



Perancangan Welding Trolley Dengan Sistem Angkat Hidrolik Sebagai Alat Bantu Pemasangan Penstock di Dalam Tunnel Menggunakan Metode QFD

Muhamad Faras Arhab¹ dan Grenny Sudarmawan^{1*}

¹Program Studi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

Abstrak

Penstock adalah saluran pipa pesat di pembangkit listrik tenaga air yang membantu mengalirkan air dari waduk menuju turbin pembangkit. Aliran air dalam penstock menuju turbin yang memiliki head tinggi biasanya melewati tunnel. Dalam proses pemasangan tiap segmen penstock di dalam tunnel memiliki ruang yang terbatas sehingga cara yang dipilih untuk pemasangan penstock tersebut adalah dengan menggunakan troli yang dapat beroperasi melalui rel di dalam tunnel. Agar pemasangan penstock tersebut posisinya selalu konsentris dibutuhkan troli yang dapat mengangkat dan memposisikan penstock. Berdasarkan permasalahan tersebut dilakukan perancangan welding trolley untuk transportasi penstock di dalam tunnel yang dapat diatur ketinggiannya pada masing-masing tumpuannya agar dapat digunakan sebagai alat bantu proses pengelasan penstock. Metode yang digunakan pada perancangan ini adalah metode QFD (Quality Function Deployment) agar hasil desain sesuai dengan kebutuhan perusahaan. Hasil penelitian ini adalah didapatkannya rancangan welding trolley yang dilengkapi dengan sistem hidrolik agar dapat memposisikan penstock selalu konsentris satu sama lain, dengan prioritas kebutuhan utama troli dapat menumpu penstock dengan baik yang memiliki relative weight 11,6% dan spesifikasi teknis yang diprioritaskan yaitu troli dilengkapi dengan tumpuan berupa roller dengan nilai relative weight 14%. Hasil simulasi von mises stress dengan software ANSYS untuk komponen sistem rangka pengangkat adalah sebesar 25,565 MPa.

Kata-kata kunci: Penstock, Troli, Quality Function Deployment

Abstract

Penstock is a pipe line in hydropower system that helps transport water from reservoir to the turbine. The flow of water in the penstock to the turbin usually passes through the tunnel. In the installation of each penstock segment in the tunnel has a limited space, so the chosen method for installing the penstock is use a trolley that can operate through the rails in the tunnel. Based on these problems, a welding trolley was designed for penstock transportation in the tunnel which can be adjusted in height to helps welding process of the penstock. The method used in this study is QFD (Quality Function Deployment) so that the design results are suitable with the company needs. The result of this study is the design of a welding trolley equipped with a hydraulic system to adjust the penstock position always concentric with each other, with the main needs priority of the trolley is to be able to support the penstock properly with a relative weight of 11.6% and prioritized technical specification is the trolley equipped with a roller with a relative weight of 14%. The result of the von mises simulation with ANSYS software for lifting frame are 25,565 MPa.

Keywords: Penstock, Trolley, Quality Function Deployment

* Corresponding author E-mail address: grenny.sudarmawan@mesin.pnj.ac.id

1. PENDAHULUAN

Penstock atau yang disebut juga pipa pesat adalah saluran tertutup pipa di pembangkit listrik tenaga air yang membantu mengalirkan air dari waduk ke turbin pembangkit listrik [1]. Pembangkit yang memiliki *head* yang tinggi atau jarak antara turbin dan waduk panjang maka digunakan satu batang pipa khusus untuk melayani beberapa turbin [2]. Aliran air dalam *penstock* menuju turbin yang memiliki *head* tinggi biasanya melewati terowongan (*tunnel*) karena berada di pegunungan. Dalam proses pemasangan tiap segmen *penstock* di dalam *tunnel* memiliki ruang yang terbatas sehingga cara yang dipilih untuk pemasangan *penstock* tersebut adalah dengan menggunakan troli yang dapat beroperasi melalui rel di dalam *tunnel*.

Pada pemasangan *penstock* pertama disesuaikan sumbunya dengan sumbu *tunnel* untuk dijadikan acuan. Pemasangan *penstock* selanjutnya harus memiliki sumbu yang sama dengan acuan agar posisinya konsentris sebelum dilakukan proses pengelasan. Agar pemasangan *penstock* tersebut memiliki sumbu yang sama dengan acuan dibutuhkan troli yang dapat mengangkat dan memposisikan *penstock*. Berdasarkan permasalahan tersebut dilakukan perancangan *welding trolley* untuk transportasi *penstock* di dalam *tunnel* yang dapat diatur ketinggiannya pada masing-masing tumpuannya agar dapat digunakan sebagai alat bantu proses pengelasan *penstock*. Metode yang digunakan pada perancangan ini adalah metode QFD (Quality Function Deployment) agar hasil desain sesuai dengan kebutuhan perusahaan.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang membahas *welding trolley*, terdapat penelitian yang dilakukan oleh Xianhui, et al, (2015) mengenai perancangan troli untuk transportasi pipa *penstock* di dalam *tunnel*. Troli tersebut memiliki empat *fix bracket* sebagai penopang utama *penstock*, dan dua *arc bracket* sebagai pengatur posisi ketinggian *penstock* karena terhubung sistem hidrolik yang bergerak keatas. Pada penelitian ini terdapat pengujian tegangan *von mises* dan deformasi yang terjadi pada *fix bracket* dan *penstock* menggunakan *software ANSYS* [3].

