

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Salah satu sektor yang paling berkembang dalam industri dunia adalah sektor otomotif. Otomotif merupakan sektor yang melesat cepat akibat permintaan masyarakat terhadap barang hasil industrinya, dan otomotif juga berkembang cepat seiring dengan majunya teknologi yang tersedia.

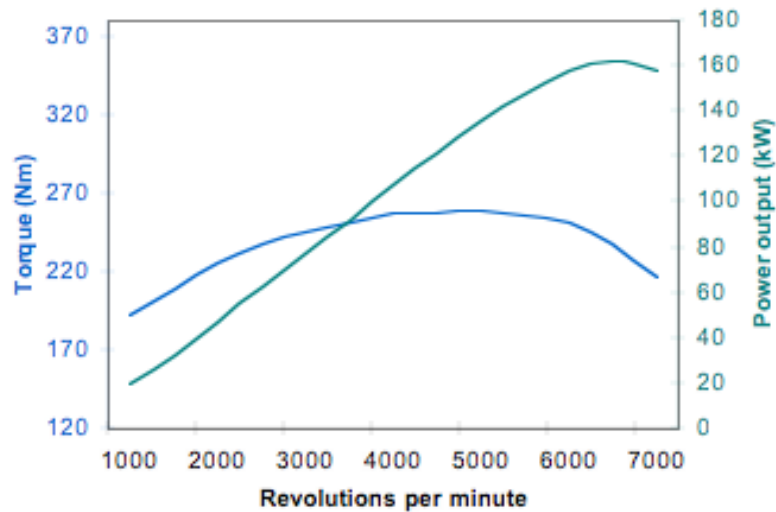
Industri otomotif awalnya diperuntukan hanya bagi orang-orang kalangan atas, tetapi pada perkembangannya orang-orang biasa pun dapat menikmati hasil industri ini. Hasil kerja dari industri ini adalah kendaraan pada umumnya, seperti mobil, motor dan truk.

Persaingan antar para pelaku industri ini dalam hal siapakah yang hasil produksinya terbaik tidak hanya dalam kepuasan pembeli tapi juga dalam performa mobilnya diatas jalan. Persaingan performa paling nyata adalah dalam suatu kejuaraan lomba balap mobil, lomba balap mobil merupakan sarana paling mudah untuk menentukan mobil produksi siapa yang terbaik.

Dalam suatu ajang balap, para pelaku industri dituntut untuk selalu memberikan yang terbaik pada penonton. Performa dan ketahanan mobil menjadi sorotan dalam ajang seperti ini karena itu, tidak jarang para produsen mengeluarkan dana berlimpah untuk menyokong pembuatan mobil yang sempurna. Selain itu hasil pengujian kendaraan juga harus selalu di perhatikan oleh para pembuat kendaraan.

”Daya lebih” merupakan motto standar bagi kejuaraan balap. Dalam kompetisi yang ketat saat ini, tim perlu terus bekerja keras dengan teknologi yang lebih maju, performa yang lebih baik dan pasti daya yang lebih besar. Untuk mencapai tujuan ini para pembuat mesin memerlukan peralatan ukur yang akurat untuk mengetahui berapa

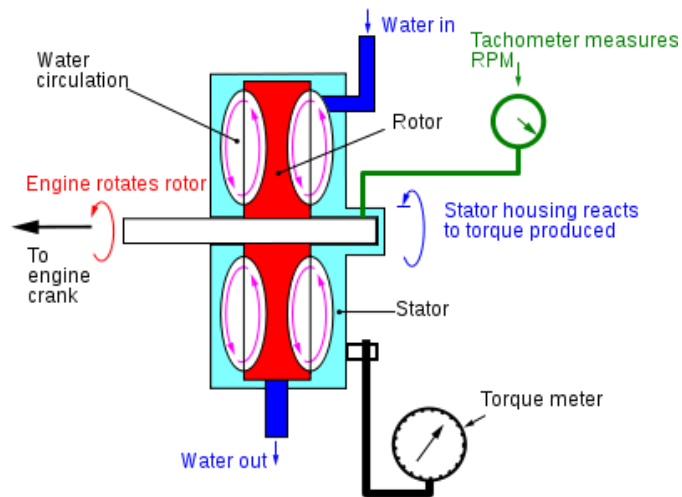
besar daya yang dihasilkan oleh kendaraan. Dinamometer adalah alat yang tepat untuk pekerjaan tersebut.



Gambar 1.1 Grafik hasil uji dinamometer [Ref. 12]

Pada dasarnya ada tiga jenis dinamometer yaitu dinamometer penggerak, dinamometer transmisi dan dinamometer absorpsi. Dinamometer penggerak digunakan untuk mengukur torsi atau daya beberapa peralatan seperti pompa dan turbin serta mensuplai energi untuk menggerakkan peralatan yang akan diukur. Dinamometer transmisi adalah peralatan pasif yang ditempatkan dilokasi tertentu. Dinamometer ini tidak menambah atau mengurangi daya yang ditransmisikan. Dinamometer absorpsi mengubah energi mekanik menjadi torsi yang diukur sehingga sangat berguna untuk mengukur daya atau torsi yang dihasilkan oleh sumber daya seperti motor bakar.

