

PEMBUATAN POMPA AIR *POSITIVE DISPLACEMENT* YANG DIGERAKKAN OLEH TURBIN ANGIN

Amri Hidayat^{1,a}, Aldrin^{2,b}

^{1,2} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Teknologi Sumbawa, Jl. Raya Olat Maras, Batu Alang, Kec, Moyo Hulu, Kabupaten Sumbawa 84371. Indonesia

^aamri.hidayat@uts.ac.id, ^baldrin@uts.ac.id

Abstrak.

Di Indonesia, air merupakan kebutuhan yang sangat penting baik bagi ketahanan pangan (produktivitas pertanian dan peternakan) dan ketahanan energi yaitu dengan penggunaan energi terbarukan untuk infrastruktur pemasok dan pengolahan sumber daya air (sistem pemompaan). Di beberapa daerah di Indonesia seperti Kabupaten Sumbawa, masih memiliki wilayah terpencil yang jauh dari jaringan listrik nasional, jaringan irigasi pertanian dan perusahaan daerah air minum, tetapi memiliki kelebihan yaitu tersedianya sumber air tanah (air sumur) dengan kedalaman sumur antara 3 m sampai 9 m. Namun untuk mengangkat air sumur dibutuhkan suatu sistem pemompaan, seperti pompa berpenggerak motor bakar, motor listrik atau memanfaatkan sumber energi terbarukan seperti turbin angin sudu jamak yang di gerakkan secara mekanik. Sudu dihubungkan dengan poros dan mekanisme engkol ditempatkan di ujung poros. Ketika sudu berputar secara otomatis mekanisme engkol juga akan berputar. Karena pengaturan eksentrik poros, gerakan putaran mekanisme engkol diubah menjadi gerakan linier yang diteruskan ke batang piston pompa, sehingga proses pemompaan akan berlangsung secara terus menerus sesuai dengan ketersediaan dan kecepatan angin. Memanfaatkan turbin angin sebagai penggerak pompa air bisa dilakukan karena letak geografis Kabupaten Sumbawa yang memiliki garis pantai cukup panjang dengan kecepatan angin di atas 2,3 m/detik. Pada penelitian ini telah dibuat pompa air model piston (*pompa air positive displacement*) dengan penggerak turbin angin sudu jamak, diameter silinder pompa 50,80 mm, panjang langkah pompa 127 mm.

Kata kunci: *Pembuatan, Pompa Air Positive Displacement, Turbin Angin..*

Abstract.

In Indonesia, water is very important both for food security (agricultural productivity and livestock) and energy resilience, namely with the use of renewable energy for supplier infrastructure and water resource processing (Pumping system). In some areas in Indonesia such as Sumbawa Regency, it still has remote areas far away from the national electricity network, agricultural irrigation network and the company's drinking water area, but it has the advantage of the availability of groundwater resources (well water) with the depth of the well between 3 m to 9 m. However, to lift well water, it is needed a pumping system, either a motor-driven pump, electric motor or utilizing renewable energy sources such as plural wind turbines that are mechanically moved. The blade is connected to the shaft and the crank mechanism which placed at the end of the shaft. When the blade rotates automatically the crank mechanism will also rotate. Due to the eccentric arrangement of the shaft, the rotation movement of the crank mechanism is transformed into a linear motion transmitted to the pump piston rod, so that the pumping process will take place continuously according to the availability and wind speed. Utilizing a wind turbine as a water pump driver can be done because the location of Geographically Sumbawa Regency which has a long coastline with wind speed above 2,3 m/second. This study is designed and manufactured piston water pump model (positive displacement water pump) with the drive of the multy blade wind turbine, cylinder diameter of the pump 50,80 mm, pump stroke is 127 mm.

Keywords: *Manufacturing, Positive Displacement Water Pump, Wind Turbine*

Pendahuluan

Populasi penduduk Indonesia yang tumbuh pesat, diperkirakan mencapai 280 juta pada tahun 2030, menyebabkan meningkatnya tekanan terhadap sumber daya alam. Tekanan pada sumber daya ini dapat menimbulkan risiko pada ketahanan air, energi dan pangan. Hubungan air-energi-pangan merupakan pendekatan yang berguna untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi pertukaran (*trade-off*) di berbagai sektor yang berbeda. Pendekatan ini mengakui interdependensi antara sistem air, energi dan pangan serta ketergantungan ketiganya pada sumber daya alam.