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang membahas mengenai perancangan alat yang berlandaskan pada kebutuhan konsumen, terdapat penelitian yang dilakukan oleh Saeful Nurochim, et al (2021). Penelitiannya adalah mengenai perancangan produk *waistbag* dengan metode QFD. Hasilnya adalah *waist bag* yang dirancang sesuai dengan kebutuhan konsumen dan sesuai dengan target pasar perusahaan, serta kemampuan perusahaan [4].

Hasibuan, et al (2017) penelitiannya mengenai perancangan produk *tas travel* dengan metode *quality function deployment*. Hasil dari perancangan sesuai dengan keinginan konsumen, lebih unggul dari produk pesaing, serta pembuatannya cukup mudah [5].

Suseno, et al (2019) melakukan perancangan alat panggangan otomatis menggunakan metode QFD. Hasilnya adalah rancangan alat aman, mudah digunakan, ketahanan alat baik, ramah lingkungan, serta memiliki kemampuan memanggang yang lebih baik dari alat memanggang sebelumnya. Sehingga semua kebutuhan konsumen terealisasikan [6].

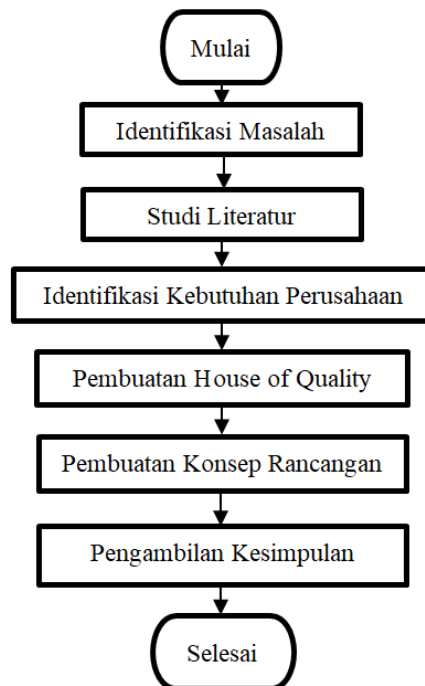
Fatkhurrohman, et al (2020) melakukan perancangan alat pencacah papaya muda menggunakan metode *Quality Function Deployment*. Penelitian tersebut menghasilkan rancangan alat pencacah papaya muda yang dapat mempercepat proses produksi serta dapat memproduksi cacahan papaya muda dengan efisien [7].

Basuki, et al (2020) melakukan perancangan ulang alat perontok biji jagung menggunakan metode *quality function deployment*. Hasil perancangan alat tersebut dapat memipil jagung dengan baik, mudah digunakan, aman, konstruksi kokoh, ramah lingkungan, serta memiliki harga terjangkau [8].

Berdasarkan uraian latar belakang yang ada, dibuatlah perancangan *welding trolley* dengan sistem angkat hidrolik sebagai alat bantu pemasangan *penstock* di dalam *tunnel*. Sedangkan berdasarkan penelitian sebelumnya, metode yang dipakai pada perancangan ini adalah metode QFD (*Quality Function Deployment*).

2. METODE PENELITIAN

Tahapan yang dilakukan pada perancangan ini dimulai dengan proses identifikasi masalah, studi literatur, identifikasi kebutuhan perusahaan, pembuatan *house of quality*, pembuatan konsep rancangan, dan pengambilan kesimpulan. Proses identifikasi masalah dilakukan berdasarkan permasalahan yang terjadi di perusahaan, lalu studi literatur dari jurnal atau buku yang relevan, dilanjutkan dengan pengidentifikasian kebutuhan perusahaan menggunakan metode QFD yang diawali dengan pengumpulan suara kebutuhan perusahaan. Pengumpulan suara kebutuhan perusahaan dilakukan dengan melakukan wawancara dan pengisian kuesioner kepada pekerja di PT.X untuk mendapatkan kebutuhan perusahaan beserta tingkat kepentingannya. Selanjutnya data kebutuhan perusahaan diolah pada matriks *house of quality*, lalu dilakukan pembuatan konsep rancangan. Tahapan perancangan diakhiri dengan pengambilan kesimpulan berdasarkan hasil perancangan yang telah dilakukan. Diagram alir dari perancangan ini ditunjukkan pada Gambar 1.