Sistem *water brake* merupakan salah satu jenis dari dinamometer absorpsi, jenis *water brake* adalah jenis yang biasa digunakan karena memiliki beberapa keuntungan seperti bentuk yang ringkas, relatif ringan, dapat mengukur untuk daya yang tinggi dan mempunyai harga yang cukup terjangkau. Kekurangannya adalah membutuhkan waktu yang lama agar beban stabil dan memerlukan pasokan air yang banyak dan kontinyu sebagai pendingin. Skema dari dinamometer jenis *water brake* adalah sebagai berikut.



Gambar 1.2 Skema dinamometer jenis water brake [Ref. 10]

Pada perkembangannya dinamometer menjadi alat yang umum dipergunakan dalam industri otomotif. Pengoperasian dinamometer yang awalnya berupa pengoperasian manual telah berubah menjadi pengoperasian secara komputerisasi, dengan menggunakan komputerisasi pengujian yang dilakukan dapat menjadi lebih mudah, akurat dan efisien dalam waktu.

1.2 TUJUAN

Tujuan yang ingin dicapai dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah :

1. Mempelajari cara mekanisme kerja katup yang digunakan.
2. Mencari hubungan antara debit air dan tekanan terhadap variasi bukaan katup.
3. Membuat sistem pengaturan beban dinamometer.

1.3 BATASAN MASALAH

Batasan masalah dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini adalah:

1. Pengaturan katup dikakukan pada tekanan konstan 30 psi.
2. Pengujian menggunakan kendaraan KIA Picanto dan pada posisi gigi 3 dengan rpm pada roll dinamometer sebesar 700 rpm.

1.4 METODOLOGI

Langkah-langkah yang dipakai untuk melengkapi data pada penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Studi Literatur

Studi literatur diperlukan untuk memahami teori dasar yang berkaitan dengan masalah yang dibahas, studi literature diperoleh dari buku-buku pustaka, karya ilmiah, internet dan jurnal yang mendukung.

2. Studi Eksperimental

Eksperimen pengujian untuk mengetahui korelasi antar blok diagram pada sistem kontrol di Laboratorium Konversi dan Efisiensi Energi Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Pengujian hubungan debit dan posisi katup menggunakan aktuator dan katup merk Honeywell dan skema uji sederhana, sedangkan pengujian hubungan debit air dan torsi dilakukan dengan menggunakan kendaraan bermotor pada putaran (rpm) tetap dan bukaan katub bervariasi. Untuk sistem kontrol menggunakan program LabVIEW dan data akusisi yang terintergrasi ke komputer.

3. Asistensi dan bimbingan

Asistensi dan bimbingan dilakukan dengan dosen pembimbing, dengan melakukan diskusi untuk menyelesaikan masalah yang dihadapi.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Meliputi latar belakang perumusan permasalahan dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Berisi tentang teori dasar yang berhubungan dengan dinamometer, katup, aktuator, dan sistem kontrol.

BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SISTEM KONTROL

Berisi tentang perancangan sistem kontrol yang diinginkan dan pembuatannya, dilengkapi dengan pembuatan program untuk sistem kontrol tersebut.

BAB IV PENGUJIAN KARAKTER SISTEM

Berisi tentang langkah-langkah pengujian hubungan bukaan katup dan debit air dan pengujian karakter dari sistem yang dirancang.

BAB V ANALISIS DAN DISKUSI

Berisi data pengujian dan analisa data yang diperoleh dari pengujian dan pembahasan.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan dari hasil pengujian dan saran-saran yang dapat mendukung pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 DINAMOMETER

Daya yang ditransmisikan mesin dapat dihitung dari torsi dengan menggunakan persamaan $P = \omega \times T$ dimana, P adalah daya mesin (Watt). T adalah torsi (Nm) dan ω adalah kecepatan sudut (rad/s). Alat yang digunakan untuk mengukur daya adalah dinamometer dan diklasifikasikan dalam tiga jenis tergantung pada susunan mesin, dan daya yang dapat diukur. Tipe dinamometer adalah :

1. Dinamometer transmisi

Pada dinamometer ini daya yang ditransmisikan melalui peralatan yang telah diukur. Peralatan tidak berupa generator daya maupun pengabsorpsi daya dan dinamometer ini menggunakan poros transmisi daya antara penggerak utama dan beban.

2. Dinamometer penggerak

Selain untuk mengukur dinamometer ini juga digunakan untuk menggerakkan peralatan yang akan diukur atau dinamometer ini adalah generator daya seperti motor listrik.

