

Rancang Bangun Alat Pencuci untuk Kompresor Mesin Arriel 1S1 pada Helikopter Sikorsky S-76 Di PT. XYZ

Sanggam Tuani Silalahi*, Tri Susilo, Aprilia Sakti K.

Prodi Teknik Penerbangan, Fakultas Teknologi Kedirgantaraan, Universitas Suryadarma
Komplek Bandara Halim Perdanakusuma, Jakarta 13610, Indonesia

*Corresponding Author: sanggam.tuani@gmail.com

Abstrak – Sebagai perusahaan penyewaan helikopter, PT. XYZ diwajibkan melaksanakan *positioning flight* ke berbagai tempat/ bandar udara. Mayoritas konsumen PT. XYZ adalah perusahaan yang bergerak di bidang industri minyak bumi dan gas yang beroperasi di *remote area*. Dalam melaksanakan *positioning flight* ke *remote area* memerlukan waktu beberapa hari karena jarak yang jauh dan daya jelajah yang terbatas dari helikopter Sikorsky S-76 dan juga melewati atmosfer korosif. Pada panduan perawatan mesin Arriel 1S1, jika mesin beroperasi di kondisi atmosfer korosif diharuskan melaksanakan perawatan *rinsing* pada mesin setelah penerbangan terakhir pada hari tersebut. PT. XYZ harus mempersiapkan alat pencuci kompresor untuk mesin di beberapa bandar udara tempat helikopter bermalam. Hal ini menyebabkan biaya tambahan untuk penyewaan maupun pengiriman alat tersebut. Tujuan dirancangnya alat pencuci untuk kompresor mesin adalah: untuk mengurangi biaya tambahan penerbangan dari penyediaan alat tersebut. Hasil perhitungan: dibutuhkan tangki stainless steel 304 dengan ketebalan 1,5 mm, pipa flexible PVC dengan ketebalan 2,75 mm dan pompa torak diaphragm (memiliki kemampuan *self-priming*) dengan daya 60 watt (12 vdc, 5 A)

Kata kunci: Alat pencuci, Kompresor, Arriel 1S1, Sikorsky S-76

Abstract – As a air charter company, PT. XYZ required to carry out *positioning flights* to different places/ airports. The majority of PT. XYZ consumers are oil and gas company which operating in *remote areas*. Performing *positioning flight* to the *remote areas* take several days because of the distance, Sikorsky S-76 helicopter endurance and also passes the saline atmosphere. In the Arriel 1S1 engine maintenance manual, if the engine is operated in a saline atmosphere required to carry out engine *rinsing* after the last flight of the day. PT. XYZ must prepare engine compressor washer in some airports where the helicopter remain overnight. This leads to additional costs for rent and delivery of the equipment. The purpose of designed engine compressor washer are: to reduce the additional costs from the provision of the equipment. The results of calculations: it needs stainless steel 304 tank with a thickness of 1.5 mm, flexible PVC pipe with a thickness of 2.75 mm and the piston diaphragm pump (has the ability to *self-priming*) with a power of 60 watts (12 vdc, 5 A)

Keywords: Compressor Washers, Arriel 1S1, Sikorsky S-76

I. PENDAHULUAN

Rinsing adalah pembersihan secara singkat untuk menghilangkan sebagian korosi atau deposit garam yang berada di jalur udara pada mesin setelah beroperasi pada atmosfer korosif atau bergaram, sedangkan *washing* bertujuan untuk menghilangkan korosi dan deposit garam secara khusus dengan menggunakan produk yang pada dasarnya berupa pelarut (*solvent/solubilizing liquid*).

Berdasarkan panduan perawatan mesin Arriel 1S1 (rev. Oct. 30/2015) jika mesin beroperasi di atmosfer korosif atau bergaram: *rinsing* dilakukan secara harian setelah penerbangan terakhir pada hari tersebut, jika mesin beroperasi di atmosfer yang terkontaminasi: *washing* dilakukan secara harian setelah penerbangan terakhir pada hari tersebut dan jika mesin beroperasi di atmosfer berpasir: *rinsing* dilakukan secara harian setelah penerbangan terakhir (untuk mesin yang tidak dilengkapi penyaring pasir), *washing* dilakukan secara mingguan atau setiap 25 jam terbang.

Secara sederhana, pelaksanaan *rinsing* dilakukan dengan menyemprotkan air ke kompresor mesin dan *washing* dilakukan dengan menyemprotkan campuran air dan *washing product* ke kompresor mesin. Diperlukan peralatan pencuci kompresor (*engine compressor washer*) untuk melaksanakan perawatan ini. Peralatan pencuci kompresor yang dimiliki PT. XYZ memiliki ukuran 84 cm x 74 cm x 132 cm dan berat 69 kg, kekurangan pada alat ini adalah tidak mudah untuk di bawa (tidak masuk ke dalam kompartemen bagasi helikopter Sikorsky S-76) dan tidak dilengkapi dengan *flow meter* untuk mengawasi debit aliran fluida yang disemprotkan ke mesin. Debit aliran yang dipersyaratkan adalah 2-3 liter per menit untuk *rinsing* dan *washing* pada *running turboshaft engine*. Pembatasan debit aliran bertujuan untuk mencegah terjadinya *engine flame out* dan getaran yang berlebih.

Positioning flight helikopter dari basis (hangar utama PT. XYZ, Bandar Udara Halim Perdanakusuma, Jakarta) menuju *remote area* memerlukan waktu beberapa hari dikarenakan jarak yang

jauh dan daya jelajah yang terbatas. Helikopter akan tinggal untuk bermalam (*remain over night: RON*) di beberapa bandar udara sebelum sampai ke tujuan. Ketersediaan alat pencuci kompresor diperlukan pada bandar udara dimana helikopter akan bermalam, penyediaan peralatan ini menjadi biaya tambahan dalam operasional penerbangan helikopter.

Pada saat beroperasi di *remote area* dengan kondisi atmosfer korosif atau bergaram, berdasarkan panduan perawatan mesin Arriel 1S1 (rev. Oct. 30/2015) kondisi atmosfer korosif atau bergaram adalah kondisi jika beroperasi di atas air laut pada ketinggian kurang dari 305 meter atau di daerah kurang dari 5 km dari air laut, proses pengiriman peralatan perawatan helikopter dari basis menuju *remote area* membutuhkan waktu yang relatif lama. Peralatan pengganti yang mudah dibawa-bawa menjadi solusi untuk mengatasi waktu pengiriman yang relatif lama. Peralatan tersebut harus memiliki spesifikasi yang dipersyaratkan pada panduan perawatan mesin Arriel 1S1 dan dapat dibawa pada penerbangan (di dalam kompartemen bagasi dan menjadi *fly away kit*) helikopter sehingga setelah penerbangan terakhir pada hari tersebut, peralatan untuk melaksanakan perawatan *rinsing* tersedia.

Pada penyewaan helikopter dengan durasi yang pendek misalnya untuk kegiatan transportasi angkut VIP, evakuasi medis dan pariwisata yang mengharuskan terbang menyeberangi lautan (atmosfer bergaram), biaya penyediaan alat pencuci kompresor dapat dihindari dengan adanya peralatan yang mudah dibawa-bawa.

Kegagalan dalam melaksanakan tindakan perawatan *rinsing*, dapat menyebabkan korosi pada material dan penurunan performa *engine* karena deposit yang terbentuk. Diperlukan perancangan alat pencuci untuk kompresor mesin Arriel 1S1 pada helikopter Sikorsky S-76 di PT. XYZ.

II. METODOLOGI PERANCANGAN

2.1 Spesifikasi yang Diinginkan

Spesifikasi yang diinginkan dalam perancangan ini berdasarkan kebutuhan

pelaksanaan perawatan *rinsing on running turboshaft engine* Arriel 1S1 71-01-01-110-801-A01 (rev. Oct. 30/2015) dan berdasarkan latar belakang perancangan.

2.2 Konsep Rancangan

Rancangan ini dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan peralatan pencuci untuk kompresor mesin Arriel 1S1 pada pelaksanaan perawatan *rinsing* dan *washing*. Rancangan ini diharapkan mampu mengalirkan air atau campuran air dan *washing product* ke mesin sesuai dengan panduan perawatan mesin Arriel 1S1 (rev. Oct. 30/2015).

