Pintu Air Intake Bendung Tipe Bulkhead Gates

Tabel 2. Karakteristik Material A36 Sheet Plate Carbon steel

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.80 g/cc	0.282 lb/in ³	Typical of ASTM Steel
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Tensile Strength, Ultimate	400 - 550 MPa	58000 - 79800 psi	
Tensile Strength, Yield	250 MPa	36300 psi	
Elongation at Break	20 %	20 %	in 200 mm
	23 %	23 %	In 50 mm.
Modulus of Elasticity	200 GPa	29000 ksi	
Bulk Modulus	160 GPa	23200 ksi	Typical for steel
Poissons Ratio	0.26	0.26	
Shear Modulus	79.3 GPa	11500 ksi	
Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	0.25 - 0.29 %	0.25 - 0.29 %	
Copper, Cu	0.20 %	0.20 %	
Iron, Fe	98 %	98 %	
Manganese, Mn	1.03 %	1.03 %	
Phosphorous, P	<= 0.040 %	<= 0.040 %	
Silicon, Si	0.28 %	0.28 %	
Sulfur, S	<= 0.050 %	<= 0.050 %	

Tabel 3. karakteristik material *A36 Sheet Plate Carbon steel* adalah material yang mempunyai *Tensile Strength* lebih besar dari material dengan spesifikasi standar SS400. Material ini lebih keras sehingga cocok digunakan dan dipadukan dengan material dan desain struktur baja atau dengan desain yang membutuhkan *Tensile Strength* lebih besar. Selain itu, material dengan spesifikasi *ASTM A36 Sheet Plate Carbon steel* ini bisa juga digunakan sebagai bantalan atau dudukan dengan beban sesuai kapasitasnya.

Karakteristik Hasil Simulasi Pembebanan BIM

Penelitian ini menggunakan metode *Building Information Modeling (BIM)* dengan menggunakan beberapa parameter yang sudah ditentukan. Metode pengujian simulasi yang dilakukan untuk mengetahui pembebanan dan *residual stress* terhadap komponen utama daun pintu air yaitu *ASTM A36 Sheet Plate Carbon Steel* dengan tebal 16 mm. Hasil data dianalisa untuk mengetahui struktur utama dan struktur pendukung yang mengalami deformasi plastis maupun elastis material *ASTM A36 Sheet Plate Carbon Steel* material yang dapat mempengaruhi steel struktur bendung tipe *Bulkhead gates*

Rasio Poisson

Dari eksperimen ditemukan bahwa jika sebuah benda mengalami tegangan pada daerah elastisnya, regangan lateral mempunyai rasio konstan terhadap regangan linier. Dapat diselesaikan dengan Persamaan 1. secara matematik (Timoshenko S.P and J.N. GOODIER, *Theory of Elasticity* McGraw 1951) :

$$\frac{\text{Regangan kateral}}{\text{Regangan Linier}} = \text{Konstan} \dots \text{Per (1)}$$

Konstanta ini dikenal dengan Rasio Poisson, dan dilambangkan dengan $1/m$ atau μ . Seperti terlihat pada Persamaan 2. berikut:

$$\text{Regangan Lateral} = \frac{1}{m} \cdot \varepsilon = \mu \cdot \varepsilon \dots \text{Per (2)}$$

Tabel 3. Harga *Rasio Poisson* dari berbagai material

No.	Material	Rasio Pasion, μ
1	Baja	0.25 - 0.33
2	Besi Tuang	0.23 - 0.27
3	Tembaga	0.31 - 0.34
4	Perunggu	0.32 - 0.42
5	Aluminium	0.32 - 0.36
6	Beton	0.08 - 0.18
7	Karet	0.45 - 0,50

Kecepatan Air Dalam Pipa

- 1) Kecepatan air pada pipa hisap

$$V_s = \frac{4 \cdot Q_{ep}}{\pi \cdot D_s^2} \dots \text{Per (3)}$$

dimana ; Q_{ep} = kapasitas efektif pompa, (m^3/s); D_s = diameter pipa hisap, (m)