3. Dinamometer absorpsi

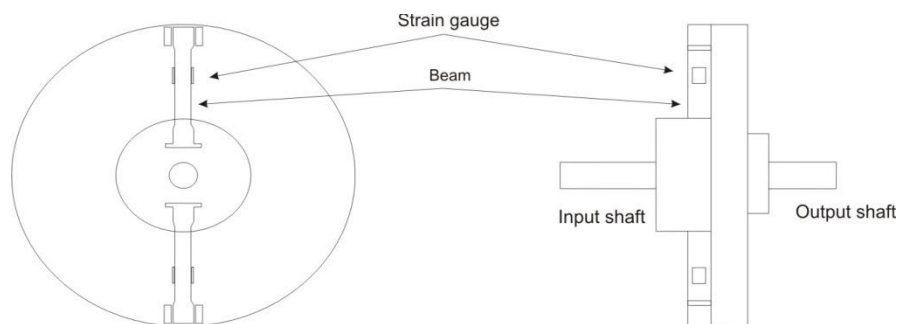
Dinamometer absorpsi mengubah energi mekanik sebagai torsi yang diukur, sehingga sangat berguna untuk mengukur daya atau torsi yang dihasilkan sumber daya seperti motor bakar atau motor listrik.

2.1.1 Dinamometer Transmisi

Dinamometer ini menggunakan peralatan transmisi seperti roda gigi, sabuk atau rantai untuk mengukur torsi poros berputar. Dinamometer ini sering disebut torsimeter, digunakan sebagai kopling (penghubung) antara mesin yang digerakkan dan mesin yang menggerakannya. Sistem pemasangan *strain gages* dilakukan dengan menggunakan jembatan *wheatstone* empat lengan aktif atau *four – arm bridge*. Untuk menyalurkan arus listrik, digunakan cincin slip (*slip ring*). Dinamometer ini dapat mengukur torsi

mulai dari 100 hingga 30.000 in.lb (10,98 Nm hingga 3384,45 Nm) dengan kecermatan kurang lebih 0,25%.

Jenis lain dari dinamometer transmisi yaitu yang menggunakan *resistance strain-gage transducers* yang lebih sensitif ketika tegangan lentur bekerja, seperti terlihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Dinamometer transmisi (Ref. 1 hal 371)

2.1.2 Dinamometer Penggerak

Hampir semua mesin listrik dapat digunakan sebagai dinamometer penggerak, misalnya motor arus searah yang memiliki ayunan seperti pada gambar 2.2. Motor listrik atau generator biasa dapat juga digunakan sebagai dinamometer. Dalam hal ini, lengan dinamometer dipasang pada rumah motor atau generator tersebut. Ayunan rumah motor/generator akan diubah menjadi gaya yang terukur pada pengindera gaya (*load cell*). Dengan menghitung torsi dan mengukur kecepatan poros, dapat dihitung dayanya. Daya untuk menggerakkan dapat diatur dengan mengubah besarnya arus listrik.



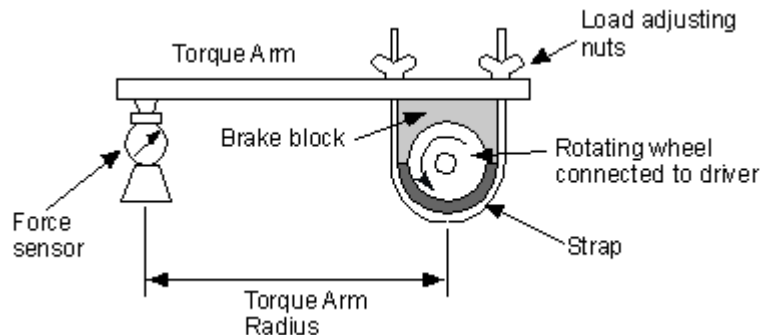
Gambar 2.2 Dinamometer listrik (Ref. 13)

2.1.3 Dinamometer Absorpsi

Dinamometer absorpsi mengubah energi mekanik sebagai torsi yang diukur, sehingga sangat berguna khususnya untuk mengukur daya atau torsi yang dihasilkan oleh sumber daya seperti motor bakar atau motor listrik. Macam-macam dinamometer absorpsi yaitu

2.1.3.1 Dinamometer Rem Prony

Jenis absorpsi yang paling sederhana adalah dinamometer rem Prony (*Prony brake*), yaitu sebuah peralatan mekanik yang tergantung pada gesekan kering untuk mengubah energi mekanik menjadi panas. Dinamometer ini menggunakan mekanisme rem dalam pengoperasiannya. Ada beberapa bentuk dinamometer rem Prony yang tersedia, ada yang menggunakan tali dan katrol serta timbangan untuk mengukur gaya yang terjadi, sedangkan yang lainnya menggunakan mekanisme rem tromol untuk menyerap daya poros serta timbangan untuk mengukur daya yang ditimbulkan.



