



Artikel Penelitian

Integrasi Metode *Objective Tree Diagram* dan *Quality Function Deployment* dalam Perancangan *Hydraulic Ram Pump (Hydrum Pump)* untuk Sistem Distribusi Air Irigasi Ramah Lingkungan di Sumatera Barat

Dendi Adi Saputra. M ^{a,*}, Adly Havendri ^a, Muhammad Ilhamdi Rusydi ^b, Elita Amrina ^c, Devi Chandra ^a, Eka Satria ^a

^a Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Andalas, Kampus Universitas Andalas Limau Manis, Padang, 25166, Indonesia

^b Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Andalas, Kampus Universitas Andalas Limau Manis, Padang, 25166, Indonesia

^c Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Andalas, Kampus Universitas Andalas Limau Manis, Padang, 25166, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 15 Juni 2023

Revisi Akhir: 29 Juni 2023

Diterbitkan Online: 30 Juni 2023

KATA KUNCI

Pompa hidram,

Quality function deployment,

Objective tree diagram,

Irigasi

KORESPONDENSI

E-mail: dendias@eng.unand.ac.id

A B S T R A C T

This study proposes an integration between the Objective Tree Diagram (OTD) and Quality Function Deployment (QFD) methods in the design of a Hydraulic Ram Pump (Hydrum Pump) for an environmentally friendly irrigation water distribution system in West Sumatra. The hydrum pump method uses the potential energy of river water to drive the pump without the need for electricity or fossil fuels, thereby reducing negative environmental impacts. This study involved a design phase of Identifying user requirements, Developing an Objective Tree Diagram to decompose the ultimate goals, and Integrating Quality Function Deployment to link user requirements with technical specifications. The design results indicate that the hydrum pump can be designed to meet the needs of irrigation systems in West Sumatra. With a minimum waterfall height of 0.5 meters, the hydrum pump can produce a head of 10 meters. The inlet flow rate is designed to be a maximum of 0.0354 m³/second, while the outlet flow rate is 0.028 m³/second. Integrating OTD and QFD methods allows designers to comprehensively understand user requirements, connect them with precise technical specifications, and reduce the gap between design and actual needs. This research is expected to contribute to developing an environmentally friendly irrigation water distribution system in West Sumatra. By using an integrative approach of the OTD and QFD methods, the design of the hydrum pump can be more targeted and meet user needs. The implications of this research can be utilized as a guide in designing efficient and sustainable irrigation water distribution systems while reducing negative environmental impacts in the region.

1. PENDAHULUAN

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan *Hydraulic Ram Pump (Hydrum Pump)* sebagai solusi sistem distribusi air irigasi ramah lingkungan di Sumatera Barat. Dalam upaya meningkatkan kesejahteraan petani dan produktivitas sektor pertanian, penggunaan teknologi yang efisien dan ramah lingkungan

menjadi sangat penting. Metode hidram menggunakan energi potensial air sungai untuk menggerakkan pompa dan mendistribusikan air tanpa menggunakan listrik atau bahan bakar fosil, sehingga dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Penerapan pompa hidram dalam sistem distribusi air irigasi memiliki beberapa keuntungan. Pertama, pompa hidram menggunakan energi potensial air

sungai yang tersedia secara alami, sehingga tidak memerlukan sumber daya tambahan seperti listrik atau bahan bakar fosil [1, 2]. Hal ini membuat pompa hidram menjadi solusi yang hemat energi dan ramah lingkungan. Selain itu, pompa hidram memiliki konstruksi sederhana dan tidak memerlukan pelumasan, sehingga biaya pembuatan dan perawatannya relatif murah [3, 4].

Dalam konteks Sumatera Barat, penggunaan pompa hidram dapat memberikan manfaat yang signifikan. Wilayah ini memiliki potensi lahan pertanian yang luas, baik lahan sawah maupun lahan kering. Namun, pemanfaatan lahan pertanian masih belum optimal dikarenakan keterbatasan ketersediaan air. Pompa hidram dapat menjadi solusi yang efektif untuk memanfaatkan potensi air yang ada secara lebih efisien dan berkelanjutan.