- 2) Kecepatan air pada pipa tekan

$$V_d = \frac{4 \cdot Q_{ep}}{\pi \cdot D_d^2} \dots \text{Per (4)}$$

dimana ; Q_{ep} = kapasitas efektif pompa, (m^3/s); D_d = diameter pipa tekan, (m)

Daya Air

Energi yang secara efektif diterima oleh air dari pompa per satuan waktu disebut daya air, yang dapat ditulis :

$$P_w = \gamma \cdot Q \cdot H \dots \text{Per (5)}$$

dimana; P_w = daya air, (kW); γ = berat air per satuan volume, (kN/m^3); Q = kapasitas, (m^3/s); H = head total pompa, (m)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kriteria Permodelan Struktur Baja

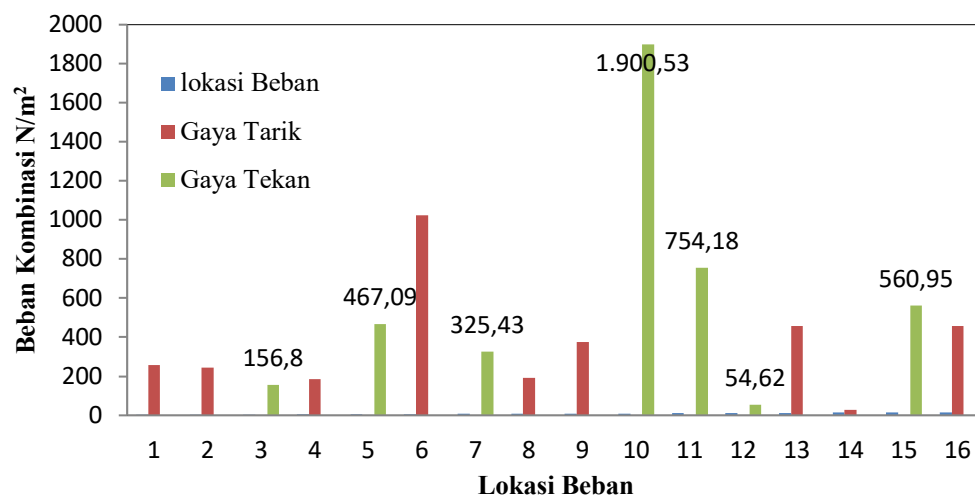
- 1) Pintu air intake bendung tipe Bulkhead gates :

- a) Luas Struktur Baja ($P \times L \times T$) : 11630x2420x5036m
- b) Jumlah AS sumbu X : 5 sumbu X
- c) Jumlah AS sumbu Y : 6 Sumbu Y
- d) Konstruksi Struktur : Tulangan Steel Struktur

- e) Daun pintu Utama : Sheet plate
 f) Jenis sambungan yang direncanakan : Welding SMAW
- 2) Syarat kualitas material
- a) Mutu Sheet plate (Daun Pintu) : ASTM A36 (σ leleh = 2400 kg/cm²)
 : ASTM A36 (σ ijin = 1600 kg/cm²)
- b) Baja Profil (Struktur Tulangan) : ASTM A36 (σ leleh = 2400 kg/cm²)
 : ASTM A36 (σ ijin = 1600 kg/cm²)
- c) Filler Metal (Thick Plate Joint) : LB-52 A5.1 E7016 Typical electrode for 490 MPa HT steel.