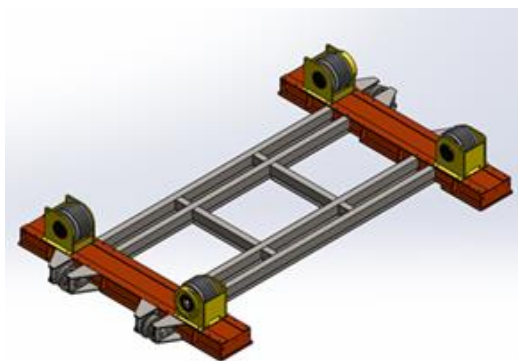
Gambar 1. Diagram Alir Perancangan

Identifikasi Kebutuhan Perusahaan

Langkah pertama untuk mengetahui kebutuhan atau disebut juga *voice of customers* adalah dengan melakukan wawancara pada pekerja di PT.X. Wawancara dilaksanakan pada tanggal 12 Mei 2022 di PT.X. Pertanyaan yang diajukan ada lima, diantaranya:

1. Apa kriteria terpenting yang dibutuhkan oleh troli yang diperuntukkan untuk membawa *penstock* seberat 35 ton?
2. Apa kelebihan dari desain awal troli *penstock*?
3. Apa kekurangan dari desain awal troli *penstock*?
4. Apa improvement yang perlu ditambahkan dari desain troli *penstock*?
5. Apakah sistem hidrolik perlu ditambahkan pada troli tersebut untuk mempermudah pemasangan rangkaian *penstock* di dalam *tunnel*?

Desain awal dari troli *penstock* yang dijadikan acuan pada saat proses wawancara terdapat pada gambar 2.

Gambar 2. Desain Awal Troli *Penstock*

Pembuatan House of Quality

House of Quality adalah gabungan dari beberapa matriks yang masing-masing berisi informasi yang saling berhubungan [9]. Matriks tersebut merupakan proses untuk mengkonversi kebutuhan dan keinginan

konsumen menjadi spesifikasi teknis suatu produk yang akan dirancang. Pembuatan HOQ terdiri dari *customer requirement*, *technical requirement*, *customer competitive*, *relation matrix*, *technical correlation*, dan *technical competitive*.

Tahap *customer requirement* dilakukan untuk mendapatkan pembobotan dari kebutuhan konsumen. Pembobotan dilakukan untuk mengetahui tingkat prioritas dari kebutuhan konsumen. Proses pengambilan data pembobotan dilakukan dengan menggunakan kuesioner yang dibagikan dan diisi oleh pekerja di PT.X.

Technical requirement merupakan jawaban dari kebutuhan konsumen pada tahap sebelumnya. Matriks ini berisi spesifikasi teknis yang dibutuhkan pada perancangan *penstock welding trolley*. Penentuan spesifikasi teknis dilakukan dengan diskusi bersama engineer PT.X.

Customer competitive merupakan penilaian berdasarkan perbandingan dari produk yang akan dirancang dengan produk pesaing yang ada di pasaran. Penilaian tersebut didasarkan pada kebutuhan konsumen yang telah didapatkan sebelumnya.

Relation matrix dilakukan untuk mengetahui hubungan atribut yang dibutuhkan oleh konsumen pada *customer requirement* dengan *technical requirement*. Pada tahap ini terdapat penentuan simbol *matrix relation*, *technical importance rating*, dan *relative weight*.

Technical correlation dilakukan untuk menentukan nilai kekuatan hubungan keterikatan antar spesifikasi teknis yang ada pada *technical requirement*.

Technical competitive merupakan penilaian berdasarkan perbandingan dari produk yang akan dirancang dengan produk pesaing yang ada dipasaran terhadap spesifikasi teknis.

Pembuatan Konsep Rancangan

Konsep rancangan dilakukan dengan pembuatan konsep desain alat yang memiliki spesifikasi teknis berdasarkan kebutuhan konsumen yang sebelumnya sudah dianalisis menggunakan matriks HOQ. Konsep rancangan akan dijelaskan dengan gambar 3D rancangan, analisis perhitungan rancangan, dan pengujian rancangan dengan simulasi tegangan *von mises* menggunakan *software ANSYS*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dijelaskan hasil penelitian yang dilakukan disertai dengan pembahasannya. Berikut adalah hasil dan pembahasan dari penelitian mengenai perancangan ini.

Identifikasi Kebutuhan Perusahaan

Pada tahap identifikasi kebutuhan perusahaan dilakukan wawancara untuk mendapatkan kebutuhan perusahaan mengenai troli yang akan dirancang. Wawancara dilakukan kepada operator dan leader PT.X. Dari hasil wawancara terhadap operator dan leader PT.X didapatkan beberapa atribut kebutuhan perusahaan yang ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Kebutuhan Perusahaan Hasil wawancara