Namun, meskipun pompa hidram memiliki potensi besar dalam memenuhi kebutuhan sistem distribusi air irigasi, terdapat kecenderungan bahwa banyak pompa hidram yang dirancang tidak sesuai dengan kebutuhan penggunaannya, terutama dalam hal pemilihan komponen dan spesifikasi rancangan. Hal ini berdampak terhadap penggunaan pompa hidram yang tidak tepat guna dan tidak efisien.

Hal ini dapat disebabkan oleh kurangnya pemahaman mendalam tentang karakteristik air sungai, variasi debit aliran, atau faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi performa pompa hidram. Selain itu, aspek pemilihan komponen juga menjadi faktor yang mempengaruhi kesesuaian perancangan pompa hidram dengan kebutuhan penggunaannya. Pemilihan komponen yang tidak tepat atau kurang akurat dalam memperhitungkan parameter seperti ukuran pipa, jenis katup, atau kapasitas ruang udara dapat menyebabkan performa pompa hidram menjadi kurang optimal atau bahkan tidak berfungsi dengan baik.

Oleh sebab itu, diperlukan kerangka perancangan yang mengakomodir kebutuhan pengguna yang sesuai dengan spesifikasi teknis pompa hidram yang dirancang. Mengacu kepada karakteristik proses perancangan pompa hidram, maka integrasi metode

objective tree diagram dan *quality function deployment* (QFD) diusulkan dalam penelitian ini.

Objective Tree Diagram adalah metode perancangan yang digunakan untuk mengidentifikasi tujuan akhir dan subtujuan yang harus dicapai dalam perancangan suatu produk atau sistem. Dalam perancangan pompa hidram, OTD dapat membantu dalam menguraikan tujuan akhir yang diinginkan, seperti efisiensi energi, daya dorong yang optimal, atau keandalan tinggi. Kemudian, subtujuan yang lebih spesifik dapat ditentukan untuk mencapai tujuan akhir tersebut, seperti pemilihan komponen yang tepat, pengaturan aliran air yang efisien, atau pemilihan bahan yang tahan terhadap korosi.

Di sisi lain, QFD, membantu dalam menghubungkan kebutuhan pengguna dengan spesifikasi teknis yang diperlukan. Dalam konteks perancangan pompa hidram, QFD digunakan untuk mengumpulkan masukan dari pengguna dan pemangku kepentingan terkait preferensi, kebutuhan, dan harapan mereka terhadap pompa hidram yang akan dirancang. Masukan ini kemudian dapat dihubungkan dengan subtujuan yang telah diidentifikasi melalui OTD, sehingga spesifikasi teknis yang lebih detail dan sesuai dapat ditentukan.

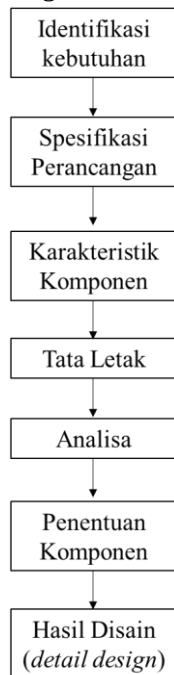
Dengan menggabungkan OTD dan QFD dalam perancangan pompa hidram, dapat terbentuk suatu pendekatan yang holistik dan terintegrasi. OTD membantu dalam mengidentifikasi tujuan akhir dan subtujuan, sedangkan QFD memastikan bahwa kebutuhan pengguna diintegrasikan dengan spesifikasi teknis yang akurat [5, 6]. Hal ini memungkinkan perancangan pompa hidram yang lebih sesuai dengan kebutuhan penggunaannya, mengurangi kesenjangan antara desain dan kebutuhan sebenarnya.

Melalui penelitian ini, diharapkan bahwa penerapan pompa hidram di Sumatera Barat dapat memberikan inspirasi dan contoh bagi daerah-daerah lain yang memiliki kondisi geografis dan lingkungan serupa. Penggunaan teknologi yang ramah lingkungan seperti pompa hidram menjadi salah satu langkah

menuju pertanian berkelanjutan dan berwawasan lingkungan. Dengan adanya inovasi dan pengembangan teknologi pertanian seperti ini, diharapkan sektor pertanian di Sumatera Barat dapat terus berkembang dan memberikan kontribusi yang lebih besar dalam perekonomian daerah serta peningkatan kesejahteraan masyarakat petani.