Tabel 4. Rekapitulasi Perencanaan Pembebanan Pelat Utama

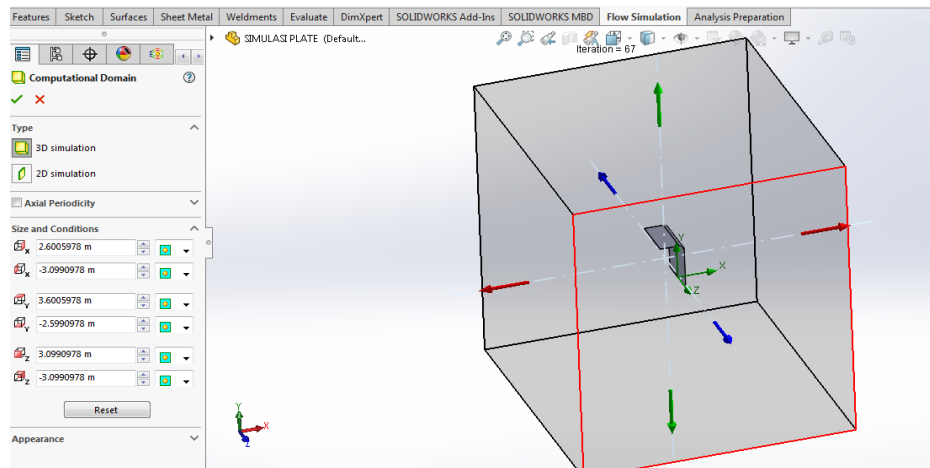
Lokasi Beban	Beban Kombinasi	
	Tarik (+) kg	Tekan (-) kg
1	257.04	156.8
2	243.46	
3		
4	184.69	467.09
5		
6	1023.54	
7		325.43
8	193.47	
9	375.66	
10		1900.53
11		754.18
12		54.62
13	457.76	560.95
14	27.65	
15		
16	457.7	



Gambar 1. Rekapitulasi Perencanaan Pembebanan Pelat Utama

Hasil Pembebanan Dengan Perangkat Lunak

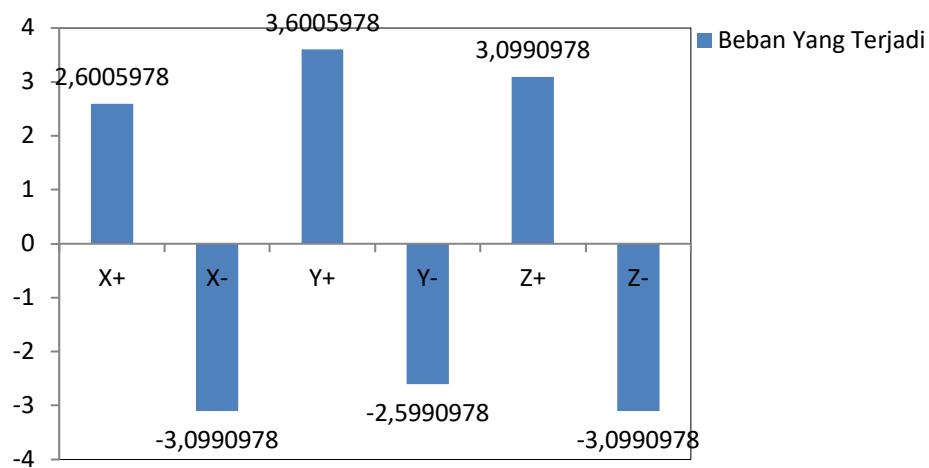
Proses simulasi pembebanan untuk masing-masing titik lokasi pada daun pintu utama dapat diperoleh dengan menggunakan metode *Building Information Modeling (BIM)* dengan sumbu X, Y, Z. Pembagian beban ini akan memberikan hasil yang lebih optimal.



Gambar 2. Size And Condition

Tabel 5. Size And Condition

Sumbu	Beban	Satuan
X+	2.6005978	Kg/cm ²
X-	-3.0990978	Kg/cm ²
Y+	3.6005978	Kg/cm ²
Y-	-2.5990978	Kg/cm ²
Z+	3.0990978	Kg/cm ²
Z-	-3.0990978	Kg/cm ²



Gambar 2. Grafik Distribusi Beban Berdasarkan Arah Sumbu X,Y,Z

Debit aliran tersebut dipengaruhi dengan adanya siklus hidrologi, salah satunya yaitu hujan. Pada musim kemarau besar debit air aliran air menyusut drastis sedangkan pada musim hujan debit aliran akan semakin deras dan dipengaruhi pula oleh tingkat intensitas hujan yang terjadi. Pada intensitas yang rendah debit aliran kecil dan pada intensitas hujan tinggi debit aliran akan semakin besar. Besar kecilnya debit aliran mempengaruhi sedimentasi yang terjadi pada hulu sungai. Debit aliran sungai dapat diukur, salah satunya menggunakan alat current meter dengan metode velocity methode. Untuk mengetahui debit aliran sungai dapat diterapkan metode tersebut. Oleh sebab itu, perlu diketahui bagaimana cara pengukuran debit air tersebut (Asdak,2002).