Pemanfaatan sumber daya energi terbarukan untuk meningkatkan ketersediaan air baik untuk konsumsi, peternakan dan pertanian, dengan mengembangkan infrastruktur teknologi pemompaan air melalui pengembangan pompa piston berpenggerak turbin angin sudu jamak yang digerakkan secara mekanik atau elektrik adalah solusi untuk permasalahan ketahanan pada sumber daya air, khususnya daerah terpencil yang memiliki keterbatasan jangkauan jaringan listrik nasional, jaringan irigasi pertanian dan perusahaan daerah air minum seperti beberapa wilayah di Kabupaten Sumbawa yaitu Dusun Naga Lidam.

Pemompaan air sangat penting, untuk memenuhi kebutuhan konsumsi, peternakan dan pertanian yang bisa diambil dari sumber air seperti; sumur bak terbuka, sumur bor, sungai atau bendungan. Namun, karena terbatasnya ketersediaan energi listrik, beberapa bentuk energi alternatif bisa dimanfaatkan untuk memompa air dari sumber ke titik penggunaan, seperti potensi penggunaan turbin angin sudu jamak untuk menggerakkan pompa air. Teknologi pemompaan ini sudah mulai dikembangkan pada akhir abad ke 19, digunakan untuk peternakan dan konsumsi terutama di daerah di mana pompa listrik dan bahan bakar fosil tidak praktis untuk digunakan dan wilayah yang memiliki kecepatan angin minimal 8 km/jam terutama di wilayah dekat pantai yang memiliki kecepatan angin cukup tinggi.

Pompa air dengan penggerak turbin angin adalah kombinasi antara pompa air piston yang digerakkan secara mekanik oleh turbin angin, prinsip kerjanya yaitu; energi angin digunakan untuk memutar sudu turbin angin. Sudu dihubungkan dengan poros dan mekanisme engkol ditempatkan di ujung poros. Ketika sudu berputar secara otomatis mekanisme engkol juga akan berputar. Karena pengaturan eksentrik poros, gerakan putaran mekanisme engkol diubah menjadi gerakan linier yang

diteruskan kepada batang piston pompa, sehingga proses pemompaan akan berlangsung secara terus menerus.

Pada pembuatan pompa piston dengan penggerak turbin angin sudu jamak, dimensi dari komponen pompa air piston sangat penting untuk mendapatkan kinerja maksimal dari alat. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan proses pembuatan pompa air model piston sesuai hasil perancangan menggunakan metode desain Pahl-beitz.

Tinjauan Pustaka

1. Potensi energi angin sebagai energi terbarukan

Tenaga angin adalah bentuk tenaga surya yang dikonversi. Radiasi matahari memanaskan di berbagai tempat di bumi dengan kecepatan yang berbeda pada siang dan malam hari. Hal ini menyebabkan berbagai bagian atmosfer memanaskan dalam waktu yang berbeda. Udara panas naik, dan udara yang lebih sejuk tertarik untuk menggantikannya. Inilah yang menyebabkan terjadinya angin. [1] [2] [3]

2. Daya energi angin untuk pemompaan

Daya Energi Angin Untuk Pemompaan. Daya yang digunakan untuk memompa air akan berkurang sebanding dengan efisiensi mekanis energi angin untuk pemompaan dari seluruh unit pompa berpenggerak turbin angin. Daya yang potensial untuk dimanfaatkan oleh turbin angin dapat ditentukan berdasarkan persamaan:

$$P_{Kinetik} = \frac{1}{2} \times \rho \times A_{Rotor} \times V^3$$

Dimana:

$P_{kinetik}$ = daya kinetik angin (watt)