Prinsip kerja rancangan ini, air atau campuran air dan *washing product* yang berada di tangki akan dihisap pompa, selanjutnya air atau campuran air dan *washing product* akan dialirkan pompa menuju katup pengatur aliran. Katup pengatur aliran dilengkapi dengan *strainer* (saringan) untuk menyaring kotoran padat pada aliran sehingga aliran yang akan diproses atau hasil proses lebih baik mutunya. Debit aliran air atau campuran air dan *washing product* akan diukur menggunakan *flowmeter*. Pengukuran bertujuan untuk memantau debit aliran air atau campuran air dan *washing product* ketika dialirkan ke *running turboshaft engine*.

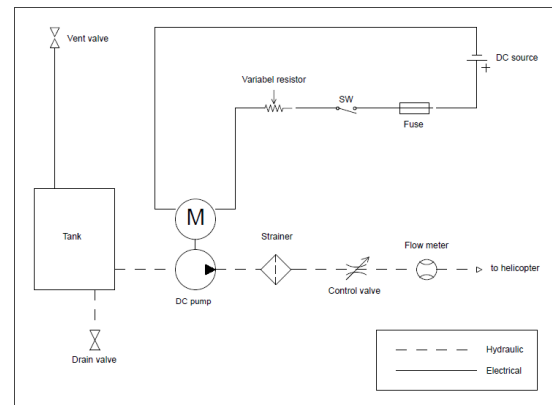
Debit aliran yang diinginkan adalah 2-3 liter per menit. Jika debit aliran melebihi yang diinginkan, dilakukan pengaturan debit aliran dengan mengatur kecepatan putar motor listrik pemutar pompa menggunakan *variable resistor* atau dapat juga dilakukan dengan mengatur bukaan katup pengatur aliran. Aliran ini dihubungkan ke pipa *compressor wash* pada helikopter.

Rancangan ini juga diharapkan dapat beroperasi menggunakan udara bertekanan (sebagai pertimbangan untuk kebutuhan yang akan datang) untuk mengalirkan air atau campuran air dan *washing product* menuju mesin. Hal ini dilakukan pada saat melaksanakan *engine rinsing* atau *washing* dengan cara *cranking*. Tangki dihubungkan dengan sumber udara bertekanan, tekanan yang diinginkan adalah 500 kPa. Untuk mengatur nilai tekanan udara yang menuju/ pada tangki, tangki dilengkapi

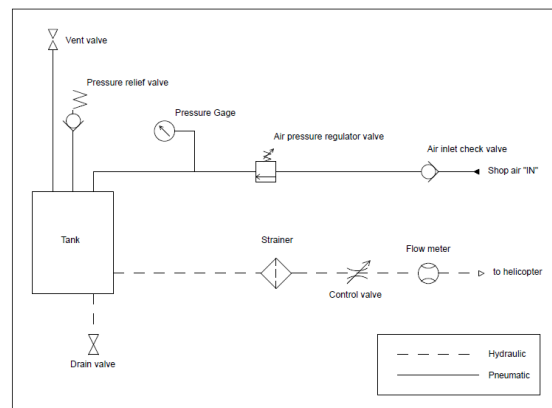
dengan katup pengatur tekanan. Tangki juga dilengkapi dengan katup *relief* sebagai katup pengaman tekanan udara apabila tekanan melebihi tekanan desain tangki. Aliran air atau campuran air dan *washing product* dihubungkan ke pipa *compressor wash* pada helikopter.

2.3 Gambar Skema Awal

Skema perancangan dibagi atas dua sistem: listrik dan pneumatik. Listrik (sumber tenaga untuk memutar pompa) digunakan pada saat melaksanakan *engine rinsing* atau *cleaning* dengan *on running turboshaft engine*, sedangkan pneumatik digunakan pada saat melaksanakan *engine rinsing* atau *cleaning* dengan *cranking*. Skema perancangan:



Gambar 2.1 Skema perancangan awal (listrik)



Gambar 2.2 Skema perancangan awal (pneumatik)

III. PERHITUNGAN RANCANGAN

3.1 Data Awal Rancangan

Adapun data awal rancangan, berdasarkan ukuran kompartemen bagasi helikopter Sikorsky S-76 dan panduan

perawatan mesin Arriel 1S1 (rev. Oct. 30/2015):

Tabel 3.1 Data awal rancangan

Data	Nilai yang diinginkan
Tinggi tangki	400 mm
Diameter tangki	250 mm
Tekanan maksimum tangki	500 kPa
Tinggi maksimum rancangan	736,6 mm
Temperatur operasi maksimum	40 °C
Berat maksimum rancangan	50 kg
Debit aliran	2-3 lpm
Panjang pipa sisi tekan	3 m
Panjang pipa sisi hisap	0,45 m

3.2 Cairan yang Dialirkan

Cairan yang dialirkan adalah cairan yang dipersyaratkan pada panduan perawatan mesin Arriel 1S1 (rev. Oct. 30/2015) yaitu air, *anti-icer product* dan *washing product*.

Tabel 3.2 Cairan untuk *rinsing*

	Recommended products (Approved)	Substitutes (Authorized use)
<i>Anti-icer product</i>	Refer to Task 71-00-02-940-801	
Water quality	Distilled water Demineralized water/ deionized water	Minimum quality water

Tabel 3.3 Cairan untuk *washing*

	Recommended products (Approved)	Substitutes (Authorized use)
<i>Washing product</i>	Refer to Task 71-00-02-940-801	
<i>Anti-icer product</i>	Refer to Task 71-00-02-940-801	
Water quality	Distilled water Demineralized water/ deionized water	Minimum quality water

Komposisi campuran antara air, *anti-icer product* dan *washing product* adalah:

Tabel 3.4 Rasio campuran untuk *rinsing*

T0	<i>Anti-icer product</i> , % v/v	Water, % v/v
T0 ≥ 5 °C (41 °F)	0	100
5 °C > T0 - 8 °C (17,6 °F)	18	82
-8 °C ≥ T0 ≥ -24 °C (11,2 °F)	33	67

Tabel 3.5 Rasio campuran untuk *washing*

T0	<i>Anti-icer product</i> , % v/v	<i>Washing product</i> , % v/v	Water, % v/v
T0 ≥ 5 °C (41 °F)	0	2	98
5 °C > T0 - 8 °C (17,6 °F)	18	2	80
-8 °C ≥ T0 ≥ -24 °C (11,2 °F)	33	2	65

Berdasarkan tabel 3.4 dan 3.5, *anti-icer product* digunakan pada temperatur ≥ 5 °C. PT. XYZ merupakan perusahaan penyewaan helikopter yang beroperasi di Indonesia. Berdasarkan data Stasiun Pengamatan BMKG dari tahun 2000-2013 suhu terendah di Indonesia adalah 14,4 °C (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, 2016) dan Yunus S. Swarinoto, Deputi Bidang Meteorologi Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika di Indonesia mengatakan suhu rata-rata di Indonesia saat ini sudah 32-36 °C (Utomo, 2016) sehingga cairan *anti-icer product* tidak digunakan.

Washing product yang dimaksud pada Task 71-00-02-940-801 adalah:

Tabel 3.6 *Washing product*

Washing	Suppliers
APPROVED PRODUCTS (RECOMMENDED)	
ARDROX 6367 (TURBO CLEAN 2)	CHEMETALL
TURCOJET WASH K3	TURCO
ZOK 27	AIRWORTHY Ltd. GB
PRODUCT AUTHORIZED FOR USE (ALTERNATIVE)	
ARDROX 6783-50	CHEMETALL
TURCO 4217	TURCO

Sejak tahun 2007, *washing product* yang digunakan oleh PT. XYZ adalah ZOK 27. Sehingga, pada rancangan ini cairan yang akan dialirkan adalah air dan ZOK 27. Adapun data mengenai cairan tersebut adalah:

Tabel 3.7 Data teknis cairan yang dialirkan

	ZOK 27
Composition	Blend of non ionic surfactants, corrosion inhibitors, organic solvents and demineralised water
Appearance	Clear pale straw coloured liquid with a mild, pleasant odour

Storage	Non flammable
pH	pH (concentrated solution): 7,2-7,5
Specific gravity	1,01

3.3 Perancangan Tangki

Perancangan ukuran tangki didasari dengan volume campuran air dan ZOK 27 yang diperlukan dalam pelaksanaan *engine rinsing* yaitu 12 liter dan kekuatan tangki berdasarkan perencanaan kebutuhan yang akan datang dimana untuk mengalirkan air dan ZOK 27 menggunakan udara bertekanan.

