

RANCANG BANGUN ALAT UJI PERFORMA POMPA SENTRIFUGAL INSTALASI SERI DAN PARALEL METODE MATRIX

¹Agi Ibrahim, ²Ucok Mulyo Sugeng, ³Razul Harfi

Program Studi Teknik Mesin, Institut Sains dan Teknologi Nasional
Email: ucok@istn.ac.id

ABSTRAK

Salah satu yang mendukung dalam sistem pembelajaran dan pengajaran yaitu praktek, praktek diperuntukan sebagai implementasi dari teori yang di pelajari. Salah satu mata kuliah khusus pada program studi teknik mesin konversi energi adalah pompa. Pompa ini merupakan salah satu yang diminati dalam konversi energi karena paling sering digunakan dalam kehidupan, baik untuk kebutuhan industri maupun rumah tangga. Untuk mendukung kegiatan praktek maka harus terdapat sebuah sarana yang berupa alat uji atau praga yang digunakan. Skripsi dengan judul "Rancang Bangun Alat Uji Performa Pompa Sentrifugal Instalasi Seri dan Paralel Metode Matrix", memiliki rumusan masalah bagaimana merancang alat uji performa pompa dengan metode matrix yang dapat memberikan *output* akurat dari daya yang dihasilkan dan memiliki efisiensi tinggi serta memiliki *head loss* yang rendah. Tujuan dari perancangan ini yaitu untuk mendapatkan model rancangan alat uji performa pompa sentrifugal instalasi seri dan paralel. Perancangan ini menggunakan metode matrix atau biasa disebut *Quality Function Development* (QFD), yang merupakan alat untuk menggambarkan tindakan yang diperlakukan untuk suatu perbaikan proses atau produk. Matrix diagram dibagi menjadi 6 jenis yaitu : L-Matrix diagram, T-Matrix diagram, Y-Matrix diagram, C-Matrix diagram, X-Matrix diagram dan *Roof Matrix* diagram. Dengan menggunakan L-Matrix diagram dalam pemilihan prinsip solusi didapat 3 varian konsep rancangan alat uji performa pompa dan yang terpilih adalah varian ke III. Diperoleh data perancangan untuk instalasi sebagai berikut : kapasitas (Q) sebesar 30 l/min, *head* (H) 60 m dan efisiensi sebesar 48%. Sedangkan untu instalasi paralel yaitu : kapasitas (Q) 60 l/min, *head* (H) 30 m dan efisiensi sebesar 24%.

Kata Kunci : Metode Matrix, Pompa Seri dan Paralel, Pompa Sentrifugal, Rancang Bangun

ABSTRACT

One that supports the learning and teaching system is practice, practice is intended as an implementation of the theory studied. One of the special courses in the study program of energy conversion engineering is the pump. This pump is one that is in demand in energy conversion because it is most often used in life, both for industrial and household needs. To support practical activities there must be a means in the form of test equipment or equipment used. Thesis with the title "Design of Centrifugal Pump Performance Test Equipment for Series and Parallel Installation Matrix Method", has a formulation of the problem of how to design a pump performance test equipment with matrix method which can provide accurate output of the power produced and have high efficiency and have a low head loss . The purpose of this design is to get a design model for centrifugal pump performance test series and parallel installations. This design uses a matrix method or commonly called Quality Function Development (QFD), which is a tool to describe actions that are treated for an improvement of a process or product. Matrix diagrams are divided into 6 types, namely: L-Matrix diagram, T-Matrix diagram, Y-Matrix diagram, C-Matrix diagram, X-Matrix diagram and Roof Matrix diagram. By using the L-Matrix diagram in the choice of the solution principle, there are 3 variants of the design concept of the pump performance test equipment and the one chosen is the third variant. The design data for the installation are obtained as follows: capacity (Q) of 30 l / min, head (H) 60 m and efficiency of 48%. Whereas for parallel installations, namely: capacity (Q) 60 l / min, head (H) 30 m and efficiency of 24%.