Gambar 2.3 Dinamometer rem Prony (Ref. 1 hal 365)

2.1.3.2 Dinamometer Arus Eddy

Prinsip kerja dinamometer ini adalah jika suatu bahan pengantar listrik (konduktor) dilewatkan pada suatu medan magnet, akan timbul tegangan listrik dan arus listrik. Jika konduktor tersebut adalah kawat yang merupakan bagian dari suatu rangkaian komplit, maka arus akan mengalir melalui rangkaian tersebut. Jika konduktor tersebut adalah sebuah batang logam dan bukan merupakan rangkaian yang lengkap, tegangan tetap akan timbul walaupun arus hanya mengalir pada batang itu sendiri. Arus yang mengalir itulah yang disebut dengan arus Eddy yang diubah dalam bentuk panas.

Dinamometer arus Eddy terdiri atas sebuah piringan logam atau roda yang berputar dalam suatu medan magnet. Medan magnet ini dihasilkan oleh suatu koil yang dihasilkan oleh sumber luar dan terpasang pada rumah dinamometer, yang terhubung dengan bantalan tap (*trunnion bearing*). Ketika piringan berputar, arus listrik dihasilkan dan reaksi dari medan magnet akan cenderung menggerakkan rumah dinamometer. Beban dinamometer diubah-ubah dengan mengatur besarnya arus listrik. Contoh dinamometer arus Eddy dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Dinamometer arus Eddy (Ref. 13)

2.1.3.3 Dinamometer Hidrolik

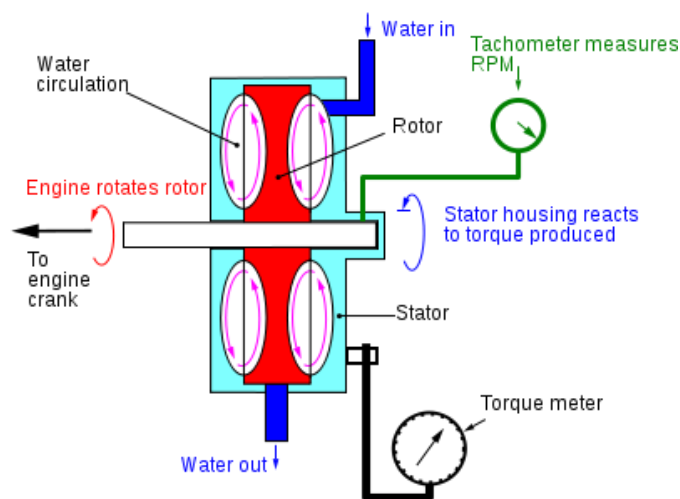
Dinamometer hidrolik adalah dinamometer yang menggunakan sistem hidrolis atau fluida untuk menyerap daya mesin. Fluida yang digunakan biasanya air, dimana air berfungsi sebagai media pendingin dan media gesek perantara. Dinamometer hidrolik ini memiliki dua komponen penting yaitu, sudu gerak (rotor) dan sudu tetap (stator). Rotor terhubung dengan poros dari mesin yang akan diukur, dimana putaran dari mesin tersebut memutar rotor dinamometer. Rotor akan mendorong air di dalam dinamometer, sehingga air akan terlempar menghasilkan tahanan terhadap putaran mesin dan menghasilkan panas. Aliran air secara kontinu melalui rumah (*casing*) sangat penting untuk menurunkan temperatur dan juga untuk melumasi seal pada poros. Sedangkan stator terletak berhadapan dengan rotor dan terhubung tetap pada casing. Pada casing dipasang lengan, dimana pada ujung lengan terdapat alat ukur pembebanan sehingga torsi yang terjadi dapat diukur.

Pada saat dinamometer ini dijalankan, mesin dihidupkan dan putaran mesin diatur pada rpm tertentu. Air masuk ke dalam casing melalui selang dari penampung air sehingga rongga antara rotor dan stator selalu terisi air. Air berfungsi sebagai media gesek perantara dan sebagai pendingin karena proses yang terjadi menimbulkan panas. Air yang keluar dari dinamometer tidak diperbolehkan melebihi 80°C, jika sudah mendekati temperatur tersebut dibuka katup keluar yang lebih besar. Suplai air harus bersih, dingin dan konstan yang dapat diperoleh dari pompa.

Keuntungan dinamometer hidrolis adalah :

- a. Tidak membutuhkan instalasi yang permanen.
- b. Mudah dipindahkan dari satu mesin ke mesin yang lain.
- c. Mudah dioperasikan oleh satu orang.
- d. Dapat bekerja pada mesin yang besar atau memiliki kecepatan putar yang tinggi.