Stainless steel merupakan material yang memiliki ketahanan terhadap korosi, kekuatan dan karakteristik fabrikasi yang baik. Pemilihan *stainless steel* yang sesuai berarti mempertimbangkan empat elemen: (1) ketahanan korosi, (2) sifat mekanikal, (3) operasi fabrikasi dan (4) biaya total.

Tipe 304 melayani berbagai macam aplikasi, biasanya menahan karat pada arsitektur, tahan pada lingkungan pengolahan makanan (kecuali kemungkinan kondisi temperatur tinggi yang melibatkan kandungan asam dan khlorida yang tinggi), tahan pada zat kimia organik, zat pewarna, dan berbagai macam zat kimia anorganik.

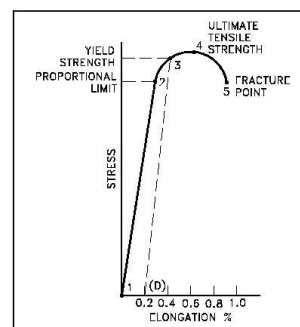
Material yang digunakan pada tangki untuk perancangan ini adalah *stainless steel* tipe 304 karena ketahanannya terhadap korosi (memiliki kandungan karbon yang rendah sehingga memiliki ketahanan korosi yang baik pada fabrikasi las), karakteristiknya yang serba guna dan banyak tersedia di pasaran. *Stainless steel* tipe 304 termasuk ke dalam golongan *austentic* dan komposisinya adalah 18% *chromium* dan 8% *nickel* (Institute, n.d.).

Tabel 3.8 Sifat khas material *stainless steel* 304 (Institute, n.d.)

	Chemical analysis, %
C – carbon	0,08
Mn – manganese	2,00
P – phosphorus	0,045
S – sulphur	0,030
Si – silicon	1,00
Cr – chromium	18,00/20,00
Ni – nickel	8,00/10,50
Nominal mechanical properties	
Tensile strength	579 MPa
Yield strength	290 MPa
Elongation	55 %

Ductility merupakan sifat mekanik bahan yang menunjukkan derajat deformasi plastis yang terjadi sebelum suatu bahan putus atau gagal pada uji tarik. Bahan disebut lentur (*ductile*) bila regangan plastis yang terjadi sebelum putus lebih dari 5%, bila kurang dari itu suatu bahan disebut getas (*brittle*).

Pada titik nol sampai batas proporsional, tegangan berbanding lurus dengan regangan dan membentuk garis lurus yang curam (semakin curam garis maka semakin kaku materialnya). Pada titik nol sampai *yield point* merupakan daerah elastis. Pada titik *yield* material akan mengalami pertambahan regangan tanpa disertai penambahan beban.



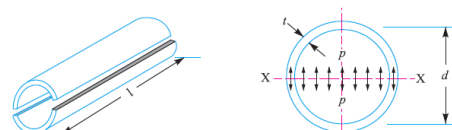
Gambar 3.1 Contoh diagram tegangan regangan

3.3.1 Ketebalan dinding tangki

Perhitungan tebal dinding tangki menggunakan persamaan silinder dinding tipis (tebal dinding tangki kurang dari 1/10 diameter tangki). Analisis tegangan pada silinder dinding tipis dilakukan dengan asumsi sebagai berikut:

- Pengaruh kelengkungan dinding silinder diabaikan.
- Tegangan tarik (*tensile stresses*) didistribusikan seragam pada dinding silinder.
- Pengaruh gaya tahan (akibat tekanan pada tangki) pada kepala silinder diabaikan.

Berdasarkan *circumferential* atau *hoop stress*:



Gambar 3.2 Tegangan keliling

dimana

- p = tekanan di dalam tangki, 500 kPa
- d = diameter dalam tangki, 247 mm
- l = panjang tangki, 400 mm
- σ_{t1} = circumferential atau hoop stress material tangki, 290 MPa (tensile stress yang bekerja dalam arah tangensial. Pada ductile material, nilai circumferential stress di dapat dari yield point stress)

Pada tangki bertekanan, *factor of safety* minimum adalah 5 (Khurmi & Gupta, 2005).

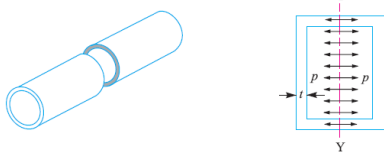
Total gaya pada bagian longitudinal (X – X) pada tangki

dan gaya tahanan total pada dinding tangki

dari persamaan (4-1) dan (4-2),

$$\begin{aligned}
 p \cdot d \cdot l &= \sigma_{t1} \cdot 2t \cdot l \\
 t &= \frac{p \cdot d}{2 \cdot \sigma_{t1}} \\
 &= \frac{0,5 \cdot 247}{2 \cdot 58} \frac{\frac{N}{mm^2} \cdot mm}{\frac{N}{mm^2}} \\
 &= 1,065 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan longitudinal stress:



Gambar 3.3 Tegangan longitudinal

dimana

- σ_{t2} = longitudinal stress, 579 MPa (tensile stress yang bekerja melintang atau melingkar pada Y – Y)

Total gaya pada bagian transversal (Y – Y) pada tangki

$$= p \cdot \frac{\pi}{4} (d)^2 \quad (3-3)$$

dan gaya tahanan total pada dinding tangki

$$= \sigma_{t2} \cdot \pi \cdot d \cdot t \quad (3-4)$$

dari persamaan (3-3) dan (3-2),

$$\begin{aligned}
 p \cdot \frac{\pi}{4} (d)^2 &= \sigma_{t2} \cdot \pi \cdot d \cdot t \\
 t &= \frac{p \cdot d}{4 \cdot \sigma_{t2}} \\
 &= \frac{0,5 \cdot 247}{4 \cdot 115,8} \frac{\frac{N}{mm^2} \cdot mm}{\frac{N}{mm^2}} \\
 &= 0,267 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

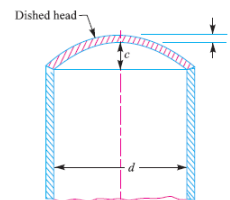
Setelah dilakukan perhitungan dan ketersediaan pipa di pasaran, dipilih tebal dinding tangki 1,5 mm, sehingga tekanan maksimum tangki:

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{p \cdot d}{2 \cdot \sigma_{t1}} = p \cdot d \cdot l \\
 1,5 &= \frac{p \cdot 247}{2 \cdot 58} \frac{\frac{N}{mm^2} \cdot mm}{\frac{N}{mm^2}} \\
 p &= 0,704 \frac{N}{mm^2} = \sigma_{t1} \cdot 2t \cdot l
 \end{aligned}$$

3.3.2 Ketebalan kepala tangki

Distribusi tegangan pada kepala silinder bersifat kompleks, karena itu pendekatan empiris berdasarkan karya Grashof dan Barch digunakan pada perancangan kepala silinder.

Jika kepala tangki berbentuk dished dan integral (dilas)



Gambar 3.4 Kepala tangki dished integral (dilas)

dimana

- p = tekanan di dalam tangki, 500 kPa
- d = diameter tangki, 247 mm
- σ_t = tensile strength, 579 MPa
- c = radius lengkungan kepala tangki, 25 mm

Ketebalan kepala pada tangki

$$\begin{aligned}
 t_1 &= \frac{p (d^2 + 4c^2)}{16 \sigma_t \cdot c} \\
 &= \frac{0,5 (247^2 + 4 \cdot 25^2)}{16 \cdot 115,8 \cdot 25} \frac{\frac{N}{mm^2} \cdot mm^2}{\frac{N}{mm^2} \cdot mm} \\
 &= 0,686 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan dan ketersediaan pipa di pasaran, dipilih tebal kepala tangki adalah 1,5 mm.