Keywords : Matrix Diagram, Pump Series and Parallel, Centrifugal Pump, Design Product

Seminar Nasional Riset dan Teknologi, Jakarta 13 Oktober 2018

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pompa merupakan suatu alat atau mesin yang berfungsi mengubah tenaga mekanis dari suatu sumber tenaga (penggerak) menjadi tenaga kinetis (kecepatan), tenaga ini berguna untuk mengalirkan fluida dan mengatasi hambatan yang ada sepanjang pengaliran. Pompa merupakan alat yang sering digunakan didalam kehidupan, baik untuk kebutuhan industri maupun kebutuhan rumah tangga. Pompa sentrifugal merupakan jenis pompa yang paling banyak digunakan karena memiliki beberapa kelebihan diantara pompa jenis lain, diantaranya yaitu : prinsip kerjanya sederhana, mempunyai banyak jenis, harga yang lebih murah, tidak memakan banyak tempat untuk instalasi dan aliran fluida yang terus menerus.

Pada umumnya pompa dinilai memiliki kualitas yang bagus jika memiliki daya dorong yang kuat dan daya hisap yang dalam. Dalam istilah yang lebih umum daya dorong pompa disebut sebagai *head* pompa. Semakin tinggi *head* menunjukkan tingginya daya yang dihasilkan pompa. Melihat dari penilaian yang umum dipahami oleh masyarakat, diperlukan rekayasa untuk menaikkan daya angkat pompa dan kekuatan isapnya. Penurunan daya angkat pada pompa sering disebut *head loss*. Arti fisik dari *head loss* adalah kehilangan energi mekanik persatuan massa fluida. Satuan *head loss* adalah satuan panjang yang setara dengan satu satuan energy yang dibutuhkan untuk memindahkan satu satuan massa fluida setinggi satu satuan panjang yang bersesuaian. Perhitungan *head loss* didasarkan pada hasil percobaan dan analisa dimensi. *Head loss* terjadi dengan adanya belokan pada pipa, dengan semakin banyak belokan maka *head loss* yang terjadi semakin besar. Untuk mendapatkan performa yang baik dari pompa diperlukan rekayasa dalam mengurangi besar *head loss* pada pompa sehingga didapat daya dorong yang kuat. Untuk melakukan hal ini diperlukan penelitian dan kajian dalam mengembangkan proses dan instalasi yang baik. Rekayasa yang dapat dilakukan adalah dengan membuat kombinasi atau penggabungan energi dari beberapa pompa sekaligus. Penggabungan dengan membuat rangkaian seri maupun paralel dari dua atau beberapa pompa, akan memberikan tambahan performa dari *out put* yang dihasilkan. Rangkaian paralel akan memberikan *out put* berupa debit air yang besar, disebabkan pipa hisap untuk pompa instalasi paralel memiliki dua pipa hisap. Dari penggabungan dua pipa didapatkan penggabungan debit air pada *out put* pompa paralel. Rangkaian seri dua buah pompa akan memberikan kenaikan *head* yang besar hal ini disebabkan penggabungan dua pompa dengan menggunakan satu pipa isap. Energi isap pompa merupakan akumulasi dari dua pompa (atau lebih) dengan satu pipa. Rangkaian ini memberikan kenaikan debit yang tidak signifikan namun memberikan kenaikan gaya dorong (*head*) yang besar.

Untuk itu dibuatlah sebuah rancangan alat uji performa pompa sentrifugal instalasi seri dan paralel. Untuk mempermudah dalam pemilihan prinsip solusi perancangan maka dibantu dengan metode matrix diagram atau biasa disebut *Quality Function Development* (QFD), metode ini merupakan alat yang sering digunakan untuk menggambarkan tindakan yang diperlukan untuk suatu perbaikan proses dan produk dalam perancangan. Sehingga alat uji yang dibuat diharapkan akan sempurna sesuai penerapan teori-teori yang berlaku.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dapat diidentifikasi permasalahan pada skripsi ini diantaranya yaitu :

1. Bagaimana merancang suatu alat uji performansi pompa yang dapat memberikan *out put* akurat dari daya yang dihasilkan dan memiliki efisiensi tinggi serta memiliki *head loss* yang rendah.
2. Bagaimana merancang alat uji performa pompa sentrifugal instalasi seri dan paralel sesuai metode matriks.