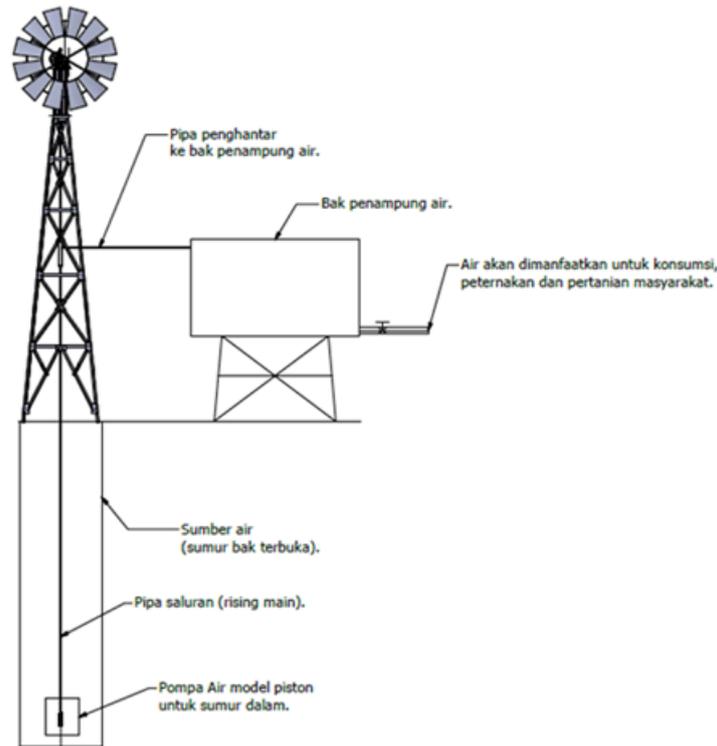
ρ = massa jenis udara (kg/m^3)

A_{rotor} = luas penampang rotor (m^2)

V = kecepatan angin (m/detik) [1] [2].

3. Turbin angin sebagai penggerak pompa air

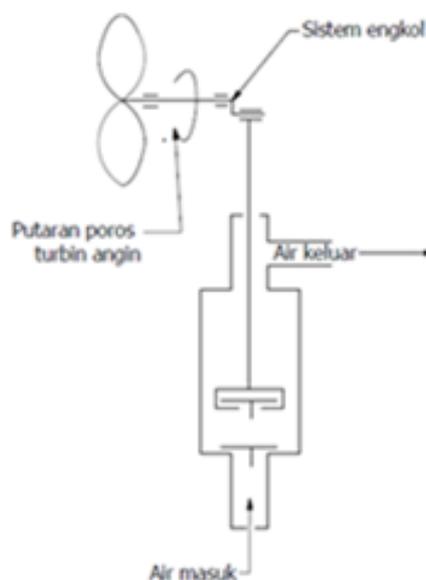
Turbin angin dapat digunakan untuk pemompaan air dari berbagai sumber seperti sungai, danau dan sumur. Turbin angin terpasang di atas atau dekat dengan sumber air, untuk meminimalkan kehilangan daya pada saat transmisi energi. Jenis pompa yang digunakan tergantung pada lokasi sumber air dan kebutuhan. [3]



Gambar 1. Tata letak pompa air dengan penggerak turbin angin

4. Prinsip kerja pompa air berpengerak turbin angin

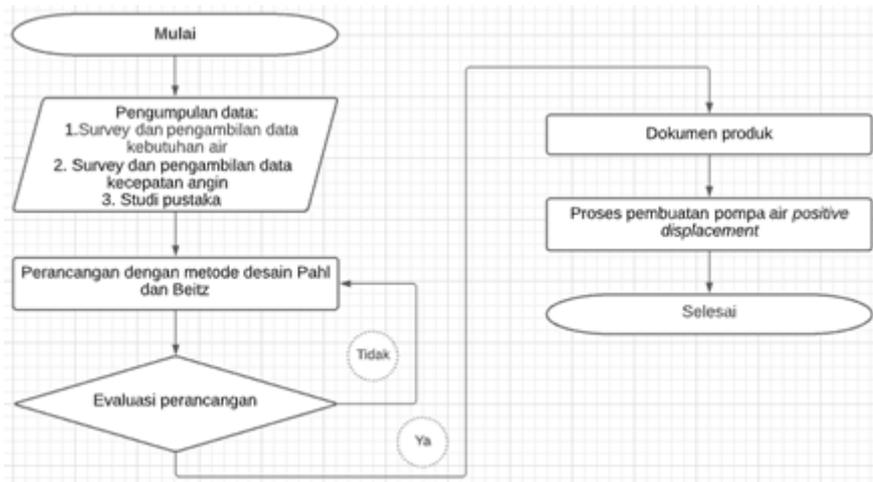
Pada saat rotor turbin angin sudu jamak berputar karena energi kinetik angin, menyebabkan poros utama turbin angin berputar. Putaran poros utama yang menyatu dengan mekanisme engkol, dan mekanisme engkol yang tersambung dengan batang pompa menyebabkan batang pompa bergerak naik-turun, gerakan ini merupakan gerakan yang dibutuhkan oleh pompa piston untuk menggerakkan komponen pompa sehingga aliran air bisa dihasilkan. [3]