3.3.3 Data tangki

Setelah melakukan perhitungan, disimpulkan data tangki yang digunakan pada perancangan ini:

Tabel 3.9 Hasil perhitungan dan rancangan tangki

	Hasil perhitungan	Data rancangan
Material	Stainless steel 304	Stainless steel 304
Ketebalan dinding, t	1,065 mm	1,5 mm
Ketebalan kepala, t_1	0,686 mm	1,5 mm
Radius lengkungan kepala tangki, c	25 mm	25 mm
Diameter dalam tangki, d	247 mm	247 mm
Diameter luar tangki, D	250 mm	250 mm
Panjang tangki, l	400 mm	400 mm
Tekanan maksimum di dalam tangki, p	500 kPa	704 kPa

3.4 Pemilihan Pipa

Kebutuhan desain dan parameter sistem air dikembangkan pada penjelasan sistem, diagram instrumen dan perpipaan, penjelasan tiap-tiap komponen (pompa, katup, dll.), desain debit, kesejajaran katup, operasi katup kontrol dan ukuran pipa. Ukuran pipa ditentukan dengan mengevaluasi kecepatan air pada sistem.

3.4.1 Material pipa

Pemilihan pipa berdasarkan kriteria yang diinginkan pada pipa, yaitu:

Tabel 3.10 Kriteria pipa yang diinginkan

Kriteria	Spesifikasi
Tahan terhadap pelarut organik, dapat mengalirkan air	pH \leq 7,5
Hambatan alir rendah	-
Tahan korosi (internal dan eksternal)	-
Ringan dan fleksibel	-
Mampu menahan tekanan desain	\leq 500 kPa
Mampu menahan temperatur desain	\leq 40 °C

Perhitungan kehilangan tekanan akibat gesekan pada permukaan basah pipa dapat dihitung melalui nilai kekasaran pipa. Nilai faktor kekasaran dinding pipa k :

Tabel 3.11 Faktor kekasaran dinding pipa (Joko, 2010)

Bahan	Nilai k (mm)
Pipa PVC	0,2
Pipa AC	0,25

Pipa Steel	0,50
Pipa baja yang telah tua dan berkarat	1-2

Material yang dipilih adalah *fleksible* PVC karena berdasarkan studi literatur, sifat dan spesifikasi pipa PVC sesuai dengan kriteria yang diinginkan.

3.4.2 Kecepatan alir

Pemilihan ukuran pipa melibatkan penentuan ukuran optimum. Ukuran optimum pipa tercapai jika jumlah dari biaya pemasangan dan pengoperasian adalah minimum. Menentukan ukuran pipa terdiri dari dua komponen dasar yaitu desain kecepatan alir dan bobot tekanan. Desain kecepatan alir menentukan diameter minimum pipa untuk mengalirkan air secara efisien. Bobot tekanan menentukan tebal dinding pipa untuk menahan tekanan internal dan eksternal.

Kecepatan tinggi akan mengakibatkan ukuran pipa lebih kecil dan kerugian tekanan lebih besar. Kebanyakan kecepatan yang tinggi mengakibatkan *noise*, getaran, dan erosi. Kerugian tekanan dapat dikurangi dengan memilih ukuran pipa yang lebih besar.

Terdapat beberapa referensi mengenai kecepatan alir air pada pipa:

- Untuk sistem perpipaan pada air, kecepatan yang diperbolehkan adalah pada kisaran 4-15 ft/s (Nayyar, 1992).
- Kecepatan desain sebaiknya: maksimum 1,5 m/s (5 ft/s), minimum 0,6 m/s (2 ft/s) (Saskatchewan Environment, 2004).
- Kecepatan dalam pipa pesat diambil 2-3 m/detik. Untuk pipa yang tidak begitu panjang, dan untuk pipa dengan H yang besar, kecepatan dapat diambil hingga maksimum 5 m/detik (Patty, 1994).
- Kecepatan alir diatas 3 ft/s membantu mencegah menumpuknya kotoran pada pipa, kecepatan diatas 10 ft/s dapat mengakibatkan erosi pada pipa dan merusak katup (Hammer & Hammer, Jr., 2012)

Pada perancangan ini kecepatan aliran air yang dipilih adalah 1 m/s (3,28 ft/s).

3.4.3 Diameter dalam pipa

Dimana

Q = debit aliran, 3 lpm

v = kecepatan aliran, 1m/s

Diameter pipa (D),

$$Q = \text{area} \cdot \text{velocity}$$

$$= \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot v$$

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{Q}{v}}$$

$$= 1,13 \sqrt{\frac{Q}{v}}$$

$$= 1,13 \sqrt{\frac{0,003}{60}} \sqrt{\frac{m^3/min}{m/min}}$$

$$= 7,99 \cdot 10^{-3} m \approx 8 mm$$

3.4.4 Tebal dinding pipa

Dimana

p = tekanan di dalam pipa, 500 kPa

σ_t = tensile strength fleksible PVC, 7,5 MPA

Tebal dinding pipa,

$$t = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \sigma_t}$$

$$= \frac{0,5 \cdot 8}{2 \cdot 1,5} \frac{N/mm^2 \cdot mm}{N/mm^2}$$

$$= 1,333 mm$$

3.4.5 Data pipa

Setelah dilakukan perhitungan dan ketersediaan pipa di pasaran, dipilih pipa yang digunakan adalah Togawa MEGA Sun Braid Hose. Data spesifikasi pipa:

Tabel 3.13 Hasil perhitungan dan pipa yang dipilih

	Hasil perhitungan	MEGA Sun Braid hose
Material	fleksible PVC	fleksible PVC
Diameter pipa, D	8 mm	8 mm
Tebal dinding pipa, t	1,333 mm	2,75 mm
Tekanan maksimum, p	500 kPa	1,4 MPa
Temperatur maksimum	40 °C	60 °C

3.5 Pemilihan Komponen Jadi







Dalam pemilihan komponen-komponen yang dibeli jadi terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi pemilihan komponen. Faktor-faktor penentu pemilihan yang paling penting biasanya adalah performa, aplikasi, geometri, lingkungan, keamanan dan komersial. Tidak semua faktor ini penting

pada setiap kasus desain, acuannya haruslah spesifikasi desain produk (Hurst, 2006). Pada perancangan ini faktor penentu pemilihan komponen yang dibeli jadi adalah material (tahan terhadap pH \geq 7,5) tekanan (500 kPa), dan temperatur (40 °C).

3.5.1 Pemilihan katup

Berdasarkan studi literatur dan ketersediaan di pasaran katup yang digunakan adalah:


Tabel 3.14 Katup yang digunakan pada rancangan


Katup	Material	Max. pres. s., MPa	Max. temp., °C	Keterangan
Hand held plastic body trigger valve	PVC	1	60	 JIANGNAN (S-02)
Ball valve	SS 316	6,895	65	 SANKYO (1000WOG) – 3/4"
Ball valve	Brass	0,69	150	 KIZZ Type 400 – 1/2"
Ball valve	Brass	1	200	 HATO – 1/4"
Pressure regulator	Alumini um Alloy	0,9	60	 XIN YANG AR 2000 – 1/4"
Relief valve	Brass	0,5	60	 F85 – 1/4"

3.5.2 Pemilihan instrumentasi

Penggunaan instrumen pada rancangan ini digunakan untuk mengetahui tekanan udara di dalam tangki dan debit aliran air yang dipompa/ ditekan menuju mesin. Instrumen yang digunakan adalah:

Tabel 3.15 Instrumen yang digunakan pada rancangan

Instrumen	Material	Max. pres. s., MPa	Max. temp., °C	Keterangan
Flow meter	Acrylic	1	65	 ASIAWATER FILTER MODEL G2 1-7 LPM

Pressure gage	Aluminium alloy	0,9	60	 XIN YANG 0-1 MPa
---------------	-----------------	-----	----	--

3.6 Pemilihan Pompa

Selama perancangan sistem pemompaan ada sejumlah elemen yang harus diperhatikan tanpa memandang kelas dan jenis pompa yang dipilih untuk instalasi tersebut. Elemen ini termasuk tinggi-tekan (*head*), kapasitas, sifat cairan yang dipompakan, pemipaan, penggerak dan ekonomi.