Kedudukan alat ukur harus menunjukkan angka nol (dinamometer dalam keadaan setimbang) pada waktu berhenti dan pada waktu air mengalir masuk stator tetapi mesin belum bekerja. Pengukuran kecepatan putar poros perlu dilakukan untuk mendapatkan perhitungan daya dan juga untuk menghindari kelebihan kecepatan putar yang dapat mengakibatkan kerusakan pada dinamometer.



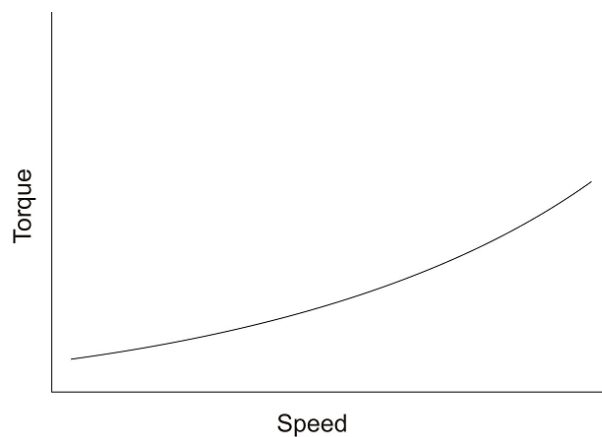
Gambar 2.5 Dinamometer hidrolis (Ref. 10)

2.1.4 Karakteristik Dinamometer Absorpsi

Untuk membandingkan jenis dynamometer yang berbeda, kita harus menetapkan range penggunaan dari tiap jenis. *Range* penggunaan dari tiap dynamometer dibatasi oleh beberapa faktor yang akan dipertimbangkan dan semua akan digabung untuk mendapatkan diagram karakteristik dari dynamometer, faktor-faktor tersebut adalah

1. Faktor gesekan dan torsi

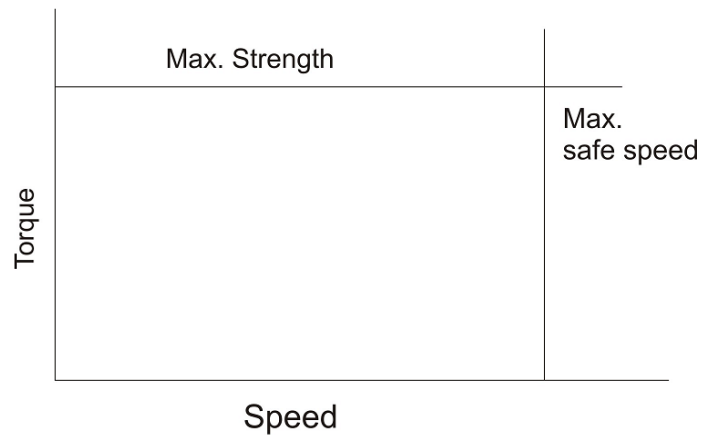
Pada gambar 2.6 terlihat bahwa torsi input terendah yang mungkin terjadi untuk berbagai jenis dynamometer absorpsi adalah torsi yang dibutuhkan untuk memutar beberapa komponen, mengatasi gesekan bantalan, dan kerugian-kerugian lainnya yang muncul pada rotor. Kurva dari gesekan dan torsi yang dibutuhkan untuk berbagai kecepatan terlihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Kurva torsi terhadap putaran (Ref. 3 hal 253)

2. Batas mekanik

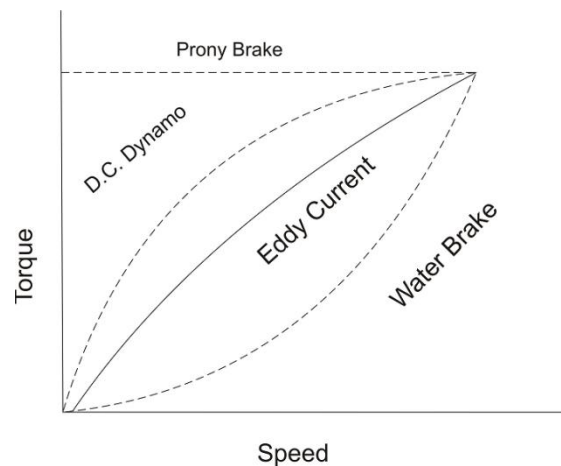
Torsi maksimum dari dynamometer akan memiliki beberapa batasan seperti adanya batasan karena faktor kekuatan mekanik dari rangka dynamometer atau dari batasan yang dimiliki alat pengukur daya yang digunakan. Batasan lainnya adalah batasan kecepatan maksimum yang aman dan diperbolehkan, yang mana akan mengakibatkan terbatasnya pembacaan torsi karena adanya batasan penggunaan kecepatan tadi. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Kurva batas mekanik (Ref. 3 hal 253)

3. Batas torsi pembebanan

Torsi maksimum yang memungkinkan saat dinamometer digunakan akan berbeda pada tiap tipe. Batas pembebanan pada rem Prony ditentukan oleh kekuatan dari struktur komponen yang terlemah. Selain itu, dinamometer elektrik dan dinamometer hidrolik dapat menghasilkan torsi nol, dan torsi maksimum akan meningkat dengan bertambahnya kecepatan. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.8.