2. METODOLOGI

Penelitian perancangan pompa hidram ini diawali dengan beberapa tahapan, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1. Tahapan perancangan dimulai dengan merumuskan kebutuhan konsumen (*customer requirement*) dengan melakukan *focus group discussion* dengan konsumen.



Gambar 1. Tahapan Perancangan Pompa Hidram

2.1. Identifikasi kebutuhan

Identifikasi kebutuhan pompa hidram untuk irigasi pertanian di Sumatera Barat melibatkan beberapa aspek penting antara lain:

- **Ketersediaan Sumber Air:** Identifikasi sumber air yang tersedia, seperti sungai, saluran irigasi, dan sumur. Objek yang menjadi perhatian adalah debit air yang cukup, konsistensi pasokan air, dan kualitas air yang memadai.

- **Topografi dan Perbedaan Ketinggian:** Topografi daerah yang dimaksud adalah perbedaan ketinggian antara sumber air dan lahan pertanian yang akan diirigasi. Identifikasi ketinggian dan jarak yang perlu diatasi oleh pompa hidram untuk mengalirkan air ke lahan pertanian yang berada di dataran yang lebih tinggi.
- **Kebutuhan Air Komoditas:** Identifikasi luas area yang perlu diirigasi dan pola pengairan yang digunakan (irigasi tetes atau irigasi banjir). Hal ini akan menentukan kapasitas pompa hidram yang dibutuhkan.
- **Ketersediaan Energi Listrik:** Pompa hidram merupakan pilihan yang baik jika pasokan listrik terbatas karena dapat beroperasi tanpa memerlukan listrik eksternal.
- **Efisiensi dan Kapasitas:** Pemilihan pompa hidram dilakukan dengan melihat kapasitas yang sesuai dengan kebutuhan irigasi pertanian di Sumatera Barat.
- **Kebutuhan Pemeliharaan dan Perawatan:** Pada tahap ini juga dipertimbangkan faktor pemeliharaan dan perawatan dalam jangka panjang.

Untuk mendapatkan data tersebut diatas, *focus group discussion* dan *survey lokasi* dilakukan bersama dengan pelanggan/ petani yang akan menggunakan pompa hidram. Selanjutnya, data tersebut diolah melalui metode *objective tree diagram* (OTD) untuk mengidentifikasi tujuan akhir dan subtujuan, dan metode *quality function deployment* (QFD) digunakan untuk memastikan bahwa kebutuhan pengguna diintegrasikan dengan spesifikasi teknis yang akurat [7].

2.2. Spesifikasi rancangan

Dalam tahapan perancangan pompa hidram, spesifikasi perancangan mengacu pada deskripsi yang jelas tentang karakteristik teknis yang harus dimiliki oleh pompa hidram yang akan dirancang. Spesifikasi perancangan ini mencakup berbagai elemen yang penting untuk memastikan pompa hidram yang dihasilkan memenuhi kebutuhan dan kriteria yang ditetapkan. Diantaranya adalah kapasitas, head (ketinggian), efisiensi, dimensi fisik

pompa, material konstruksi, keandalan, pengoperasian dan pemeliharaan.

2.3. Karakteristik komponen

Dalam tahap perancangan, karakteristik komponen merujuk pada atribut atau sifat-sifat khusus yang dimiliki oleh setiap komponen dalam suatu sistem. Dengan memperhatikan karakteristik komponen tersebut dalam perancangan pompa hidram, perancang dapat merancang pompa yang efisien, handal, dan sesuai dengan kebutuhan sistem. Hal ini akan memastikan pompa hidram beroperasi dengan baik dan memberikan hasil yang diinginkan dalam pemompaan air. Selain itu, hal ini bertujuan untuk menentukan komponen-komponen utama dan pembantu dalam rancang bangun pompa hidram pump. Pada proses penetapan komponen sistem pompa hidram terbagi menjadi 2 tipe komponen yaitu komponen standar dan komponen khusus. Untuk tipe komponen standar akan dilakukan penetapan komponen dengan menggunakan katalog yang telah ada, seperti komponen pipa, katup buang, tabung udara, dll. Untuk penetapan komponen khusus dilakukan dengan menggunakan perhitungan dasar terlebih dahulu sebagai cara untuk mengetahui dimensi dari komponen yang dirancang, seperti pipa masuk, pipa penghantar, dll.