3.6.1 Aliran pada saluran pipa

Dimana

- D = diameter pipa, 8 mm
- ρ = kerapatan, 992,2 kg/m³
- μ = viskositas absolut, 0,653 · 10⁻³ kg/m.s
- ν = viskositas kinematis, 0,658 · 10⁻⁶ m²/s
- V = kecepatan rata-rata, 1 m/s
- k = kekasaran dinding, 0,2 mm

bilangan Reynolds,

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\mu} \\
 &= \frac{1 \cdot 0,008 \cdot 992,2}{0,653 \cdot 10^{-3}} \quad \frac{\frac{m}{s} \cdot m \cdot \frac{kg}{m^3}}{\frac{kg}{m \cdot s}} \\
 &= \frac{1 \cdot 0,008}{0,658 \cdot 10^{-6}} \quad \frac{\frac{m}{s} \cdot m}{\frac{m^2}{s}} \\
 &= 12158,055
 \end{aligned}$$

kekasaran relatif,

$$\begin{aligned}
 &= \frac{k}{D} \\
 &= \frac{0,2}{8} \quad \frac{mm}{mm} \\
 &= 0,025
 \end{aligned}$$

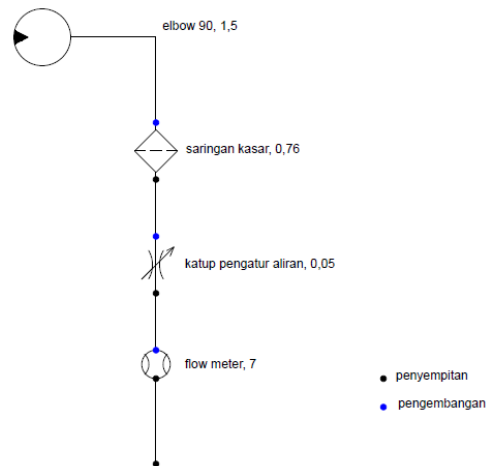
faktor gesek,

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{\sqrt{f}} &= -2 \log \left(\frac{k}{3,7 D} + \frac{5,1286}{Re^{0,89}} \right) \\
 &= -2 \log \left(\frac{0,2}{3,7(8)} + \frac{5,1286}{(12158,055)^{0,89}} \right) \quad \frac{mm}{mm} \\
 &= 4,199 \\
 f &= \sqrt{\frac{1}{4,199}} \\
 &= 0,488
 \end{aligned}$$

3.6.2 Kehilangan energi

Dimana

- f = faktor gesek, 0,488
- s = tebal saringan, 0,75 mm
- L = panjang pipa, 3 m
- D = diameter pipa, 8 mm
- V = kecepatan aliran, 1 m/s (diameter 8 mm)
- g = percepatan gravitasi, 9,8 m/s²
- ξ = koefisien kerugian minor pada elbow 90°, 1,5
- D_2 = 5 mm
- V_2 = kecepatan aliran, 2,604 m/s (diameter 5 mm)
- φ = koefisien kerugian minor pada saringan, 0,76
- D_3 = 15 mm
- V_3 = kecepatan aliran, 0,282 m/s
- K_v = *full open*, 0,05
- ξ = koefisien kerugian minor pada *water meter*, 7



Gambar 3.5 Kehilangan energi minor pada sisi tekan

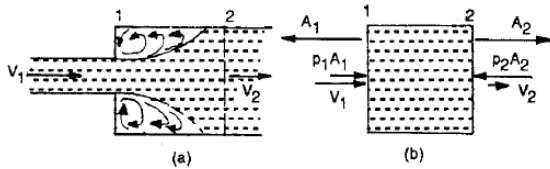
A. Sisi tekan

Kehilangan energi *major*,

$$\begin{aligned}
 h_f &= f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \\
 &= 0,488 \cdot \frac{3000}{8} \cdot \frac{(1)^2}{2 \cdot 9,8} \quad \frac{mm}{mm} \cdot \frac{\left(\frac{m}{s}\right)^2}{\frac{m}{s^2}} \\
 &= 9,337 m
 \end{aligned}$$

Kehilangan energi pada elbow,

$$\begin{aligned}
 H &= \xi \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \\
 &= 1,5 \cdot \frac{2,604^2}{2 \cdot 9,8} \quad \frac{\left(\frac{m}{s}\right)^2}{\frac{m}{s^2}} \\
 &= 0,519 m
 \end{aligned}$$

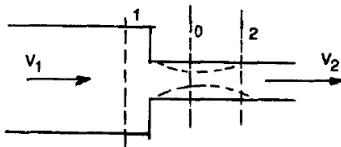


Gambar 3.6 Pengembangan tiba-tiba

$$A_2/A_1 = \frac{\pi (4)^2 \text{ mm}^2}{\pi (2,5)^2 \text{ mm}^2} = 2,56$$

Kehilangan energi akibat pengembangan,

$$\begin{aligned} H_e &= K_e \cdot \frac{V_2^2}{2g} \\ &= \left(\frac{A_2}{A_1} - 1\right)^2 \frac{V_2^2}{2g} \\ &= (2,56 - 1)^2 \cdot \frac{1^2}{2 \times 9,8} \cdot \frac{\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{\frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \\ &= 0,124 \text{ m} \end{aligned}$$



Gambar 3.7 Penyempitan tiba-tiba

dimana

$$D_2/D_1 = \frac{5 \text{ mm}}{8 \text{ mm}} = 0,625$$

K_c = koefisien kehilangan energi akibat penyempitan, 0,28

Kehilangan energi akibat penyempitan,

$$\begin{aligned} h_c &= K_c \cdot \frac{V_2^2}{2g} \\ &= 0,28 \cdot \frac{2,604^2}{2 \times 9,8} \cdot \frac{\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{\frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \\ &= 0,097 \text{ m} \end{aligned}$$

Kehilangan energi pada saringan,

$$\begin{aligned} \Delta h_r &= \varphi \left(\frac{s}{b}\right)^4 \cdot \frac{v^2}{2g} \sin \alpha \\ &= 0,76 \left(\frac{0,75}{0,75}\right)^4 \cdot \frac{0,282^2}{2 \cdot 9,8} \sin 90^\circ \cdot \frac{\text{mm}}{\text{mm}} \cdot \frac{\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{\frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \\ &= 0,003 \text{ m} \end{aligned}$$

Kehilangan energi pada katup,

$$\begin{aligned} H_v &= K_v \cdot \frac{V_2^2}{2g} \\ &= 0,05 \cdot \frac{0,282^2}{2 \cdot 9,8} \cdot \frac{\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{\frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \\ &= 0,0002 \text{ m} \end{aligned}$$

Kehilangan energi pada flow meter,

$$\begin{aligned} H &= \xi \cdot \frac{V_2^2}{2g} \\ &= 7 \cdot \frac{0,282^2}{2 \cdot 9,8} \cdot \frac{\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{\frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \end{aligned}$$

$$= 0,028 \text{ m}$$

Total kehilangan energi sisi tekan,

$$\begin{aligned} h_{fd} &= 9,337 + 0,519 + 3(0,124) + \\ &\quad 4(0,097) + 0,003 + 0,0002 + \\ &\quad 0,028 \\ &= 10,647 \text{ m} \end{aligned}$$

B. Sisi hisap

Dimana

f = faktor gesek, 0,488

L = panjang pipa, 0,45 m

D = diameter pipa, 8 mm

V = kecepatan aliran, 1 m/s

g = percepatan gravitasi, 9,8 m/s²

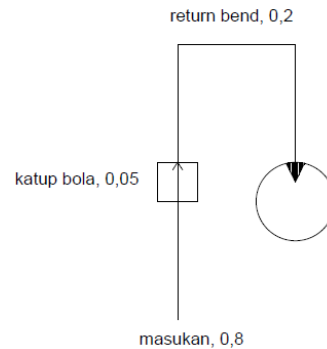
K_{en} = koefisien kehilangan head, 0,8

K_v = full open, 0,05

D_v = 15 mm

V_2 = kecepatan aliran, 0,282 m/s

ξ = koefisien kerugian minor pada return bend, flanged, 0,2



Gambar 3.8 Kehilangan energi minor pada sisi hisap

Kehilangan energi mayor,

$$\begin{aligned} h_f &= f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \\ &= 0,488 \cdot \frac{450}{8} \cdot \frac{(1)^2}{2 \cdot 9,8} \cdot \frac{\text{mm}}{\text{mm}} \cdot \frac{\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{\frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \\ &= 1,4 \text{ m} \end{aligned}$$

Kehilangan energi pada masukan pipa,

$$\begin{aligned} h_{en} &= K_{en} \cdot \frac{V_2^2}{2g} \\ &= 0,8 \cdot \frac{1^2}{2 \cdot 9,8} \cdot \frac{\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{\frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \\ &= 0,041 \text{ m} \end{aligned}$$

Kehilangan energi pada katup,

$$\begin{aligned} H_v &= K_v \cdot \frac{V_2^2}{2g} \\ &= 0,05 \cdot \frac{0,282^2}{2 \cdot 9,8} \cdot \frac{\left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{\frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \\ &= 0,0002 \text{ m} \end{aligned}$$

Kehilangan energi pada return bend,

$$\begin{aligned}
 H &= \xi \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \\
 &= 0,2 \cdot \frac{1^2}{2 \cdot 9,8} \cdot \left(\frac{m}{s}\right)^2 \\
 &= 0,01 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Total kehilangan energi sisi hisap,

$$\begin{aligned}
 h_{fs} &= 1,4 + 0,041 + 0,0002 + 0,01 \\
 &= 1,451 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3.6.3 Kapasitas

Kondisi-kondisi pekerjaan akan menentukan kapasitas yang dibutuhkan. Persyaratan utama sebuah pompa adalah bahwa mencakup pompa dapat mengalirkan jumlah cairan yang tepat ke tinggi-tekan yang ada pada sistem. Kapasitas yang dibutuhkan adalah 3 lpm. Pengendalian kapasitas dikendalikan dengan memvariasikan putaran pompa.