Gambar 2. Cara kerja pompa air dengan penggerak turbin angin

Metodologi Penelitian

Penelitian ini diawali dengan survey lapangan dan penentuan lokasi yang akan dijadikan tempat pemasangan pompa air model piston dengan penggerak turbin angin sudu jamak guna mendapatkan informasi kebutuhan air dan data kecepatan angin. Tahap berikutnya yaitu studi literatur melalui buku, jurnal dan internet, agar proses perancangan bisa dilakukan untuk menghasilkan dokumen produk atau gambar teknik dari komponen-komponen pompa. Proses terakhir adalah melakukan kegiatan pembuatan pompa sesuai dengan hasil rancangan metode Pahl dan Beitz, yaitu tahap perancangan detail yang menghasilkan dokumen produk. Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian ini ditampilkan pada diagram alir metodologi penelitian di bawah: [4]



Gambar 3. Diagram alir penelitian

1. Survey dan pengambilan data kebutuhan air

Sebagai dasar perencanaan untuk pembuatan produk pompa, dari hasil survey di lapangan terlebih dahulu diketahui jumlah atau volume kebutuhan air. Kebutuhan air akan digunakan untuk tiga jenis kebutuhan yaitu:

Tabel 1. Rincian kebutuhan air

No	Kebutuhan	Volume
1	Konsumsi untuk 10 KK, 1 KK rata-rata 5 orang, sehingga total ada 50 orang (60 liter/hari/orang)	3.000liter atau 3 m ³
2	Peternakan sapi untuk 70 ekor (25 liter/hari/ekor)	1.750liter atau 1,75 m ³
	Peternakan kuda untuk 50 ekor (20 liter/hari/ekor)	1.000liter atau 1 m ³
3	Untuk pertanian jagung dan sayur-sayuran, luas lahan 1400 m ² , asumsi kebutuhan air 1500 liter/hari	1.500liter atau 1,5 m ³
Total kebutuhan		7,25 liter/hari Atau 7,25 m ³ /hari

2. Survey dan pengambilan data kecepatan angin

Pompa yang akan dibuat direkomendasikan untuk digunakan di daerah dengan kecepatan angin minimal 8 km/jam. Khususnya di daerah pesisir alat cocok digunakan karena tidak ada halangan dari gerakan angin. Berikut tabel II. kecepatan angin rata-rata dari bulan januari-hingga desember 2018.

Sumber: Stasiun Meteorologi Sultan Muhammad Kaharudin, Kabupaten Sumbawa-NTB.

Tabel II. Data kecepatan angin rata-rata, 1 januari 2018 - 31 desember 2018

Bulan	Rata-rata (km/jam)	Rata-rata (m/detik)	Bulan	Rata-rata (km/jam)	Rata-rata (m/detik)
Januari	9	2,5	Juli	10,2	2,8
Februari	8,9	2,5	Agustus	10,6	2,8
Maret	8,8	2,5	September	10,9	3
April	9,2	2,5	Oktober	11,4	3,2
Mei	10	2,8	November	11,2	3,1
Juni	10,5	2,9	Desember	8,6	2,4

3. Perhitungan

Aliran air rata-rata efektif

Pada kondisi operasi, keluaran air rata-rata pompa air seperti yang ditemukan pada persamaan aliran keluaran air rata-rata (\bar{q}), ini mungkin berbeda karena adanya kebocoran, respon katup yang tertunda, dan efek gaya inersia. Sehingga bisa didefinisikan, efisiensi volumetrik pompa ($\eta_{volumetrik}$) sebagai perbandingan antara aliran keluaran air rata-rata efektif ($\bar{q}_{efektif}$) dengan keluaran air rata-rata (\bar{q}). [5]