Menurut Nurdin (1984) air adalah zat yang mengelilingi semua organisme dan merupakan bagian terbesar pembentuk tumbuh-tumbuhan dan binatang air. Air juga merupakan tempat terjadinya berbagai reaksi kimia oleh berbagai organisme hidup. Menurut Adriman (2002) menyatakan bahwa perairan umum adalah bagian permukaan bumi yang secara permanen maupun berkala digenangi oleh air, baik air tawar, payau maupun air laut, mulai dari garis pasang surut terendah ke arah daratan dan badan air tersebut terbentuk secara alami atau buatan. Menurut Sachlan (1980) perairan umum merupakan sumber daya yang mempunyai potensi besar baik bagi perikanan maupun untuk kehidupan manusia.

Air merupakan bagian yang esensial dari protoplasma dan dapat dikatakan bahwa semua jenis makhluk hidup bersifat aquatic. Menurut Sihotang (1988) bahwa debit air adalah jumlah air yang mengalir dari suatu penampang tertentu (sungai, saluran, mata air) persatuan waktu (ltr/dtk, m³/dtk, dm³/dtk). Menurut Fauzi (1996) bahwa arus merupakan pergerakan dan perpindahan massa air secara horizontal dari suatu tempat ke tempat lain. Menurut Goldman dalam Rambe (1999) bahwa kecepatan arus air dibedakan menjadi beberapa kelompok yaitu arus yang sangat cepat (> 100 cm/detik), cepat (50 – 100 cm/detik), sedang (25 – 50 cm/detik), lambat (10 – 25 cm/detik) dan sangat lambat (< 10 cm/detik).

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan tahap demi tahap, proses yang sudah dilalui dan dilakukan percobaan Simulasi *trial and error* dengan beberapa metode dan analisis data-data, maka dari data-data tersebut dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pemilihan material *ASTM A36 Sheet Plate Carbon Steel* dengan tebal 16 mm juga bergantung pada proses perlakuan material tersebut, seperti pembentukan, penyambungan, penyelesaian akhir material saat proses pabrikan di *workshop* maupun di *site*, dan perlakuan-perlakuan lainnya, Pemilihan material dan proses material membutuhkan biaya yang tidak sedikit. Dengan kata lain, desain yang bagus baik secara teknis maupun estetika tidak cukup untuk menjadikan suatu struktur baja dapat bekerja dengan baik tanpa dukungan dari sumber daya manusia yang kompeten di struktur baja.
2. Pada umumnya pembebanan ini mengakibatkan tegangan-tegangan relatif lebih kecil ataupun lebih besar tergantung dari kuatnya laju aliran air dan juga debit air. Terkecuali tegangan-tegangan akibat beban yang ditimbulkan gaya akibat gempa bumi dan biasanya tergantung dari bentang struktur baja, jenis material baja yang digunakan, sistem konstruksi, tipe pintu air serta lingkungan sekitar pintu air.
3. Aspek perlakuan material selama proses pabrikan sangat diperlukan. Seperti *preheating*, *tempering* dan *hardening* pada material *ASTM A36 Sheet Plate Carbon Steel*. Proses ini bertujuan agar mendapatkan sifat mekanik material yang tangguh dan ulet apabila menerima pembebanan. Hubungan antara material dan bentuk struktur baja juga diperhatikan dan diamati agar tidak terjadi kesalahan bentuk, keseimbangan struktur baja, *performance* dan biaya.
4. Metode simulasi *Building Information Modeling* (BIM) pada struktur baja pintu air *intake* bendung tipe *Bulkhead Gates* dengan karakteristik tegangan puncak saat laju aliran air meningkat drastis maupun laju aliran normal. Pemanfaatan metode simulasi ini dapat mengetahui kolerasi laju aliran, debit air dan *residual stress* yang terjadi pada material *ASTM A36 Steel Plate Carbon Steel*.