1.3 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah dalam merancang alat uji untuk skripsi ini, diantaranya yaitu :

1. Metode yang digunakan dalam perancangan yaitu metode matriks diagram.
2. Pompa yang digunakan adalah pompa sentrifugal.

3. Jenis pipa yang digunakan adalah pipa pvc.
4. Alat yang dirancang skala laboratorium.
5. Tidak memperhitungkan pembebanan pada rangkaian.

1.4 Tujuan Perancangan

Terdapat beberapa tujuan dari perancangan yang dilakukan, diantaranya yaitu :

1. Mendapatkan rancangan alat uji performansi pompa yang akurat sesuai dengan karakteristik pompa dan instalasinya.
2. Mendapatkan model instalasi alat pengujian skala laboratorium.

STUDI LITERATUR

2.1 Pengembangan Alat

Proses pengembangan alat yang umum terdiri dari enam tahap, proses ini diawali dengan suatu fase perencanaan, yang berkaitan dengan kegiatan-kegiatan pengembangan teknologi dan penelitian tingkat lanjut. Output fase perencanaan adalah pernyataan misi proyek, yang merupakan input yang dibutuhkan untuk memulai tahap pengembangan konsep dan merupakan suatu petunjuk untuk tim pengembangan, penyelesaian dari proses pengembangan produk adalah peluncuran produk, dimana produk tersedia untuk dibeli dipasar.

Salah satu cara untuk berpikir tentang proses pengembangan adalah sebagai kreasi pendahuluan dari sekumpulan alternatif konsep produk dan kemudian mempersempit alternatif-alternatif dan menambah spesifikasi produk hingga produk dapat diandalkan dan diproduksi ulang dalam system produksi.

Sebagai catatan, kebanyakan fase pengembangan didefinisikan berdasarkan keadaan produk, meskipun proses proses produksi dan rencana pemasaran, yang merupakan output-output berwujud yang lain, juga turut berproses mengikuti kemajuan pengembangan.

Cara lain untuk berpikir tentang proses pengembangan adalah sebagai sistim pemrosesan informasi, proses dimulai dengan input, seperti sasaran perusahaan dan kemampuan teknologi yang tersedia, flatform produk dan sistim produksi. Berbagai kegiatan memproses informasi pengembangan, memformulasi spesifikasi, konsep dan desain detail. Proses dimulai ketika seluruh informasi yang dibutuhkan untuk mendukung produksi dan penjualan yang telah dirancang dan dikomunikasikan.

Mengidentifikasi kegiatan-kegiatan utama dan tanggung jawab dari fungsi-fungsi organisasi yang berbeda pada setiap fase pengembangan karena keterlibatan yang berkesinambungan dalam proses, kami memilih peran bagian pemasaran, desain dan manufaktur. Refresentatif dari fungsi-fungsi lainnya, seperti penelitian, financial, umum dan penjualan, juga memainkan peran kunci pada sebagian titik-titik proses. Enam fase dalam proses pengembangan produk yaitu :

1. Perencanaan
2. Pengembangan Konsep
3. PerancanganTingkatan Sistem
4. Perancangan Detail
5. Pengujian dan Perbaikan
6. Produksi Awal