Untuk mendapatkan jumlah aliran air rata-rata maka dapat diketahui dari persamaan:

$$\bar{q}_{efektif} = \eta_{volumetrik} \times \frac{\omega}{(2\pi)} \times s \times A_p = 0,8 \times \frac{2,8}{(2\pi)} \times 127 \times 0,002 = 0,09 \frac{liter}{detik} = 7,8 \text{ m}^3/\text{hari}.$$

Torsi pompa untuk memulai operasi

Pompa piston membutuhkan torsi untuk memulai operasi sama dengan π dikali torsi yang dibutuhkan untuk membuat pompa tetap beroperasi, dapat diketahui dari persamaan:

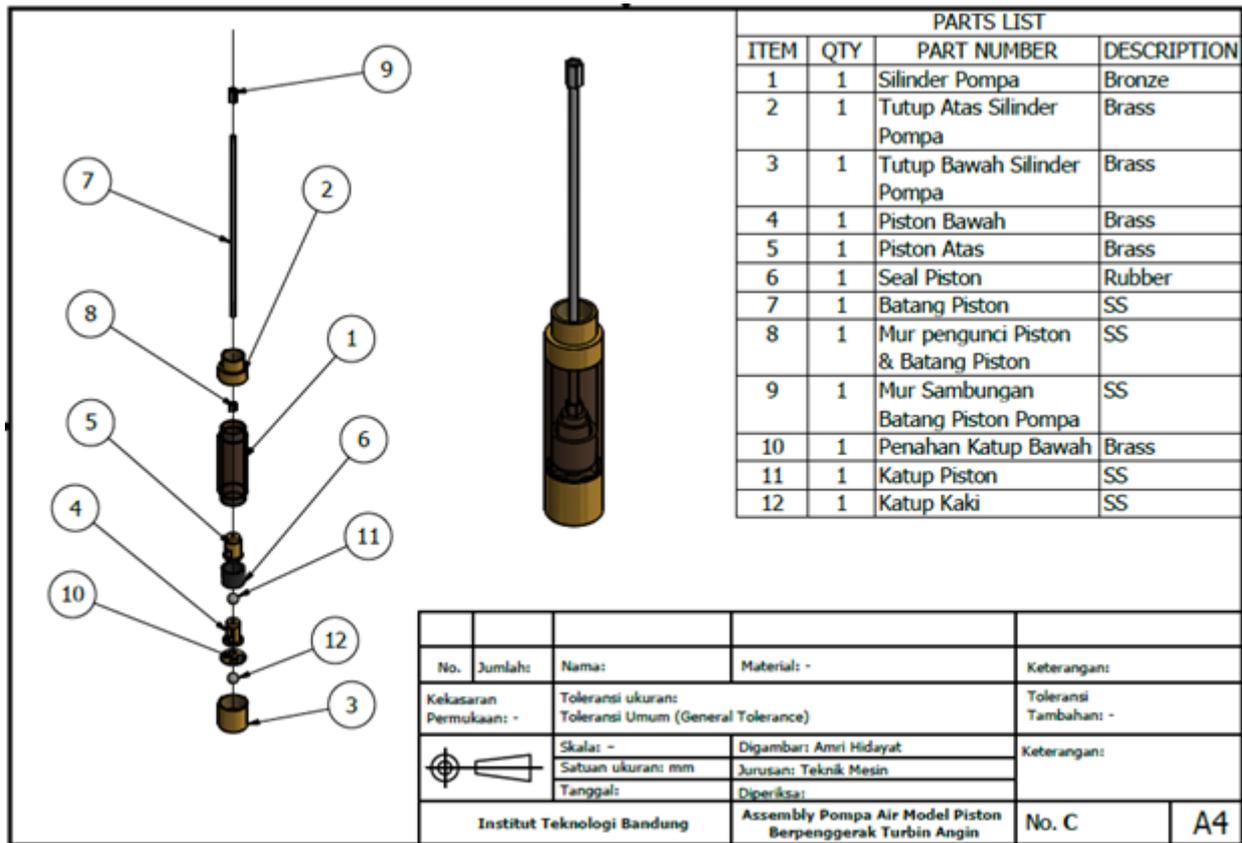
$$Q_{start} = \pi \times \bar{Q} = \pi \times 3,57 = 11,21 \text{ Nm}. [5]$$

Perancangan dimensi pompa

Dari hasil perancangan diketahui dimensi pompa air *Positive Displacement* yang Digerakkan Oleh Turbin Angin Sudu Jamak yaitu: diameter silinder pompa 50,8 mm, panjang langkah pompa 127 mm.