Saran

Dalam hal perencanaan struktur baja pintu air *intake* bendung tipe *Bulkhead gates* yang telah dilakukan masih perlu pembenahan dan perbaikan-perbaikan agar dapat tercapai modeling struktur baja secara maksimal. Adapun perbaikan-perbaikan yang harus dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Konsep perencanaan struktur baja pintu air *intake* bendung tipe *Bulkhead gates* dengan skala desain 1:100 dirubah dapat tercapai modeling pembebanan yang maksimal dan perlu pengembangan dan tindak lanjut dalam hal perencanaan dan desain.
2. Perbaikan dari segi material yang digunakan agar dapat bertahan dalam waktu yang lama saat penggunaan di *site* dengan syarat dan ketentuan penggunaan material tersebut saat diaplikasikan.
3. Perlu adanya perbaikan perangkat lunak yang digunakan saat proses modeling dan proses pembelajaran ketingkat lebih lanjut agar tercapai sesuai kebutuhan dilapangan.
4. Penambahan variable-variable pembebanan saat penelitian ditambah lagi agar hasilnya tepat sasaran dan kinerja *Building Information Modeling* dapat dimanfaatkan secara optimal.

DAFTAR PUSTAKA

Adriman. 2002. Kualitas Dan Distribusi Perairan Sungai Sulir Kecamatan Tebing Tinggi Kabupaten Bengkalis. Berkala Perikanan Terubuk ISSN 0126-4265 Vol. 29, No. 2.

- Abid Nadeem Hong Kong College of Technology International, Kowloon, Hong Kong. Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects. August 4-5, 2008, Karachi, Pakistan
- Agus Setiawan. Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD (Berdasarkan SNI 03-1729-2002)
- Asdak, Chay, 2002, Hidrologi Dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Andy K. D. Wong, Francis K. W. Wong, Abid Nadeem. 2010. Attributes of Building Information Modelling Implementations in Various Countries.
- Balai Litbang Irigasi, Puslitbang Sumber Daya Air, Balitbang, Kementerian PUPR Jl. Cut Meutia Bekasi, Indonesia 17113. Jurnal Irigasi – Vol. 11, No. 2, Oktober 2016.
- Binilang, A. 2014. Analisis Karakteristik Gelombang di Pantai Kecamatan Belang Kabupaten Minahasa Tenggara. Jurnal Tekno Sipil Vol.12 No.6 (p. 46-52).
- Danar, A. 2004. Musim Hujan Dan Eutrofikasi Perairan Pesisir. <http://cac.Eng.Ui.ac.id/article/articleprint/2660/1/25>
- Hehanusa, P.E., dan Haryani, G.,s. 2001. Kamus Limnologi (Perairan Darat). Panitia Nasional Program Hidrologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. 230 hal.
- Kamiana, I Made. 2011. Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Mahida, U.N. 1984. Pencemaran Air Dan Pemanfaatan Limbah Industri. Rajawali : Jakarta. 543 hal.
- Nurdin, S., 1984. Peran Radiasi Matahari Sebagai Input Dalam Kemantapan Ekosistem. IPB : Bogor. 45 hal.
- <http://irianpoo.blogspot.com/2010/02/pemilihan-material-dalam-desain.html>.
- Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Banjarmasin Jurnal. POROS TEKNIK, Volume 7 No. 1 Juni 2015 : 1-53.
- Odum. 1971. Fundamentals Of Ecology. 3rd Ed. W. B. Saunders Comp. Philadelphia. 574 pp
- Perancangan Mekanisme Aalat Angkut Kapasitas 10ton. Jurnal Teknik-Universitas Pasundan Bandung 2016.
- Sachlan, M. 1980. Planktonologi. Diktat Perkuliahan Planktonologi. Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan UNRI : Pekanbaru. 63 hal.
- Sihotang, C., 1988. Limnologi II. Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan UNRI : Pekanbaru. 64 hal.
- Timoshenko S.P and J.N. GOODIER, Teory of Elasticity, McGraw Hill Book Co 1951
- Yanto, Tri. 2016. “Perencanaan Impeller Pompa Sentrifugal Dengan Kapasitas 58 Liter/Detik Head 70m Dengan Putaran 2950rpm Penggerak Motor Listrik”. PUBLIKASI ILMIAH. Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.