2.2 Metode Matrix

Matrix diagram merupakan salah satu dari tujuh alat perencanaan manajemen (7

management and planning tools) atau 7 New Quality Tools yang sangat penting di dunia manufaktur. Alat ini sering digunakan untuk menggambarkan tindakan yang diperlukan untuk suatu perbaikan proses atau produk. Matrix diagram terkadang disebut juga sebagai Quality Function Development (QFD). Matrix diagram selalu terdiri dari baris dan kolom yang menggambarkan hubungan dua atau lebih faktor untuk mendapatkan informasi tentang sifat dan kekuatan dari masalah sehingga kita bisa mendapatkan ide-ide untuk memecahkan masalah. Matrix diagram dapat dibentuk dalam beberapa cara yang berbeda, yaitu sebagai berikut:

1. L-matrix menghubungkan dua grup (grup B ke grup A) atau menghubungkan item-item dalam satu grup (item-item dalam grup A).
2. T-matrix menghubungkan tiga grup (grup B dan C ke grup A, tetapi grup B dan C tidak saling terhubung).
3. Y-matrix menghubungkan tiga grup, masing-masing grup ini berhubungan dengan dua grup lainnya dalam mode melingkar.
4. C-matrix menghubungkan tiga grup semuanya secara bersamaan, berbentuk 3 dimensi.
5. X-matrix menghubungkan empat grup, masing-masing terhubung dengan dua grup lainnya dalam mode melingkar.
6. Roof-matrix menghubungkan item-item dalam satu grup, ini biasanya digunakan bersamaan dengan L-matrix atau T-matrix.

METODOLOGI PERANCANGAN

3.1 Diagram Alir Perancangan

Berikut ini merupakan diagram alir perancangan seperti ditunjukkan pada gambar 1.1.



Gambar 1.1 Diagram Alir Perancangan

3.2 Perencanaan

Tahap pertama dikumpulkan ide-ide yang dikehendaki, yang keadaannya masih belum teratur, ide-ide tersebut adalah sebagai berikut :

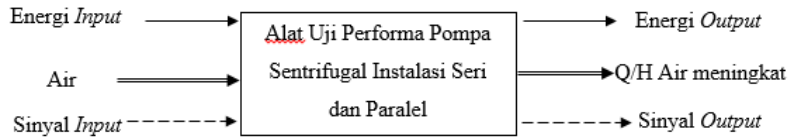
1. Alat uji performa pompa sentrifugal memiliki skala lab
 2. Mudah dioperasikan
 3. Mudah dalam perawatan (Bongkar/Pasang)
 4. Memiliki kapasitas minimal 30 l/m – 70 l/m
 5. Bentuk yang kokoh dan proposional
 6. Komponen mudah didapatkan
 7. Bisa dibuat di workshop sendiri
 8. Bebas polusi terhadap lingkungan
 9. Aman dalam pengoperasiannya
- Seluruh data yang berkaitan dengan tugas yaitu tujuan pemecahan, sifat yang harus dimiliki, didefinisikan secara lengkap dan jelas menjadi daftar persyaratan seperti pada tabel 1.1 berikut ini :