NO	Kebutuhan Perusahaan
1	Troli yang dirancang mampu untuk membawa Penstock
2	Memiliki konstruksi rangka yang kuat untuk menahan beban penstock
3	Troli mudah dalam pengoperasiannya
4	Memiliki design yang sederhana
5	Tumpuan yang digunakan dapat menumpu dengan baik dan seimbang
6	Memungkinkan untuk melakukan pengelasan dalam tunnel
7	Terdapat semacam alat pengait sebagai alat bantu pergerakan dari troli penstock
8	Dimensi alat disesuaikan dengan dimensi penstock dan tunnel
9	Material yang digunakan sesuai dengan kebutuhan berdasarkan perhitungan
10	Terdapat sistem hidrolik untuk mengatur pergerakan tumpuan penstock pada troli

Pembuatan House of Quality (HOQ)

A. Customer Requirement

Pada tahap *customer requirement* dilakukan pembobotan terhadap kebutuhan perusahaan yang telah didapatkan. Pembobotan dilakukan menggunakan kuesioner dengan enam responden yaitu tiga operator, dua *leader*, dan satu kepala produksi PT.X dengan tujuan untuk mengetahui tingkat prioritas dari atribut kebutuhan perusahaan yang telah didapatkan. Hasil pembobotan ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Kuesioner

NO	Customer Requirement	Important Number						Total	Relative Weight
		OP 1	OP 2	OP 3	Leader 1	Leader 2	Kepala Produksi		
1	Troli mampu untuk membawa <i>Penstock</i>	4	4	4	4	4	4	24	11.6%
2	Memiliki konstruksi rangka yang kuat	4	4	4	4	3	4	23	11%
3	Troli mudah dalam pengoperasiannya	3	4	4	3	4	4	22	10.7%
4	Memiliki design yang sederhana	3	3	3	3	3	3	18	8.7%
5	Tumpuan pada troli dapat menumpu dengan baik dan seimbang	4	4	4	3	4	4	23	11%
6	Memungkinkan untuk melakukan pengelasan dalam tunnel	3	3	4	3	4	4	21	10.1%
7	Terdapat alat pengait sebagai alat bantu pergerakan dari troli <i>penstock</i>	3	4	3	3	3	4	20	9.5%
8	Dimensi alat disesuaikan dengan dimensi <i>penstock</i> dan tunnel	3	4	4	3	3	4	21	10.1%
9	Material yang digunakan sesuai dengan kebutuhan berdasarkan perhitungan	3	4	4	3	3	3	20	9.5%
10	Terdapat sistem hidrolik untuk mengatur posisi penumpu <i>penstock</i>	2	3	3	3	3	2	16	7.8%
TOTAL								208	100%

Setelah melakukan pembobotan terhadap *customer requirement*, dilakukan perhitungan *relative weight* seperti yang ditunjukkan oleh persamaan 1.

$$Relative\ Weight = \frac{(Total\ Customer\ Importance)}{Jumlah\ Keseluruhan\ Customer\ Importance} \times 100\% \quad (1)$$

B. Technical Requirement

Tahap ini merupakan jawaban dari kebutuhan perusahaan berupa spesifikasi teknis dari alat yang akan dirancang. Spesifikasi teknis dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Technical Requirement

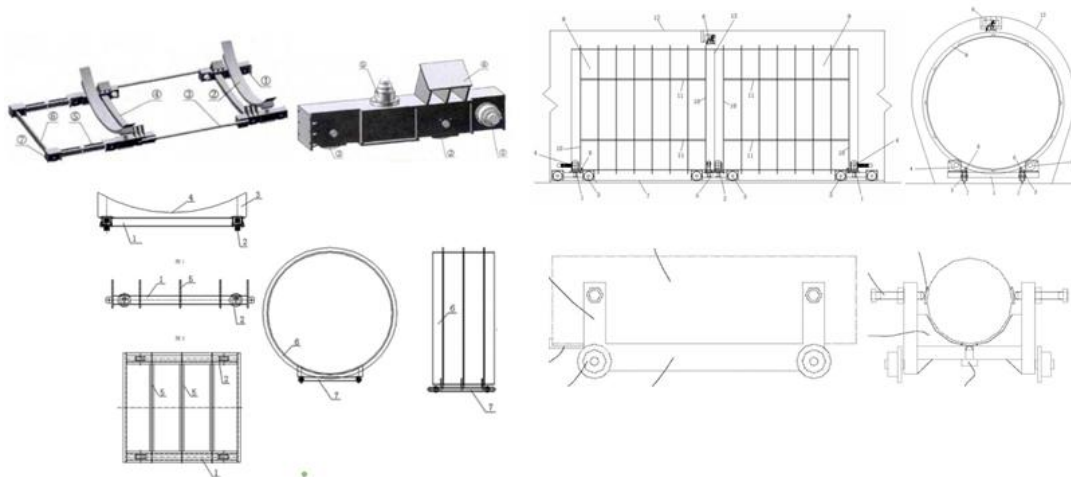
NO	Technical Requirement
1	Rangka utama menggunakan Baja IWF structural steel
2	Material plat menggunakan ASTM A36
3	Material berbentuk poros menggunakan S45C

4	Jumlah komponen tidak terlalu banyak
5	Komponen mudah di fabrikasi
6	Memiliki 4 tumpuan untuk menumpu penstock
7	Memiliki tumpuan berupa roller
8	Memiliki dimensi maksimal 50500x500 mm
9	Menggunakan padeye sebagai alat bantu transportasi
10	Dilengkapi sistem hidrolik untuk memposisikan penstock
11	Pergeseran sistem pengangkat hidrolik harus dapat bergerak secara lancar
12	Dilengkapi roda untuk berjalan diatas rel

Setelah spesifikasi teknis didapatkan, selanjutnya diberikan simbol untuk menentukan arah peningkatan dari spesifikasi tersebut. Diantaranya terdiri dari simbol (▲) dimaksimalkan, (▼) diminimalkan, dan (○) sudah sesuai target.