2.4. Tata letak

Tata letak (*layout*) dalam tahap perancangan pompa hidram merujuk pada pengaturan posisi dan penempatan komponen-komponen pompa hidram dalam sistem secara keseluruhan. Melalui perancangan tata letak yang tepat, pompa hidram dapat dirancang dengan efisiensi, kinerja yang optimal, mudah perawatan, dan tingkat keselamatan yang tinggi. Hal ini akan membantu mencapai tujuan pompa hidram dalam memompa air dengan efisien dan efektif.

2.5. Analisa dan Penentuan Konsep Rancangan dan Komponen Pompa Hidram

Penentuan konsep rancangan pompa hidram dilakukan dengan menggunakan metode QFD (*Quality Function Deployment*). Pada tahap ini dilakukan pembuatan matriks QFD yang

menghubungkan kebutuhan pelanggan dengan karakteristik desain. Pada sumbu vertikal, dituliskan kebutuhan pelanggan yang diidentifikasi dalam langkah pertama. Dengan matriks QFD, identifikasi karakteristik desain yang memiliki bobot tertinggi akan memberikan informasi tentang karakteristik utama yang sesuai dengan kebutuhan pelanggan. Berdasarkan karakteristik desain yang diprioritaskan, maka akan dihasilkan konsep rancangan pompa hidram yang sesuai dengan analisis kebutuhan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Identifikasi masalah

Tim peneliti melakukan survei lokasi di dua daerah di Sumatera Barat, yaitu Koto Tuo, Sijunjung, dan Sirukam, Kabupaten Solok untuk merancang pompa hidram sebagai bagian dari proyek pengembangan sistem irigasi pertanian di wilayah tersebut.



Gambar 2. (a) Kondisi lahan pertanian yang tidak berfungsi, (b) Sumber air yang berada 20 meter dari posisi lahan pertanian (Lokasi: Sirukam, Kab. Solok)

Dari hasil survei lokasi dan wawancara langsung dengan pihak terkait di kedua lokasi di Sumatera Barat, diperoleh data bahwa ketersediaan sumber air cukup stabil dengan perbedaan ketinggian antara 10 hingga 30 meter (Koto Tuo), dan 5 hingga 20 meter (Sirukam). Kebutuhan irigasi pertanian untuk kedua daerah ini adalah untuk pengairan komoditas padi, jagung dan cabai. Saat ini, lahan diatas sumber air, tidak berfungsi sebagaimana mestinya. Dari hasil

wawancara, terdapat sekitar 300 ha lahan yang memerlukan pengairan, agar lahan tersebut dapat diolah menjadi lahan pertanian produktif.

3.2. Spesifikasi rancangan

Berdasarkan hasil survey lokasi yang telah dilakukan, maka didapatkan spesifikasi teknologi yang diinginkan oleh petani. Spesifikasi yang dirancang dapat dilihat pada Tabel 1.