Tabel 1.1 Daftar Persyaratan Alat Uji Performa Pompa Sentrifugal

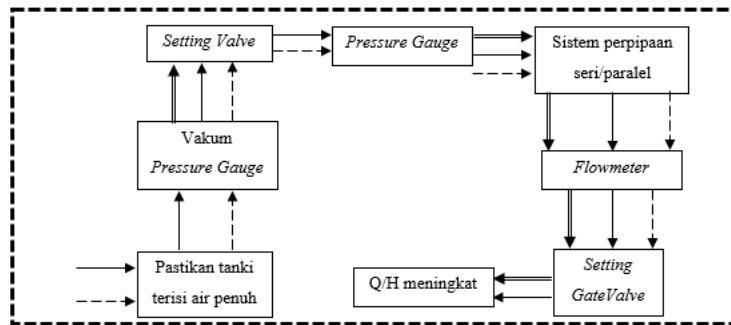
Perubahan	Pengembangan Alat Uji Performa Pompa		Identitas Klasifikasi
	D/W	Spesifikasi (Persyaratan)	Halaman Penanggung Jawab
		GEOMETRI	
	D	Rangka = 114,5 x 71 x 85 cm	
	D	Penampang pompa = 71 x 40 x 3 cm	
		INSTALASI	
	D	Pompa ditempatkan dengan kedudukan yang sama dan sejajar	
	D	Pipa hisap dipasangkan dengan panjang yang sama	
	D	Instalasi pipa dapat dibongkar pasang	
	D	Penempatan valve harus mudah dijangkau	
	D	Alat ukur mudah dibaca	
	W	Instalasi pipa hisap harus sedekat mungkin dengan tanki air	
		MATERIAL	
	D	Pompa sumur dangkal dengan kapasitas 30 liter/menit	
	D	Pipa PVC dengan ukuran 1"	
	W	Box Tanki Acrilyc	
	W	Rangka terbuat dari besi siku	
		PRODUKSI	
	D	Konstruksi sederhana	
	W	Di kerjakan di workshop sendiri	
	W	Mutu dapat dijaga	
	W	Alat-alat produksi sederhana	
		OPERASI	
	D	Mudah di operasikan	
	W	Dapat dioperasikan oleh satu orang	
	W	Dapat dipindah-pindah	
		PERAWATAN	
	D	Mudah dalam perawatannya	
	W	Tidak membutuhkan biaya perawatan	
		PEMASARAN	
	W	Dibutuhkan untuk Lab	
	W	Diproduksi untuk keperluan khusus	

3.3 Pengembangan Konsep

Setelah daftar persyaratan dibuat, maka dilakukan abstraksi dengan tujuan untuk mendefinisikan komponen pokoknya, sehingga bisa terbentuk struktur dan sub fungsi dari keseluruhan alat yang akan dirancang. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.2 dan 1.3 berikut ini :



Gambar 1.2 Fungsi Keseluruhan



Gambar 1.3 Diagram Sub Fungsi

Setelah terbentuk Fungsi keseluruhan dan sub fungsinya maka langkah selanjutnya mencari matrix solusi dari komponennya, seperti di tunjukan pada tabel 1.2 berikut ini :

Tabel 1.2 Matrix Solusi Alat Uji Performa Pompa Sentrifugal

NO	Unsur Mesin dan Material	Prinsip Solusi Varian		
		1	2	3
1	Bahan Rangka			
2	Pipa PVC			
3	Water Tank			
4	Pompa Sentrifugal			
5	Pressure Gauge			
6	Flowmeter			
7	Valve			
8	Panel meter			
9	Kaki Rangka			

Suatu sistim yang terdiri dari bagian- bagian pokok bentuk dasar hingga terbentuk susunan organ kerja atau merupakan pengatur/penyusun beberapa prinsip solusi, sehingga mempunyai alternatif kombinasi yang kemudian diseleksi lagi untuk dapat diwujudkan dalam pilihan yang tepat.

Berikut ini merupakan alternatif kombinasi dari matrix solusi yang telah di tentukan, seperti ditunjukkan pada tabel 1.3 : Tabel 1.3 Diagram Kombinasi Matrix Solusi

Prinsip Solusi		1	2	3
Pembagian Fungsi				
1	Bahan Rangka			
2	Pipa PVC			
3	Water Tank			
4	Pompa Sentrifugal			
5	Pressure Gauge			
6	Flowmeter			
7	Valve			
8	Panel meter			
9	Kaki Rangka			

Keterangan :

- a. Varian I : 1.1 – 2.1 – 3.2 – 4.3 – 5.1 – 6.2 – 7.1 – 8.2 – 9.2 —————
- b. Varian II : 1.1 – 2.1 – 3.1 – 4.2 – 5.1 – 6.2 – 7.1 – 8.1 – 9.1 - - - - -
- c. Varian III : 1.1 – 2.1 – 3.3 – 4.1 – 5.2 – 6.2 – 7.1 – 8.1 – 9.2 - - - - -

3.4 Perancangan Tingkat Awal

Setelah alternatif kombinasi dibuat langkah selanjutnya yaitu mengevaluasi untuk memilih varian terbaik dari matrix solusi yang telah dibuat. Berikut ini merupakan tabel evaluasi seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.4.