3.6.4 Tinggi-tekan total

Kolom air atau cairan lain di dalam pipa vertikal akan mengerjakan tekanan (gaya per satuan luas) pada permukaan mendatar bagian bawah pipa. Dimana,

h_{st} = head statis total, 3 m
 h_{fd} = kerugian head pada sisi tekan, 10,647 m
 h_{fs} = kerugian head pada sisi hisap, 1,451 m

head total pompa,

$$\begin{aligned}
 H &= h_{st} + h_{fd} + h_{fs} \\
 &= 3 + 10,647 + 1,451 \quad m + m + m \\
 &= 15,098 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3.6.5 Kondisi cairan

Tabel 3.15 dan 3.16 menyimpulkan pengalaman pabrik-pabrik dan pemakai pompa dengan berbagai bahan dan cairan (Hicks & Edward, 1971). Bahan-bahan yang disenaraikan merupakan bahan yang umum dipakai untuk berbagai bagian utama pompa, seperti rumah pompa, impeller dan silinder. Simbol B, pompa yang sebagian terdiri dari *brons* dan C, pompa serba besi.

Pada perancangan ini, perancang memilih pompa dengan pertimbangan dari produsen pompa untuk menghemat waktu

dan mendapatkan hasil yang lebih memuaskan.

Tabel 3.16 Penunjukan dan pemilihan bahan Hydraulic Institute (Hicks & Edward, 1971)

Cairan	Kondisi	Pemilihan bahan
Air, pengisi ketel	pH > 8,5	C
	Ph < 8,5	B

Tabel 3.17 Bahan-bahan pompa untuk berbagai cairan (Hicks & Edward, 1971)

Cairan pH	Jenis pompa yang sering dipilih
0 - 4	baja tahan karat
4 - 6	serba-brons
6 - 9	yang dilengkapi menurut standar
9 - 14	seba besi

3.6.6 Kelas dan jenis

Pompa torak merupakan unit perpindahan positif-pompa ini mengeluarkan cairan dalam jumlah yang terbatas selama pergerakan piston atau plunyer sepanjang langkahnya. Volume cairan yang dipindahkan selama satu langkah piston atau plunyer akan sama dengan perkalian luas piston dengan panjang langkah (Hicks & Edward, 1971).

Jenis pompa torak yang digunakan adalah diafragma. Pompa ini dipakai hanya untuk kapasitas yang lebih kecil. Pompa diafragma dipakai untuk aliran jernih atau yang mengandung bahan padat yang berkapasitas lebih besar. Pompa ini juga sesuai untuk bubur kertas yang kental, air selokan (*sewage*), *sludge*, larutan asam atau basa, dan campuran air dan bahan padat yang menyerupai pasir. Diafragma yang terbuat dari bahan bukan logam yang fleksibel akan lebih tahan terhadap korosi atau erosi dibandingkan dengan bagian logam beberapa pompa torak. Pompa semprot diafragma kecepatan tinggi dengan langkah yang pendek dilengkapi dengan katup-katup hisap dan buang jenis cakra didesain untuk memompakan bahan kimia.

Seperti pompa lainnya, pompa torak tidak akan menyedot cairan; pompa ini akan menurunkan tekanan di dalam ruangan hisap, dan tekanan luar, biasanya tekanan atmosfer, akan mendorong cairan ke dalam pompa.

Pemancangan Pompa

Pompa-pompa perpindahan positif-torak dan rotari bersifat mampu

memancing sendiri (*self-priming*) untuk tingkat-angkat hisap total kira-kira 28 ft bila dalam konsisi yang bagus (Hicks & Edward, 1971). Tetapi pada jaringan-jaringan hisap yang panjang, atau kondisi-kondisi tidak normal lainnya, pompa ini harus dipancing terlebih dahulu. Karena pompa sentrifugal tidak bersifat mampu memancing sendiri, beberapa pemancingan diperlukan untuk tinggi angkat hisap.

3.6.7 Masukan daya

Daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan pompa dari kelas dan jenis manapun. Dimana,

- P = masukan daya
- f = laju aliran cairan, 3 lpm (0,793 gpm)
- h = tinggi-tekan total pada pompa, 15,098 m
- SG = gravitasi spesifik cairan, 0,995
- e = efisiensi pompa diasumsikan, 0,70 (Sherwood & Whistance, 1991)
- p = tekanan tangki, 500 kPa (5,099 kg/cm²)

hubungan antara tekanan yang diinginkan dan *head* tekanan,

$$p = 0,1 \cdot h \cdot SG$$

$$5,099 = 0,1 \cdot h \cdot 0,995$$

$$h = 51,246 \text{ m}$$

$$h_{total} = 15,098 + 51,246$$

$$= 66,344 \text{ m (217,664 ft)}$$

tekanan pompa yang diinginkan,

$$p = 0,1 \cdot h \cdot SG$$

$$= 0,1 \cdot 66,344 \cdot 0,995$$

$$= 6,601 \text{ kg/cm}^2 \approx 93,889 \text{ psi}$$

3.6.8 Penggerak untuk pompa

Secara teori, perbandingan biaya energi pneumatik dibandingkan dengan biaya energi elektrik, hidrolis, dan manusia adalah sebagai berikut (Krist, 1979):
 pneumatik: elektrik = 10 (sampai 12):1
 pneumatik: hidrolis = 1,25:1
 pneumatik: tenaga manusia = 1:40 (sampai 50)
 elektrik: hidraulik = 1:8 (sampai 10)
 elektrik: tenaga manusia = 1:400 (sampai 500)

Pada rancangan ini elektrik menjadi pilihan sebagai penggerak untuk pompa.

Motor arus bolak-balik

Sementara kesederhanaan pada pengendalian dan pengoperasian mengharuskan pemakaian motor induksi kecepatan konstan yang disambung langsung, motor induksi rotor yang dibelit (*wound rotor induction motor*) mempunyai empat keuntungan: (1) pengendalian kecepatan dengan variasi kecepatan hingga 50 persen dari kecepatan penuh, 40 persen dari daya kuda ujinya; (2) momen gaya (*torque*) start yang besar pada KVA yang rendah untuk beban yang berat; (3) pembuangan kalor yang besar pada tahanan start, memungkinkan terjadinya kerugian *slip* (*slip loss*) yang besar selama pen-*start-an* tanpa membahayakan motor; dan (4) beban puncak yang teredam (*cushioned*) yang diberikan oleh operasi pada *slip* yang besar, memberikan efek roda penerus (*flywheel effect*) yang diinginkan pada beban puncak (Hicks & Edward, 1971).

Motor arus searah

Motor d-c dipakai bila pemakaian motor a-c tidak memuaskan. Motor-motor d-c suatu produk yang berharga mahal, khususnya untuk daya yang besar. Akan tetapi motor-motor d-c mudah diatur kecepatannya dan pengontrolan momen gaya (*torque*), akselerasi, dan perlambatannya sederhana dan efektif.