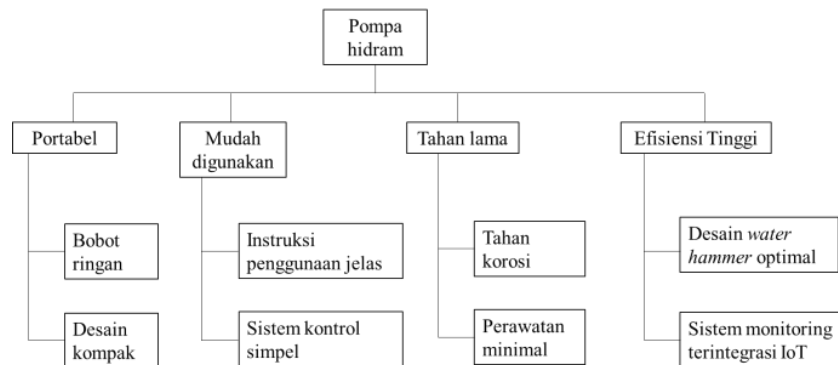
Tabel 1. Spesifikasi Pompa Hidram

Parameter	Nilai
Debit air yang dibutuhkan	11 liter/menit
Head rancangan	5-20 meter

Selain itu, berdasarkan hasil wawancara langsung dengan petani didapatkan tujuan utama yang menjadi acuan dalam melakukan perancangan pompa hidram. Hal ini dituangkan kedalam *objective tree diagram*, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.

3.3. Konsep rancangan pompa hidram

Penentuan konsep rancangan pompa hidram dilakukan berdasarkan karakteristik komponen pompa hidram. Beberapa komponen yang menjadi perhatian khusus adalah pipa masuk, pipa keluar, tabung udara, katup masuk, katup keluar, katup limbah/buang. Hal ini diterjemahkan dari keinginan petani dari produk pompa hidram yang dirancang, yang digambarkan dalam matrik QFD.



Gambar 3 *Objective tree diagram* perancangan pompa hidram

Tabel 2. QFD untuk pompa hidram Sumatera Barat

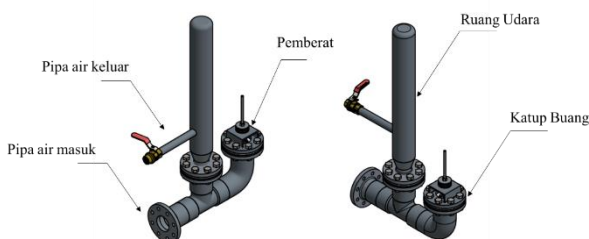
1: low, 5: high Customer importance rating	Functional Requirements (How's) → Customer Requirements - (What's) ↓	Berat < 5 kg	Sistem knock-down	Material PVC	Kontrol hybrid (manual dan otomatis)	Sensor Ph, Turbidity, TSS, TDS	Panduan mudah diakses	Beban water hammer flexible
Portabel								
5	Bobot ringan	9		3		3		
5	Desain kompak	3	9	3				3
Mudah digunakan								
3	Instruksi penggunaan jelas						9	
4	Sistem kontrol yang simpel				9	3		3
Tahan lama								
3	Tahan korosi			9				
5	Perawatan minimal			1	9		3	
Efisiensi tinggi								
3	Desain water hammer optimal		3					9
2	Sistem monitoring terintegrasi IoT				9	3		
Technical importance score		60	54	62	99	33	42	54
Importance %		19%	17%	20%	31%	10%	13%	17%
Priorities rank		3	4	2	1	7	6	4

Kebutuhan pelanggan yang mencakup portabel, mudah digunakan, tahan lama dan efisiensi tinggi, dapat dipenuhi melalui sejumlah persyaratan teknis yang relevan. Untuk kebutuhan portable, persyaratan teknis berat ringan sangat penting, karena menggunakan bahan yang ringan dan desain yang kompak akan memudahkan transportasi dan mobilitas pompa hidram. Kemudahan penggunaan dapat dicapai melalui beberapa persyaratan teknis, seperti sistem knock-down untuk perakitan dan bongkar pasang yang mudah, sensor IoT untuk pemantauan dan panduan real-time, serta panduan yang mudah diakses bagi pengguna.

Untuk memenuhi kebutuhan daya tahan, penggunaan pipa PVC sebagai persyaratan teknis akan memastikan ketahanan terhadap korosi dan umur panjang. Kebutuhan efisiensi tinggi dapat dipenuhi dengan menerapkan persyaratan teknis sistem kontrol hybrid, yang menggabungkan kontrol manual dan otomatis untuk meningkatkan efisiensi energi. Dalam skala prioritas, sistem kontrol hybrid ditempatkan pada prioritas tertinggi, menunjukkan bahwa pengembangan dan integrasi teknologi kontrol yang optimal merupakan fokus utama dalam perancangan pompa hidram.