C. Customer Competitive

Tahap ini merupakan penilaian berdasarkan perbandingan dari produk yang akan dirancang dengan produk pesaing terhadap kebutuhan perusahaan. Penilaian dilakukan dengan pemberian nilai dengan skala 1 sampai 5 untuk menunjukkan produk yang paling baik dan sesuai dengan kebutuhan perusahaan. Produk kompetitor diambil dari jurnal dan paten diantaranya ada *trolley special for in-tunnel transportation of penstock* [1], *arc shaped welding trolley* [10], *automatic welding auxiliary* [11], dan *rail cart* [12]. Produk kompetitor yang diambil dari jurnal dan paten mengenai alat yang sejenis dengan troli yang akan dirancang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Produk kompetitor berdasarkan kajian jurnal dan paten

D. Relation Matrix

Pada tahap *relation matrix* dilakukan pemberian simbol yang menandakan seberapa kuat hubungan antara *customer requirement* dengan *technical requirement*. Simbol bulat yang berwarna hitam hitam (●) memiliki definisi *strong relation* dengan nilai 9, simbol bulat biasa (○) yang memiliki definisi *medium relation* dengan nilai 3, dan simbol segitiga (Δ) yang memiliki definisi *weak relation* dengan nilai 1. Setelah simbol diberikan, selanjutnya dilakukan perhitungan *technical importance rating* dan *relative weight* yang ditunjukkan oleh persamaan 2 dan 3.

Persamaan *Technical Importance Rating* :

$$\text{Nilai matrix relation} \times \text{Nilai customer requirement} \times 100 \quad (2)$$

Persamaan *Relative Weight*:

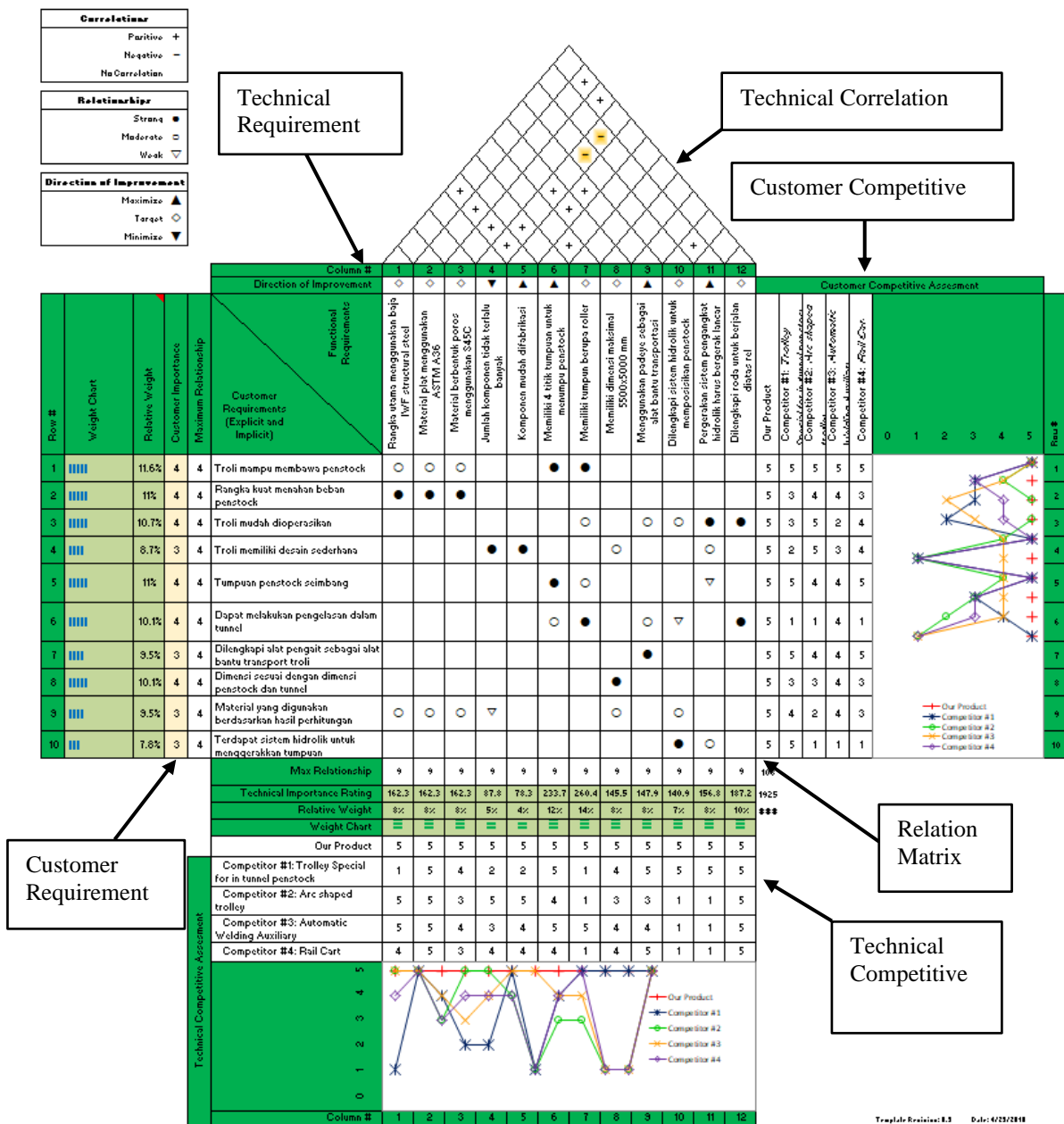
$$\frac{\text{Nilai Technical Importance Rating}}{\text{Jumlah total technical importance rating}} \times 100\% \quad (3)$$