Penggerak yang dipilih pada perancangan ini, motor listrik arus searah dengan pertimbangan kesederhanaan pengaturan putaran motor. Jika pompa diputar oleh motor listrik yang memiliki efisiensi mekanikal, daya motor listrik yang diinginkan,

dimana

- P = masukan daya
- f = laju aliran cairan, 3 lpm (0,793 gpm)
- h = tinggi-tekan total pada pompa, 66,344 m (217,664 ft)
- s = gravitasi spesifik cairan, 0,995
- e_m = efisiensi motor diasumsikan, 0,8 (Sherwood & Whistance, 1991)
- p = tekanan air, 500 kPa (5,09858 kg/cm²)

daya motor listrik,

$$= \frac{GPM \cdot H \cdot SG}{5310 \cdot e \cdot e_m}$$

$$= \frac{0,793 \cdot 217,664 \cdot 0,995}{5310 \cdot 0,7 \cdot 0,8}$$

$$= 0,058 \text{ kW}$$

3.6.9 Data pompa

Pompa yang dipilih adalah XIAMEN YOUME ELECTRIC FL-3203, data dan spesifikasi pompa:

Tabel 3.18 Pompa yang diinginkan dan rekomendasi

Data yang diperlukan	Perhitungan	Rekomendasi pabrik
Kapasitas	> 3 lpm	5 lpm
Material	steel	stainless iron
Kelas dan jenis	torak, diafragma	torak, diafragma
Pemancingan pompa	self-priming	self-priming
Jenis zat cair	pH 7,5	pH 4 - 11
Temperatur kerja	40 °C	60 °C
Jumlah pompa	1	1
Penggerak	motor listrik arus searah	motor listrik arus searah
Sisi hisap	1,451 m	1,5 m
Sisi tekan	93,889 psi	100 psi
Daya penggerak	58 watt	60 watt (12 v, 5 A)

3.7 Pemilihan Komponen Kelistrikan

3.7.1 Kabel listrik

Material kabel

Material yang dipilih adalah material yang memiliki nilai resistansi yang rendah, mudah disambung, dan ekonomis. Berdasarkan studi literatur material yang dipilih adalah tembaga.

Ukuran kabel

Kabel diproduksi menurut standar yang dikenal sebagai AWG (*American Wire Gauge*). Pemilihan ukuran kabel yang digunakan berdasarkan kuat arus yang terjadi, *voltage drop* yang diperbolehkan, dan panjang kabel. Kuat arus pada motor listrik 5 A (diasumsikan 15 A, *factor of safety* = 3). *Voltage drop* yang diperbolehkan pada *voltage* 14 v adalah 0,5 (FAA, 2012). Panjang kabel 1,5 m (4,921 ft). Ukuran kabel yang direkomendasikan adalah AWG 18.

3.7.2 Data komponen kelistrikan

Adapun komponen kelistrikan yang digunakan pada rancangan ini adalah:

Tabel 3.19 Komponen kelistrikan pada rancangan

Komponen	Spesifikasi	Keterangan
Kabel	AWG 18	
Fuse	5 A	
Potensio	12 V, 15 A	
Saklar	6 A	

3.8 Uji Coba Rancangan

Percobaan dilakukan untuk menguji rancangan yang telah dirancang untuk mengetahui apakah spesifikasi yang diinginkan telah tercapai. Hasil percobaan:

Percobaan saklar, percobaan ini bertujuan untuk memastikan saklar berfungsi dengan baik. Saklar dikategorikan baik jika dapat memutuskan dan menghubungkan rangkaian listrik.

Tabel 3.20 Percobaan pengoperasian saklar

No	Input voltage	Posisi saklar	Output voltage	Penilaian
1	12 vdc	ON	12 vdc	Baik
2	12 vdc	OFF	0 vdc	Baik

data diambil pada 30 April 2016

Percobaan pada potensio, percobaan ini bertujuan untuk mengetahui *output voltage* yang dihasilkan oleh potensio berdasarkan putaran *wiper*.

Tabel 3.21 Percobaan pengoperasian potensio

No	Input voltage	Putaran	Output voltage
1	12 vdc	-	2,832 v
2	12 vdc	¼	4,911 v
3	12 vdc	½	7,58 v
4	12 vdc	¾	9,23 v
5	12 vdc	1	11,55 v

data diambil pada 30 April 2016

Percobaan tes kebocoran sederhana pada tangki, pada panduan perawatan mesin Arriel 1S1 (rev. Oct. 30/2015) jumlah cairan yang dialirkan untuk tiap mesin adalah 6 liter, dengan

debit aliran 2-3 lpm. Durasi lama cairan yang dialirkan dan tekanan yang akan ditahan oleh tangki adalah 6 menit (untuk dua mesin dengan debit aliran 2 lpm). Sehingga waktu minimum percobaan tes kebocoran sederhana 60 menit (*factor of safety* = 10). Penilaian dikategorikan baik jika tidak ada kebocoran baik cairan dan udara.

Tabel 3.22 Percobaan tes kebocoran pada tangki

No	Volume	Durasi	Tekanan		Penilaian
			Awal	Akhir	
1	10 liter	1 jam	-	-	Baik
2	20 liter	1 jam	-	-	Baik
3	12 liter	1 jam	100 kPa	100 kPa	Baik
4	12 liter	1 jam	200 kPa	200 kPa	Baik
5	12 liter	1 jam	300 kPa	300 kPa	Baik
6	12 liter	1 jam	400 kPa	400 kPa	Baik
7	12 liter	1 jam	500 kPa	500 kPa	Baik

data diambil pada 1 Mei 2016

Percobaan pengaruh *voltage* terhadap debit aliran, dimana debit aliran yang diinginkan adalah 2-3 lpm.

Tabel 3.23 Percobaan pengaruh *voltage* terhadap debit aliran

No	Input voltage	Posisi katup	Debit aliran	Penilaian
1	3 vdc	Full open	1 lpm	Tidak baik
2	4 vdc	Full open	1,5 lpm	Tidak baik
3	5 vdc	Full open	1,75 lpm	Tidak baik
4	6 vdc	Full open	2,25 lpm	Baik
5	7 vdc	Full open	2,75 lpm	Baik
6	8 vdc	Full open	3 lpm	Baik
7	9 vdc	Full open	3,5 lpm	Tidak baik
8	10 vdc	Full open	3,75 lpm	Tidak baik
9	11 vdc	Full open	4 lpm	Tidak baik
10	12 vdc	Full open	4,25 lpm	Tidak baik

data diambil pada 7 Mei 2016

Percobaan pengaruh *voltage* terhadap debit aliran dan kuat arus yang dihasilkan, dimana kuat arus dibatasi 5 A.

Tabel 3.24 Percobaan pengaruh *voltage* terhadap debit aliran dan kuat arus

No	Input voltage	Kuat arus	Debit aliran	Penilaian
1	3 vdc	1,16 A	-	Tidak baik
2	4 vdc	1,25 A	1,25 lpm	Tidak baik
3	5 vdc	1,33 A	1,5 lpm	Tidak baik

4	6 vdc	1,44 A	1,75 lpm	Tidak baik
5	7 vdc	1,56 A	2 lpm	Baik
6	8 vdc	1,78 A	2,5 lpm	Baik
7	9 vdc	1,94 A	2,75 lpm	Baik
8	10 vdc	2,12 A	3 lpm	Baik
9	11 vdc	2,22 A	3,25 lpm	Tidak baik
10	12 vdc	2,28 A	3,5 lpm	Tidak baik

data diambil pada 7 Mei 2016

Percobaan untuk mengetahui *voltage* yang dibutuhkan untuk mendapatkan debit aliran yang diinginkan

Tabel 3.25 Percobaan *voltage* yang dibutuhkan

No	Debit aliran	Kuat arus	Voltage
1	2 lpm	1,53 A	6,84 vdc
2	2,5 lpm	1,25 A	8,21 vdc
3	3 lpm	1,33 A	10,36 vdc

data diambil pada 7 Mei 2016

Percobaan untuk pengoperasian rancangan menggunakan pneumatik, mengetahui pengaruh tekanan terhadap debit aliran.