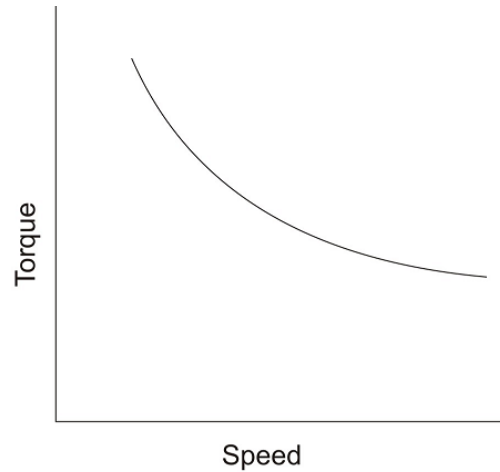


Gambar 2.8 Kurva torsi maksimum (Ref. 3 hal 253)

4. Batas pendinginan

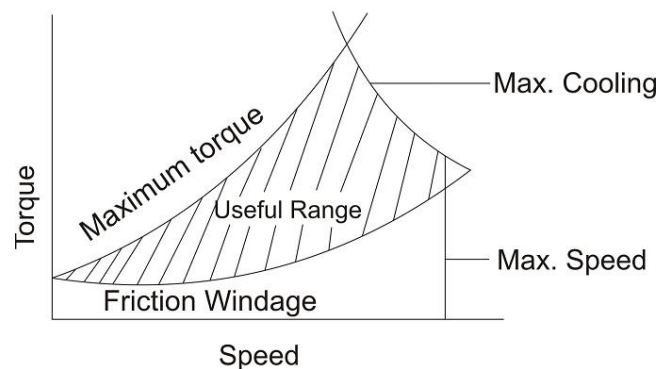
Jika dinamometer digunakan untuk mengabsorpsi energi untuk jangka waktu yang cukup lama, dinamometer akan membutuhkan kapasitas

pendinginan yang memadai untuk menghilangkan energi panas yang dihasilkan. Batas pendinginan ini terlihat pada gambar 2.9, dan menghasilkan torsi maksimum yang lebih rendah pada kecepatan tinggi.



Gambar 2.9 Batas pendinginan (Ref. 3 hal 253)

Ketika semua kondisi di atas diperlihatkan dalam satu grafik, maka akan didapatkan bahwa *range* penggunaan dari dinamometer dapat ditentukan dengan diagram karakteristik dinamometer seperti terlihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Range penggunaan dari dinamometer (Ref. 3 hal 254)

2.1.5 Jenis-jenis Pengujian Dinamometer

Dinamometer yang merupakan sebuah alat untuk menguji daya suatu kendaraan mempunyai konsep untuk mengukur dan membandingkan transfer daya pada kendaraan sehingga kendaraan tersebut dapat mempunyai daya yang lebih efisien dari sebelumnya. Sistem-sistem yang bekerja pada dinamometer dapat dibedakan menjadi :

1. Sistem *Brake*

Sebuah dinamometer dengan sistem ini memberikan beban yang bervariasi pada penggerak utama sebuah mesin, dan mengukur ketahanan dari penggerak tersebut dengan mengaplikasikan gaya pengereman. Alat bantu yang biasanya digunakan adalah alat untuk mengukur beban seperti *load cell* atau *strain gauge* dan alat untuk mengukur putaran.

2. Sistem *Inertia*

Sebuah dinamometer *inertia* menggunakan massa inerti untuk mengukur daya yang digunakan untuk menggerakkan suatu beban tetap dan komputer akan mendapatkan data-data berupa kecepatan dan putaran yang digunakan untuk mencari nilai torsi. Mesin biasanya diukur pada putaran sedikit di atas *idle* hingga maksimum dan hasilnya berupa plot grafik.

3. Sistem Motor

Sistem ini mirip dengan sistem *brake*, perbedaannya adalah pada sistem ini dapat ditambahkan penggerak tambahan pada penggerak utama mesin. Contoh aplikasinya adalah untuk mengukur daya kendaraan saat simulasi jalan turunan.

Pada dasarnya pengujian dinamometer dapat dibagi menjadi 3 buah pengujian, yaitu :

1. *Steady State*

Prosedurnya adalah putaran mesin ditahan pada RPM konstan yang diinginkan dalam waktu tertentu dan dengan beban yang bervariasi. Hanya dapat dilakukan pada dinamometer sistem *brake*.