Tabel 1.4 Evaluasi Matrix Prinsip Solusi

VARIAN PRINSIP SOLUSI	Jurusan Teknik Mesin ISTN Agi Ibrahim 15210701							Tabel Pemilihan Variasi Struktur Fungsi Untuk Alat Uji Performa Pompa	
	Kriteria Pemilihan							Keputusan	
	+ ya							(+) Solusi yang dicari	
	- tidak							(-) Hapuskan solusi	
	? Kurang informasi							(?) Kumpulkan informasi	
	! Periksa spesifikasi							(!) Lihat spesifikasi	
	Sesuai dengan fungsi kebutuhan								
	Sesuai dengan daftar kehendak								
	Secara prinsip dapat diwujudkan								
	Dalam batas biaya Produksi								
Pengetahuan tentang Konsep memadai									
Sesuai Keinginan Perancang									
Memenuhi syarat kebutuhan									
	A	B	C	D	E	F	G	PENJELASAN	KEPUT USAN
V1	+	+	+	-	+	+	+	Alternatif ke dua jika terdapat perubahan	+
V2	+	-	+	-	+	-	+	Di luar batas biaya	-
V3	+	+	+	+	+	+	+	Sesuai kehendak dan dalam batas biaya	+

Setelah dilakukan evaluasi maka terpilihlah varian ke III seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.4 berikut ini :



Gambar 1.4 Varian III Konsep Bentuk Varian Terpilih

3.5 Analisa Teknis

1. Tekanan Hidrostatik Diketahui :

Phisap : 9 m Ptekan : 30 m

Q : 30 Liter/Min Ditanya :

- a. Tekanan Hidrostatik (P) Tekan ?
- b. Tekanan Hidrostatik (P) Hisap ?

Jawab :

$$\begin{aligned}
 \text{a. } P &= \rho \times g \times H \\
 &= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 30 \text{ m} \\
 &= 300000 \text{ kgm}^2/\text{m}^3\text{s}^2 = 300000 \\
 \text{N/m}^2 &= 3 \text{ Bar}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. } P &= \rho \times g \times H \\
 &= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 9 \text{ m} \\
 &= 90000 \text{ N/m}^2 = 0,9 \text{ Bar} = 67,51\text{cmHg}
 \end{aligned}$$

2. Efisiensi Pompa Diketahui :

Ppompa = 30 m Plistrik = 125 Watt

Ditanya :

- a. Efisiensi (η) Instalasi Seri ?
- b. Efisiensi (η) Instalasi Paralel ?

Jawab :

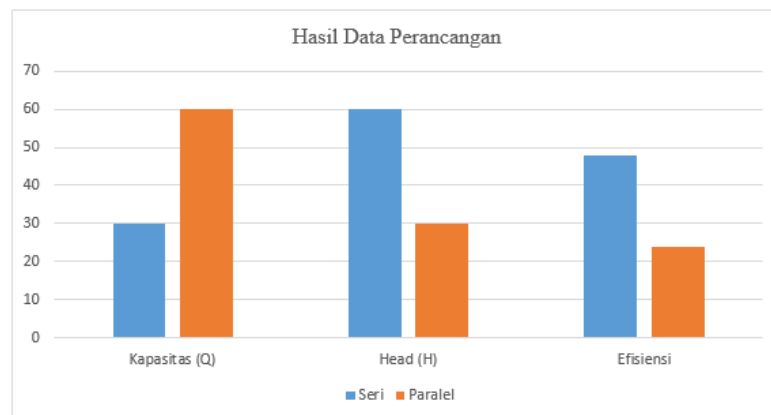
- a. η Seri = $(P_{pompa}/P_{listrik}) \times 100\%$
 $= (60/125) \times 100 \%$
 $= 48 \%$
- b. η Paralel = $(P_{pompa}/P_{listrik}) \times 100\%$
 $= (30/125) \times 100\%$
 $= 24\%$