4. Dokumen produk

Dokumen produk merupakan hasil dari proses perancangan detail berupa gambar teknik baik dalam bentuk dua Dimensi (2D) atau tiga dimensi (3D).



Gambar 4. Dokumen produk *Assembly Pompa air model piston*

Proses Pembuatan

Pada tahapan ini, produk pompa yang akan dibuat sudah sesuai dengan dokumen produk hasil dari perancangan yang telah dilakukan sebelumnya. Pada proses pembuatan pompa, langkah pertama yang harus dilakukan yaitu menyiapkan peralatan kerja, seperti pengecekan kondisi dan kebersihan alat-alat yang akan digunakan, baik itu peralatan utama, peralatan pendukung maupun alat bantu seperti *hand tools*. Langkah kedua yaitu pemotongan material menggunakan gergaji mesin dan gerinda potong agar material sudah sesuai dengan dimensi awal sebelum dilakukannya proses pemesinan baik dengan mesin bubut atau mesin bor (*drill*), langkah ketiga yaitu menyiapkan material benda kerja, ini dilakukan agar proses pengerjaan bisa dilakukan secara berurutan, tahap selanjutnya adalah pembuatan komponen pompa.

1. Persiapan peralatan kerja

Pada proses pembuatan langkah pertama yang dilakukan adalah menyiapkan peralatan kerja dan kelengkapannya. Menyiapkan peralatan kerja bertujuan untuk memastikan bahwa peralatan kerja sudah dalam kondisi bersih, baik dan tersedia sehingga proses pengerjaan benda kerja bisa dilakukan dengan benar sesuai dengan kebutuhan serta bisa dilakukan secara tepat sesuai dengan kebutuhan dari proses.

- Mesin gergaji logam

Gergaji logam digunakan untuk memotong bahan yang akan disiapkan untuk dilakukan proses pemesinan. Mesin ini digunakan untuk memotong bahan kuningan yang berbentuk silinder dan batang pejal dengan diameter maksimal yang bisa dipotong yaitu 180 mm.



Gambar 5. Mesin gergaji logam

- Gerinda duduk

Spesifikasi mesin gerinda duduk yang digunakan adalah diameter maksimal mata potong adalah 150 mm dan kecepatan putar maksimal 2950 RPM. Alat ini digunakan untuk memotong bahan pompa air model piston yang berbentuk plat kuningan, selain untuk memotong alat ini juga bisa digunakan untuk menghaluskan permukaan dan membentuk pola benda kerja.



Gambar 6. Gerinda duduk

- Mesin bubut

Mesin bubut adalah salah satu jenis mesin perkakas yang memiliki banyak fungsi, seperti membubut muka, membubut lurus/rata dan bertingkat, membentuk tirus, membuat alur, membuat ulir, membuat lubang (*drilling*), memperbesar lubang (*boring*), mengkartel (*knurling*), memperhalus dan memperluas lubang (*reamer*) hasil dari *drilling* dan *reaming* menggunakan alat potong *reamer* dan bisa digunakan untuk memotong benda kerja. Spesifikasi mesin bubut yang digunakan adalah panjang maksimal benda kerja 750 mm, *swing* benda kerja 350 mm dan diameter spindel 38 mm. Proses pengerjaan yang dilakukan yaitu pembubutan muka, bubut lurus/rata, *drilling*, *boring*, *chamfer* dan pembuatan ulir pada silinder pompa, katup, komponen piston, penutup silinder, batang piston dan komponen-komponen rumah pompa.