3.4. Hasil rancangan

Berdasarkan tahapan analisa, penentuan komponen dan konsep rancangan, maka dirancang tata letak komponen-komponen pompa hidram, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



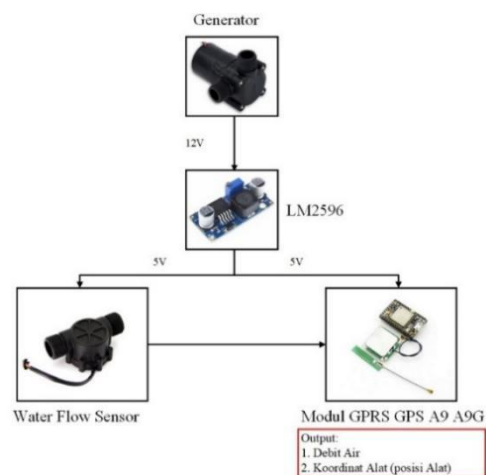
Gambar 4. Hasil akhir rancangan pompa hidram

Hasil rancangan pompa hidram ini memiliki spesifikasi akhir sebagai berikut:

- Pipa masuk : 6 inch
- Pipa keluar : 1.5 inch

- Desain katup buang : 1 buah (*adjustable*)
- Ketinggian jatuh air min : 0.5 m
- Debit min : 2448 liter/hari
- Head* luaran : 10 meter

Berdasarkan skala prioritas rancangan pompa hidram, maka sistem kontrol manual dan otomatis diintegrasikan dalam sistem monitoring yang dapat dipantau dari jarak jauh. Skema rancangan sistem monitoring dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Rancangan sistem monitoring dengan modul GPRS untuk mengetahui debit air dan kondisi alat

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil perancangan menunjukkan bahwa pompa hidram yang dirancang memenuhi spesifikasi yang sesuai dengan kebutuhan sistem irigasi di Sumatera Barat. Dengan tinggi jatuh air minimal 0,5 meter, pompa hidram mampu menghasilkan head sebesar 10 meter. Debit aliran masuk dirancang dengan batas maksimal 0,0354 m³/detik, sementara debit keluaran mencapai 0,028 m³/detik.

Integrasi metode OTD dan QFD dalam perancangan pompa hidram memungkinkan desainer untuk memahami kebutuhan pengguna secara komprehensif dan menghubungkannya dengan spesifikasi teknis yang tepat. Hal ini membantu mengurangi kesenjangan antara desain dan kebutuhan sebenarnya. Pendekatan integratif ini memberikan kontribusi dalam pengembangan

sistem distribusi air irigasi yang ramah lingkungan di Sumatera Barat..

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Badan Penelitian dan Pengembangan Provinsi Sumatera Barat yang telah mendanai penelitian pada tahun 2023.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Liu, C., & Wu, Y. (2015). Experimental investigation on the performance of a small-scale hydraulic ram pump. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 29(12), 5099-5106.
- [2] Panchal, H., & Dave, M. (2016). Design, optimization and performance analysis of hydraulic ram pump. *International Journal of Engineering and Technology*, 8(1), 132-136.
- [3] Khadse, N. S., & Rathi, V. (2018). Performance analysis of hydraulic ram pump. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 8(2), 58-63.
- [4] Jintanakul, S., & Promwungkwa, W. (2020). Experimental study on the performance of hydraulic ram pump with varying driving and delivery pipe diameters. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 496(1), 012037.
- [5] Zhang, W., & Zeng, X. (2017). Application of quality function deployment method in industrial design of computer numerical control machine tools. *Journal of Mechanical Engineering and Automation*, 7(2), 80-84.
- [6] Kela, P., & Sankhala, P. (2017). Design and performance analysis of hydraulic ram pump. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 5(2), 100-105.
- [7] Mazumdar, A., & Raghavan, N. R. S. (1994). The house of quality as a quality function deployment tool. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 11(5), 9-20.