2. *Sweep Test*

Mesin di uji dalam beban yang ditahan besarnya, kemudian putaran mesin tersebut di naikan hingga putaran yang diinginkan. Dinamometer sistem *brake* dan *inertia* dapat menggunakan pengujian ini.

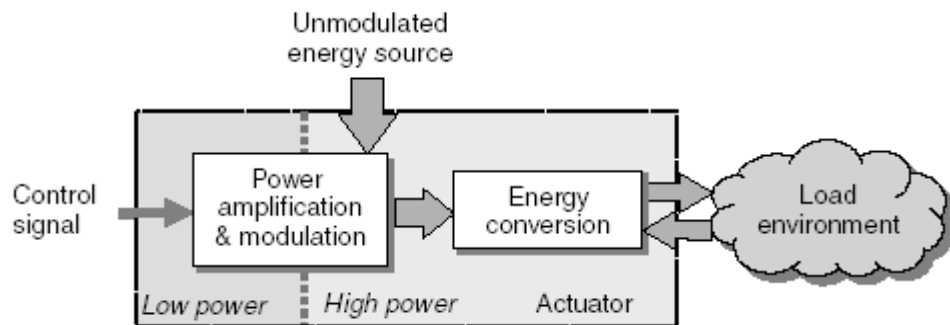
3. *Transien Test*

Pengujian ini biasanya digunakan pada dinamometer dengan sistem motor. Pengujian menggunakan kecepatan yang berbeda-beda sesuai dengan siklus

ujinya. Contoh siklus untuk pengujian mesin adalah ETC, HDDTC, HDGTC, WHTC, WHSC, dan ED12.

2.2 JENIS-JENIS AKTUATOR

Aktuator adalah sebuah perangkat mekanis yang digunakan untuk mengendalikan atau menggerakkan suatu mekanisme gerak atau sistem. Perangkat ini dioperasikan oleh sebuah sumber energi tertentu, biasanya dengan menggunakan arus listrik, tekanan hidrolik atau tekanan pneumatic dan mengubahnya menjadi sebuah gerakan. Struktur aktuator dapat dilihat pada diagram di bawah ini.



Gambar 2.11 Diagram fungsi aktuator (Ref. 2 hal 21-2)

2.2.1 Aktuator Elektromekanik

Mengubah energi elektrik menjadi energi mekanik adalah dasar dari prinsip kerja aktuator elektromekanik. Alam memberikan berbagai macam mekanisme untuk mengubah energi tersebut, apakah melalui perubahan langsung seperti piezoelektrik atau melalui media antara seperti melalui medan magnet. Pada pembahasan ini kami akan menjelaskan secara singkat mengenai mekanisme perubahan energi melalui *elektromagnetik, elektrostatik dan piezoelektrik*.

2.2.1.1 Elektromagnetik

Elektromagnetik adalah metode yang paling banyak digunakan sebagai medium pengubah energi untuk aktuator elektromekanik. Salah satu alasannya yaitu, lebih besarnya kepadatan energi pada medan magnet dibandingkan dengan pada medan listrik. Celah udara yang terdapat diantara bagian yang tetap atau stasioner (stator) dan bagian yang bergerak dalam aktuator elektromekanik merupakan tempat terjadinya

perubahan energi. Besarnya energi per satuan volume dari celah udara pada medan magnet dibandingkan dengan pada medan listrik memiliki perbedaan hingga lima kali lipat lebih besar.

Persaman dasar dari prinsip kerja aktuator elektromagnet adalah hukum Lorentz mengenai gaya elektromagnet dan hukum Faraday mengenai induksi elektromagnet. Hukum Lorentz berbunyi gaya elektromagnet dapat terjadi akibat adanya gerakan arus listrik dalam medan magnet yang di rumuskan dengan,

$$F = Li \times B$$

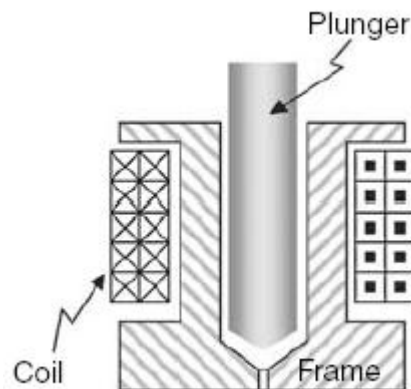
Dengan F merupakan gaya elektromagnet (Newton), L panjang kawat yang dialiri listrik (Meter), i arus listrik (Ampere) dan B adalah medan magnet (Tesla). Sedangkan hukum Faraday berbunyi perubahan medan magnet dalam suatu loop akan menimbulkan suatu tegangan induksi (emf) dan dapat dirumuskan menjadi,

$$emf = E = -\frac{d\phi}{dt}$$

Dimana $\phi = \oint B \cdot dA$ adalah aliran magnetik. Aktuator elektromekanik dapat dibagi menjadi tipe solenoid, *voice coil* motor dan motor elektrik.