Gambar 7. Mesin bubut

- Mesin gurdi

Mesin gurdi digunakan untuk membuat lubang dan memperbesar lubang. Untuk aplikasi pada pembuatan komponen pompa air model piston yaitu proses pembuatan lubang pada batang hexagon, pembuatan lubang pada as kuningan komponen piston, pembuatan lubang pada batang hexagon untuk mur pengikat antara batang piston dan piston silinder pompa.



Gambar 8. Mesin gurdi

- Mesin las listrik SMAW

Mesin las digunakan untuk menyambung komponen rumah pompa yang terbuat dari material *stainless steel*.



Gambar 9. Mesin las listrik SMAW

- Pahat mesin perkakas

Pada proses pemesinan pahat potong adalah bagian yang tidak bisa dipisahkan dari mesin perkakas, penggunaan pahat potong disesuaikan dengan fungsi dan jenis pekerjaan dari mesin perkakas, pada pengerjaan komponen pompa, pahat yang digunakan yaitu pahat potong, pahat muka, pahat lurus/rata, pahat *drilling*, pahat *boring* dan pahat ulir dengan material pahat yaitu karbida.



Gambar 10. Pahat mesin perkakas

2. Pemotongan bahan

Untuk menghemat material dan waktu kerja pada saat pengerjaan bahan menggunakan mesin perkakas, terlebih dahulu bahan dilakukan pemotongan dengan ukuran material yang sesuai dengan kebutuhan dan diberikan toleransi kelebihan pemotongan sebesar 2-4 mm, ini dilakukan untuk menghindari kekurangan dimensi bahan karena gergaji mesin yang digunakan tidak presisi, proses pemotongan dilakukan menggunakan gergaji mesin yaitu untuk material pompa yang berbentuk silinder dan poros pejal seperti bahan silinder pompa, batang pompa, katup pompa, penutup silinder pompa dan material rumah pompa. Selain pemotongan material menggunakan gergaji mesin, pemotongan juga dilakukan menggunakan mesin gerinda duduk yaitu untuk material yang berbentuk pelat lembaran seperti bahan untuk penahan katup bawah.



Gambar 11. Proses pemotongan bahan

3. Persiapan material benda kerja

Persiapan material benda kerja tujuannya untuk mengurutkan komponen-komponen mana yang akan dikerjakan terlebih dahulu. Selanjutnya akan ditentukan urutan pekerjaan alat mana yang terlebih dahulu akan diproduksi.

- Menyiapkan material untuk silinder pompa

Silinder pompa dibuat dari material perunggu dengan dimensi awal yaitu diameter luar 65 mm, diameter dalam 42 mm dan panjang 200 mm. Silinder pompa merupakan komponen utama dari pompa air model piston.



Gambar 12. Material silinder pompa

- Menyiapkan material untuk penutup silinder pompa

Penutup atas silinder pompa dibuat dari material kuningan dengan dimensi awal yaitu diameter 69,85 mm dan panjang 65 mm sedangkan dimensi awal untuk penutup bawah silinder pompa yaitu diameter 69,85 mm dan panjang 55 mm, selain sebagai penutup bawah bahan ini juga nantinya berfungsi sebagai dudukan penahan katup dan dudukan katup bawah yang bekerja untuk mengatur aliran air yang akan masuk ke bagian bawah silinder pompa.



Gambar 13. Materil penutup silinder pompa

- Menyiapkan material untuk rakitan piston pompa

Rakitan piston pompa terbuat dari material kuningan yang berbentuk silinder pejal dengan diameter 44,5 mm dan panjang 56 mm. Bahan ini berjumlah dua batang, masing- masing yaitu untuk piston atas dan untuk piston bawah.



Gambar 14. Material piston pompa

- Menyiapkan material untuk batang piston dan mur

Batang piston pompa terbuat dari gabungan dua bagian material kuningan dengan dimensi awal untuk batang pompa yaitu diameter 10 mm dan panjang 500 mm sedangkan untuk mur batang pompa adalah kuningan hexagon dengan dimensi awal yaitu diameter 16 mm panjang 45 mm.