E. Technical Correlation

Tahapan *technical correlation* dilakukan untuk mengetahui hubungan keterikatan antar *technical requirement*. Simbol “+” memiliki arti keterikatan positif, “-“ berarti keterikatan negatif, dan kosong berarti tidak ada korelasi.

F. Technical competitive

Tahap ini merupakan penilaian berdasarkan perbandingan dari produk yang akan dirancang dengan produk pesaing terhadap spesifikasi teknis. *Technical competitive* digambarkan dengan menggunakan *chart* garis dan perbandingan dimulai dari angka 0 sampai 5. Produk pesaing berdasarkan pada kajian jurnal dan paten yang ditunjukkan pada gambar 4. Tahapan perbandingan ini dilakukan untuk membuktikan bahwa rancangan akhir lebih baik dan sesuai dengan kebutuhan perusahaan dibandingkan rancangan yang sudah ada sebelumnya. Gambar 4 menunjukkan matriks HOQ secara keseluruhan berdasarkan langkah-langkah pembuatannya yang telah dijabarkan sebelumnya.



Gambar 4. Matriks keseluruhan House of Quality

Pembuatan Konsep Rancangan

A. Konsep Rancangan Troli

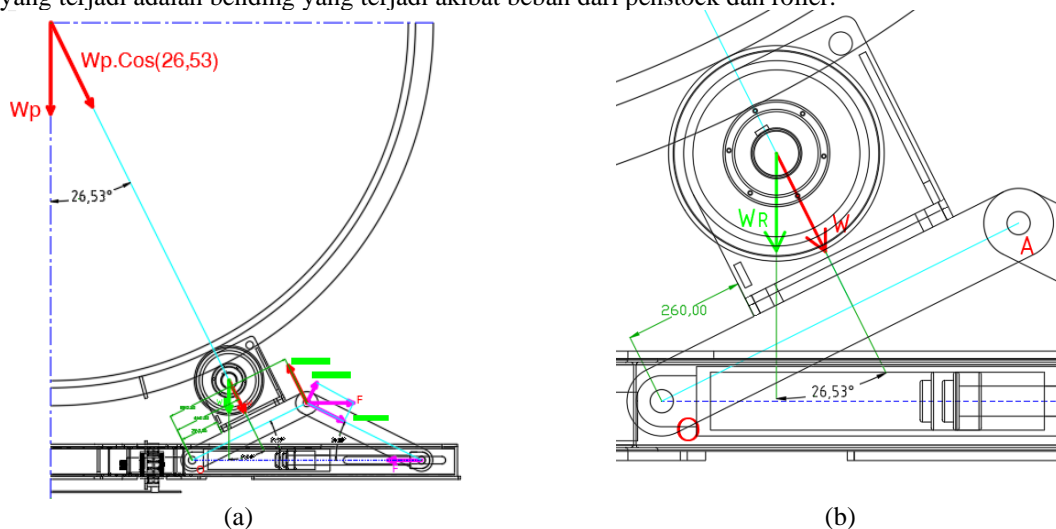
Konsep rancangan dibuat berdasarkan hasil dari metode QFD. Konsep rancangan dilengkapi dengan spesifikasi teknis yang sudah disesuaikan dengan kebutuhan perusahaan. Spesifikasi teknis beserta tingkat kepentingannya sudah tertera pada *house of quality*. Konsep rancangan *penstock welding trolley* ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Konsep rancangan troli diberikan pada gambar (a). Gambar (b) menunjukkan konsep rancangan troli ketika sedang mengangkat penstock

B. Perhitungan Rancangan Rangka Pengangkat

Berdasarkan gambar 6 diilustrasikan pembebanan yang terjadi pada rangka pengangkat. Pembebanan yang terjadi adalah bending yang terjadi akibat beban dari penstock dan roller.