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembahasan

Dari data hasil perancangan didapat bahwa kapasitas pompa untuk instalasi seri adalah sebesar 30 l/min atau 0,0005 m³/s sedangkan untuk instalasi paralel yaitu sebesar 0,001 m³/s. Kemudian untuk head yang dihasilkan pada instalasi seri yaitu sebesar 60 m sedangkan untuk instalasi paralel yaitu sebesar 30 m dan efisiensi yang dihasilkan untuk instalasi seri yaitu sebesar 48% sedangkan untuk instalasi paralel yaitu sebesar 24%, seperti ditunjukkan pada grafik 1.5 berikut ini :

Tabel 4.1 Grafik Data Hasil Perancangan



KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan rancang bangun alat uji performa pompa sentrifugal instalasi seri dan paralel ini terdapat beberapa kesimpulan yang dapat ditarik, diantaranya yaitu sebagai berikut :

1. Metode matrix diagram yang digunakan dalam mencari prinsip solusi yaitu tipe L
2. Terdapat tiga konsep varian alat uji performa pompa sentrifugal instalasi seri dan paralel yang telah

Seminar Nasional Riset dan Teknologi, Jakarta 13 Oktober 2018

dibuat yaitu sebagai berikut

- a. Varian I : 1.1 – 2.1 – 3.2 – 4.3 –
5.1 – 6.2 – 7.1 – 8.2 – 9.2
 - b. Varian II : 1.1 – 2.1 – 3.1 – 4.2
– 5.1 – 6.2 – 7.1 – 8.1 – 9.1
 - c. Varian III : 1.1 – 2.1 – 3.3 – 4.1
– 5.2 – 6.2 – 7.1 – 8.1 – 9.2
3. Konsep varian III yang dipilih dengan kombinasi prinsip solusi sebagai berikut : 1.1 – 2.1 – 3.3 – 4.1 – 5.2 – 6.2 – 7.1 – 8.1 – 9.2.
 4. Tekanan hidrostatik pada perancangan yaitu sebesar 6 Bar, sehingga dalam pemilihan material pipa, dipilih pipa pvc tipe AW dan untuk pressure gauge dengan skala 6 Bar.
 5. Untuk instalasi seri pada perancangan didapat kapasitas 30 l/m, head 60 m dan efisiensi 24 %.
 6. Untuk instalasi paralel pada perancangan didapat kapasitas 60 l/m, head 30 m dan 48%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Alan S Morris, 2001, "Measurement and Instrumentation Principles", Oxford; Butterworth-Heinemann
- [2]. Bechtel Corporation, 1997, "Piping/Mechanical Handbook Second Edition", USA.
- [3]. Church H. Austin, 1990, Pompa dan Blower Sentrifugal, Erlangga, Jakarta.
- [4]. Fritz Dietzel, 1992, Turbin, Pompa dan Kompresor, Erlangga, Jakarta.
- [5]. Karl T. Ulrich dan Steven D. Eppinger, 2001, "Perancangan dan Pengembangan Produk".
- [6]. Nouwen A, 1981, Pompa Jilid I, Bhatara Karya Aksara, Jakarta.
- [7]. Rosnani Ginting, 2010, "Perancangan Produk Edisi Pertama", Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [8]. R. Rayner, 1995, "Pump Users Handbook ED Fourth", ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS LTD; The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB, UK
- [9]. Smith, Peter, 2007, "THE FUNDAMENTALS OF PIPING DESIGN, Volume One", USA; Gulf Publishing Company.
- [10]. Sularso, 1997, "Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin", PT. Pradnya Paramitha, Jakarta.
- [11]. Sularso dan Haruo Tahara, 2000, Pompa dan Kompresor, Pradnya Paramita, Jakarta.
- [12]. www.engineersedge.com
- [13]. www.green-mechanic.com
- [14]. www.hawsepipe.net