Tabel 3.26 Percobaan pengaruh tekanan terhadap debit aliran

No	Tekanan	Debit aliran	Penilaian
1	20 kPa	1 lpm	Tidak baik
2	40 kPa	1,5 lpm	Tidak baik
3	60 kPa	2 lpm	Baik
4	80 kPa	3 lpm	Baik
5	100 kPa	4 lpm	Baik
6	150 kPa	4,5 lpm	Baik
7	200 kPa	5,5 lpm	Baik
8	250 kPa	6,5 lpm	Baik
9	300 kPa	>7 lpm	Baik
10	350 kPa	>7 lpm	Baik
11	400 kPa	>7 lpm	Baik
12	450 kPa	>7 lpm	Baik
13	500 kPa	>7 lpm	Baik

data diambil pada 7 Mei 2016

3.8.1 Performa rancangan

Pada Bab III terdapat beberapa ketentuan performa yang diinginkan. Adapun hasil pengujian performa rancangan:

Tabel 3.27 Waktu instalasi rancangan

No	Kegiatan	Pengguna	Waktu	Total	Penilaian
Mode listrik					
1	Memasang pompa	1 orang	± 18 detik	110 detik	Baik
2	Memasang pipa	1 orang	± 37 detik		
3	Memasang konektor listrik	1 orang	± 55 detik		
Mode pneumatik					
4	Memasang pipa	1 orang	± 40 detik	40 detik	Baik

data diambil pada 14 Mei 2016

Tabel 4.28 Berat dan ukuran rancangan

Berat	10,22 kg
Ukuran	30 cm x 30 cm x 70 cm

data diambil pada 14 Mei 2016

Dari percobaan yang dilakukan, spesifikasi yang diinginkan tercapai, rancangan membutuhkan *voltage* 6-10 vdc/ 60-80 kPa untuk menghasilkan debit aliran 2-3 lpm dengan waktu instalasi \pm 2 menit dan berat 10,22 kg.

3.8.2 Spesifikasi akhir rancangan

Berdasarkan data komponen dan percobaan rancangan, spesifikasi akhir rancangan adalah:

Tabel 3.29 Spesifikasi akhir rancangan

	Rancangan	Alat PT. XYZ
Tangki	20 liter	27 liter
	704 kPa (102,107 psi)	125 psi
	Stainless steel 304	Stainless steel
Motor	12 vdc	n/a
	<i>Self priming</i>	n/a
Berat	10,22 kg	69 kg
Ukuran	30x30x70 cm	84x74x132 cm
Tenaga	Listrik, pneumatik	Pneumatik

Adapun pemakaian ruang dan berat pada bagasi helikopter Sikorsky S-76 untuk membawa rancangan pada penerbangan:

Tabel 3.30 Rancangan terhadap bagasi helikopter S-76

	Rancangan	Bagasi	Konsumsi
Ukuran	30 x 30 x 70 cm	91,44 X 73,66 x 162,56 (187,96) cm	-
Volume	63000 cm ³	1214674.732 cm ³	5,187 %
Berat	10,22 kg	272,155 kg (600 lbs)	3,755 %

IV. KESIMPULAN

Berikut ini adalah beberapa kesimpulan yang di dapat sebagai hasil perancangan:

1. Material tangki yang dibutuhkan pada perancangan ini adalah *stainless steel 304* dengan diameter 250 mm, ketebalan 1,5 mm dan tinggi 400 mm, dimana *tensile strength* material *stainless steel 304* adalah 579 MPa (*factor of safety* = 5). Pipa yang dibutuhkan adalah *flexible PVC* dengan diameter 8 mm dan tebal 2,75 mm, dimana *tensile strength* material *flexible PVC* adalah 7,5 MPa (*factor of safety* = 5)

2. Pompa yang digunakan adalah tipe torak, diafragma dengan *head* hisap 1,5 m dan tekanan 100 psi. Penggerak pompa adalah motor listik arus searah dengan daya 60 W. Pompa yang digunakan membutuhkan tegangan 7-10 vdc dan kuat arus maksimum 5 A.
3. Rancangan ini dapat digunakan pada saat proses *engine rinsing on running turboshaft engine* Arriel 1S1 karena sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan (mampu mengalirkan air dengan debit 2-3 lpm) pada panduan perawatan mesin Arriel 1S1 (rev. Oct. 30/2015).
4. Spesifikasi rancangan terdapat pada tabel 4.29.
5. Biaya perancangan alat ini \pm 11 kali lebih murah dibandingkan alat yang dimiliki PT. XYZ, dimana biaya rancang bangun Rp. 6.340.860 dan biaya pembelian alat *engine compressor washer* di PT.XYZ \$ 5116¹ (Rp. 67.827.928)².

DAFTAR PUSTAKA

- Ackers, P. (1958). *Resistance to Fluid Flowing in Channels and Pipes* (Hydraulic Research Paper No. 1 ed.). London: H.M.S.O.
- Ackers, P. (1959). *Discussion of "Relationship Between Pipe Resistance Formulas by W.L. Moore"* (Vol. 85, No. HY7, July ed.). ASCE.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2016). *Badan Pusat Statistik*. Retrieved Mei 5, 2016, from <https://www.bps.go.id/linkTabelStatistis/view/id/1347>
- Daryanto. (2000). *Teknik Pengerjaan Listrik* (Ed. 1 ed.). Jakarta: Bumi Aksara.
- FAA. (2012). *Aviation Maintenance Technician Handbook* (Airframe ed.). U.S. Department of Transportation, Flight Standard Services.

¹ Harga pembelian pada 3 April 2008 oleh PT. XYZ

² 1 USD = 13.258 IDR (nilai tukar pada 2 Mei 2016)

- Featherstone, R., & Nalluri, C. (1988). *Civil Engineering Hydraulics*. London: BSP Profesional Books.
- Frankel, M. (1996). *Facility Piping Systems Handbook*. United States of America: McGraw-Hill.
- French, R. H. (1987). *Open Channel Hydraulics*. New York: McGraw Hill Book Company.
- Hammer, M., & Hammer, Jr., M. (2012). *Water and Wastewater Technology* (7th ed.). New Jersey: Pearson Education International.
- Harrington. (n.d.). *Engineering Handbook for Industrial Plastic Piping Systems*. Industrial Plastic.
- Hicks, T., & Edward, T. (1971). *Pump Application Engineering*. United States of America: McGraw-Hill.
- Hurst, K. (2006). *Engineering Design Principles*. Kidlington: Elsevier Ltd.
- Inkindo. (2016). *Pedoman Standar Minimal 2016*. Jakarta: Inkindo.
- Institute, N. D. (n.d.). *Design Guidelines for The Selection and Use of Stainless Steel*.
- Joko, T. (2010). *Unit Air Baku Dalam Sistem Penyediaan Air Minum*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Karassik, I. J., Messina, J. P., Cooper, P., & Heald, C. C. (2001). *Pump Handbook* (3rd ed.). United States of America: McGraw-Hill.
- Khurmi, R., & Gupta, J. (2005). *Machine Design* (1st Multicolour ed.). Ram Nagar: Eurasia Publishing Huse (Pvt.) Ltd.
- Kodoatie, R. (2002). *Hidrolika Terapan*. Yogyakarta: Andi.
- Krist, T. (1979). *Fundamentele Pneumatiek*. Wurzburg: Vogel.
- Nayyar, M. (1992). *Piping Handbook* (6th ed.). United States of America: McGraw-Hill.
- Orianto, M., & Pratikto, W. (1989). *Mekanika Fluida I*. Yogyakarta: BPF.
- Patty, O. (1994). *Tenaga Air*. Jakarta: Erlangga.
- Raswari. (1986). *Teknologi dan Perencanaan Sistem Perpipa* (1st ed.). Jakarta: Universitas Indonesia.
- Safran Helicopter Engines. (2016, September 10). Retrieved from <http://www.safran-helicopter-engines.com/helicopter-engines/lower-1000-shp/arriel/arriel-1s1>
- Saskatchewan Environment. (2004). *Water Pipeline Design Guidelines*. Regina.
- Sherwood, D., & Whistance, D. (1991). *The Piping Guide*. San Francisco: Syentek Inc.
- Utomo, Y. (2016). "Equinox" *Jelas Punya Dampak, tetapi Apakah Seseram di Pesan Berantai?* Retrieved March 30, 2016, from <http://www.lapan.go.id>
- Weaver, R. (2000). *Desain Pipa Proses*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Wilks, E. (2001). *Industrial Polymers Handbook*. Weinheim: Wiley-VCH.
- www.engineeringtoolbox.com. (2016). *TheEngineeringToolBox*. Retrieved March 18, 2016, from The Engineering ToolBox: http://www.engineeringtoolbox.com/flow-velocity-water-pipes-d_385.html