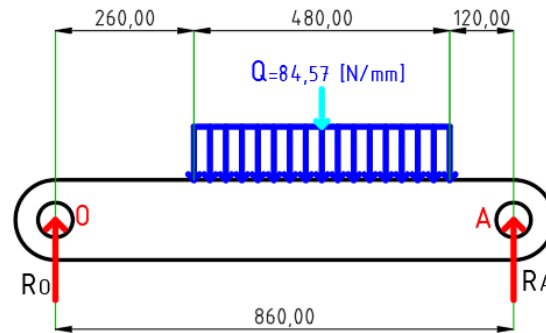


Gambar 6. Beban *penstock* yang ditumpu *roller* (a). Gambar (b) menunjukkan FBD beban *penstock* dan *roller* terhadap rangka pengangkat

Massa *penstock* adalah 35 ton dan ditumpu oleh empat buah *roller*, maka masing-masing *roller* akan menerima beban 8750 kg. Beban tiap *roller* adalah 500 kg. Massa beban total dari *penstock* dan *roller* terhadap sepasang rangka pengangkat adalah 8275,980645 kg. Maka beban total yang diterima masing-masing rangka pengangkat adalah setengahnya yaitu 4137,99032 kg.

- FBD Reaksi Tumpuan Rangka Pengangkat

Berdasarkan gambar 7 di tunjukkan *free body diagram* pada rangka pengangkat yang mengalami pembebanan merata untuk menghitung reaksi tumpuan dan momen yang terjadi pada rangka pengangkat. Beban merata (Q) pada rangka pengangkat didapatkan dengan membagi beban total dengan panjang *roller* yaitu 480 mm. sehingga didapatkan nilai Q adalah 84,57 N/mm.



Gambar 7. FBD pada rangka pengangkat

- Perhitungan reaksi tumpuan rangka pengangkat
Reaksi tumpuan pada titik O (R_O) adalah 16992,66968 N
Reaksi tumpuan pada titik A (R_A) adalah 23600,93032 N
- Perhitungan momen pada rangka pengangkat
Momen terbesar yang terjadi adalah sebesar 6125264,643 Nmm
- Perhitungan tegangan *bending* maksimum

$$\sigma_b = \frac{Mb}{Z} \quad (4)$$

Penampang rangka pengangkat adalah persegi panjang dengan ukuran 40x150 mm, maka nilai penampang Z dapat dicari menggunakan persamaan 5.

$$Z = \frac{bh^2}{6} \quad (5)$$

Hasil tegangan *bending* maksimum berdasarkan persamaan 4 dan 5 adalah 40,8351 MPa

- Perhitungan tegangan tarik izin rangka pengangkat
Rangka pengangkat menggunakan material ASTM A36 dengan dengan $\sigma_t = 400$ MPa dan *safety factor* = 8. Perhitungan tegangan tarik izin menggunakan rumus pada persamaan 6.

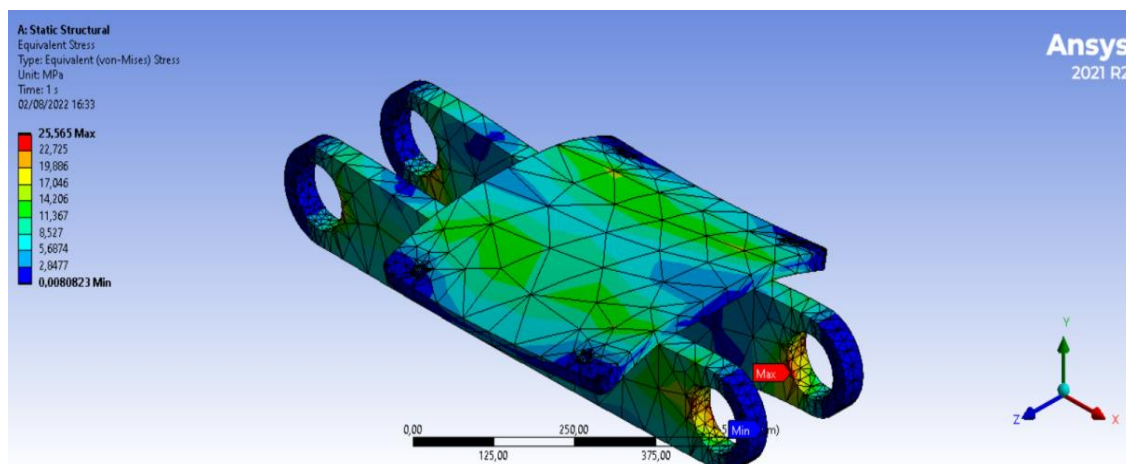
$$\sigma_t \text{ izin} = \frac{\sigma_t \text{ material}}{\text{safety factor}} \quad (6)$$

Hasil tegangan tarik izin rangka pengangkat berdasarkan persamaan 6 adalah 50 MPa.