Gambar 15. Material batang piston dan mur pompa

4. Pembuatan komponen pompa

Setelah menyiapkan peralatan kerja, pemotongan benda kerja dan menyiapkan benda kerja, langkah selanjutnya yaitu melakukan proses pengerjaan benda kerja. Pembuatan komponen pompa menggunakan mesin perkakas, amplas gosok, kikir dan tap tangan (alat yang digunakan untuk pembuatan ulir dalam).

Tabel 3. Pembuatan komponen pompa air *positive displacement*

No	Nama part	Material part	Mesin perkakas yang digunakan	Nama proses	Material pahat	Hasil proses pembuatan
1	Silinder pompa	Perunggu	Mesin bubut	Bubut muka, bubut <i>boring</i> , bubut lurus, bubut ulir, bubut <i>chamfer</i> dan proses <i>finishing</i> menggunakan kikir dan kertas gosok (amplas)	Karbida	
2	Tutup atas silinder pompa	Kuningan	Mesin bubut	Bubut muka, bubut <i>drilling</i> , bubut <i>boring</i> , bubut lurus, bubut ulir, bubut	Karbida	

				<p><i>chamfer</i> dan proses <i>finishing</i> menggunakan kikir dan kertas gosok (amplas)</p>		
3	Tutup bawah silinder pompa	Kuningan	Mesin bubut	<p>Bubut muka, bubut drilling, bubut <i>boring</i>, bubut lurus, bubut ulir, bubut <i>chamfer</i> dan proses <i>finishing</i> menggunakan kikir dan kertas gosok (amplas)</p>	Karbida	
4	Piston bawah	Kuningan	Mesin bubut dan gurdi	<p>Bubut muka, bubut lurus, bubut drilling, bubut <i>boring</i>, membentuk celah (mesin gurdi), membuat ulir dalam menggunakan tap dan proses <i>finishing</i> menggunakan kikir dan kertas gosok (amplas).</p>	Karbida	
5	Piston atas	Kuningan	Mesin bubut dan gurdi	<p>Bubut muka, bubut lurus, bubut drilling, bubut <i>boring</i>, membentuk celah dan menggunakan kikir dan kertas gosok (amplas)</p>	Karbida	

6	Batang pompa, mur pengunci dan mur sambungan	Kuningan	Mesin bubut	Bubut muka, bubut drilling, bubut ulir batang piston, membuat ulir dalam mur dengan tap dan proses <i>Finishing</i> menggunakan kikir dan kertas gosok (amplas)	Karbida	
7	Penahan katup bawah	Kuningan	Mesin bubut dan gurdi	Bubut muka, membuat lubang x 4, <i>boring</i> x 4, bubut ulir luar dan <i>Finishing</i> menggunakan kikir dan kertas gosok (amplas)	Karbida	

Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dibuat pompa air model piston (*pompa air positive displacement*) dengan penggerak turbin angin sudu jamak, diameter silinder pompa 50,80 mm, panjang langkah pompa 127 mm. Dari proses pembuatan pompa air model piston berpengerak turbin angin sudu jamak, menghasilkan 12 komponen yaitu: Silinder pompa, penutup atas silinder pompa, penutup bawah silinder pompa, piston atas pompa, piston bawah pompa, batang piston, mur atas batang piston, mur bawah batang piston dan penahan katup bawah. Selanjutnya tiga komponen lain dibuat pada bengkel produksi yang berbeda, yaitu: katup piston, katup bawah dan seal piston, komponen ini dibuat menggunakan metode pengecoran (*casting*).

Daftar Pustaka

[1] A. Hidayat, dan Mietra Anggara, Perancangan Pompa Air *Positive Displacement* yang Digerakkan Oleh Turbin Angin Sudu Jamak, *Jurnal Flywheel*. 12 (2022) 38-42.

[2] Meel, Joop. Van, dan Paul Smulders. (1952): Wind pumping A Handbook. Washington, D.C.: The World Bank.

[3] Dijk, H.J. Van, dan P.D. Goedhart. (1987): Windpump For Irrigation. The Netherlands: Consultancy Services Wind Energi Developing Countries.

[4] E. H. Lysen, (1983): Introduction to Wind Energi. The Netherlands: Consultancy Services Wind Energi Developing Countries.

[5] G. Pahl, dan W. Beitz. (2007): Engineering Design A Systematic Approach Third Edition. Berlin: Springer.