- Membandingkan tegangan *bending* dengan tegangan tarik izin material
Rangka pengangkat dinyatakan aman karena nilai dari tegangan izin material lebih besar dari tegangan *bending* maksimum yang terjadi (50 MPa > 40,8351 MPa).

C. Simulasi Pengujian Von Mises Pada Rangka Pengangkat

Gambar 8 menunjukkan hasil simulasi pengujian tegangan *von mises* pada sistem rangka pengangkat dengan pembebanan total yang diberikan adalah 8275,980645 kg. Material yang digunakan pada rangka pengangkat yaitu ASTM A36 dengan *yield stress* 250 MPa. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan *software ANSYS*, tegangan maksimum yang terjadi sebesar 25,565 MPa. Sistem rangka pengangkat dinyatakan aman dan mampu untuk menopang beban *penstock* karena nilai tegangan maksimum yang terjadi lebih kecil dari *yield stress* material.



Gambar 8 Hasil simulasi Von Mises Stress pada Sistem Rangka Pengangkat

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan rancangan *welding trolley* dengan sistem angkat hidrolik sebagai alat bantu pemasangan *penstock* di dalam *tunnel* menggunakan metode QFD, dimana kebutuhan perusahaan diprioritaskan dalam proses perancangannya. Spesifikasi dari rancangan *penstock welding trolley* disesuaikan dengan *customer requirement* dan *technical requirement* yang ada di matriks HOQ. Atribut kebutuhan perusahaan pada *customer requirement* yang paling diprioritaskan adalah kemampuan troli untuk dapat membawa *penstock* dengan baik yang memiliki nilai *relative weight* 11,6%. Sedangkan hasil analisis atribut spesifikasi teknis pada *technical requirement* yang menjadi prioritas tertinggi yaitu troli dilengkapi dengan tumpuan berupa roller dengan nilai *relative weight* 14%. Hasil simulasi pengujian *von mises stress* rancangan *penstock welding trolley* pada komponen sistem rangka pengangkat adalah sebesar 25,565 MPa sehingga sistem rangka pengangkat aman digunakan pada rancangan.

REFERENSI

1. Edeoja, A., Ibrahim, J., & Kucha, E. (2016). Investigation of the Effect of Penstock Configuration on the Performance of a Simplified Pico-hydro System. *British Journal of Applied Science & Technology*, 14(5), 1-11.
2. Mahendra, B., Mara, M., & Padang, Y. (2013). Perancangan Pipa Pesat, dan Daya Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Air Kokok Putih Desa Bilok Petung Kecamatan Sambalung Kabupaten Lombok Timur. *Dinamika Teknik Mesin*, 3(2), 136-143.
3. Xianhui, L., & Chu, Z. (2015). Design and Application of Trolley Special for In-tunnel Transportation of Penstock. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 46(11), 56-65.
4. Nurochim, S., & Rukmana, A. N. (2021). Perancangan Produk *Waistbag* dengan Menggunakan Metode *Quality Function Deployment* (QFD). *Jurnal Riset Teknik Industri*, 1(1), 1-13.
5. Hasibuan, C. F., & Sutrisno. (2017). Perancangan Produk Tas Travel Multifungsi dengan Menggunakan Metode *Quality Function Deployment* (QFD). *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 19(1), 40-44.
6. Suseno, & Huvat, T. T. T. (2019). Perancangan Alat Panggangan Otomatis Menggunakan Metode QFD (*Quality Function Deployment*). *Jurnal Teknologi*, 12(2), 123-129.
7. Fatkhurrohman, D. (2020). Perancangan Alat Pencacah Pepaya Muda Menggunakan Metode *Quality Function Deployment* (QFD). *IEJST (Industrial Engineering Journal of The University of Sarjanawiyata Tamansiswa)*, 4(1), 45-54.
8. Basuki, M., Aprilyanti, S., et al. (2020). Perancangan Ulang Alat Perontok Biji Jagung Dengan Metode *Quality Function Deployment*. *Journal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, 6(1), 23-30.
9. Kasan, A., & Yohanes, A. (2017). Improvement Produk *Hammock Sleeping Bag* dengan Metode QFD (*Quality Function Deployment*). *Jurnal Dinamika Teknik*, 10(1), 40-49.
10. Wang, W., Deng, F., Cheng, Z., Ai, Q., He, J., & Luo, Y. (2021). "CN202557542U Arc Trolley used for Horizontally Transporting Penstock In Hole".
11. Shengchen, C., Feng, G., Zehuan, T., Chen, L., Keqiang, Z., Ruifeng, Z., & Yingkun, Z. (2021). "CN11280930A Automatic Welding Auxiliary for In-hole Pressure Steel Pipe Pile Joints".
12. Zhiming, L., Ziqiang, J., Peile, Y., Juntao, F., & Yukuan, X. (2018). "CN107054388A Rail Cart and Use Method of Rail Cart in Construction of Large-diameter Steel Penstock".