Tipe Solenoid

Solenoid adalah aktuator elektromagnetik yang paling sederhana yang dapat digunakan pada aktuator linear atau rotari pada katup, saklar dan relay. Solenoid tersusun dari rangka besi stasioner (stator), gulungan kawat/koil (solenoid) dan *plunger* elektromagnetik (*armature*/angker dinamo) pada pusat gulungan seperti pada gambar 2.11

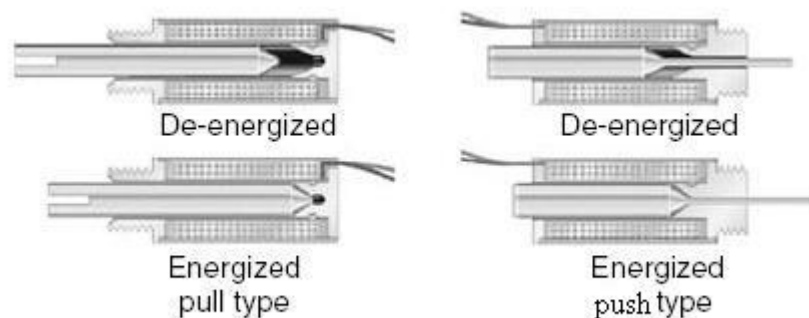


Gambar 2.11 Aktuator tipe solenoid (Ref. 2 hal 21-6)

Saat koil teraliri energi, terdapat induksi medan magnet di dalam koil. *Plunger* bergerak untuk meningkatkan fluks magnet dengan cara menutup celah udara antara plunger dan rangka stasioner. Gaya magnetik yang dihasilkan mendekati dengan kuadrat arus yang diterapkan dan berbanding terbalik dengan kuadrat celah udara (δ), yang merupakan *stroke* dari solenoid.

$$F \propto \frac{i^2}{\delta^2}$$

Semua solenoida linier pada dasarnya menarik *plunger* ke dalam koil ketika dialiri energi. Solenoid tipe-dorongan dijalankan dengan memanjangkan *plunger* melalui lubang pada penahan belakang, lihat gambar 2.12. Karena itu, saat diberi energi, *plunger* masih berada di dalam koil, tapi pemanjangannya menghasilkan gerakan mendorong dari ujung belakang solenoid. Gerakan membalik, saat koil tanpa aliran energi, berasal dari berat beban itu sendiri dan/atau oleh pegas pembalik, yang dapat diberikan pada susunan solenoid. Solenoid rotari menggunakan bola *bearing* yang bergerak turun melalui lintasan untuk mengubah gerakan linier menjadi rotari. Saat koil diberi energi, *plunger* tertarik terhadap stator dan memutar melalui lintasan yang ada.



Gambar 2.12 Solenoid tipe tekan dan tarik (Ref. 2 hal 21-7)



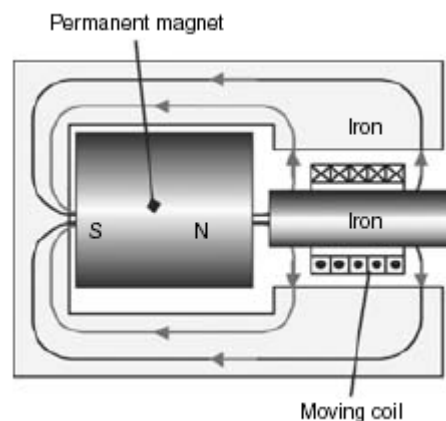
Gambar 2.13 Solenoid rotari (Ref. 2 hal 21-7)

Motor Voice-Coil (VCM)

Sesuai dengan namanya, *motor voice-coil* pada awalnya digunakan untuk sebuah *loadspeaker*. Saat ini penggunaannya diperluas menjadi penggerak head untuk membaca atau menulis pada hard disk komputer. Karena koil dalam keadaan bergerak maka, VCM juga dikenal dengan aktuator koil-gerak. VCM tersusun atas koil gerak (*armature*) pada celah dan magnet permanen (stator) yang menimbulkan medan magnet pada celah, lihat gambar 2.14. Saat arus mengalir melalui koil, berdasarkan hukum Lorentz, pada koil terdapat gaya elektromagnetik, karena kebanyakan didesain agar fluks magnet tegak lurus dengan arah arus maka, resultan gaya Lorentz-nya dapat ditulis dengan

$$F_{VCM} = \gamma B N l \cdot i = K_F \cdot i \quad \Leftrightarrow \vec{F}_{VCM} \propto i$$

Dimana l adalah panjang koil per putaran, B adalah kerapatan fluks, N banyaknya putaran koil, i merupakan arus dan γ adalah faktor penggunaan koil. Hal penting lain yang harus diperhatikan adalah gaya tersebut hampir sebesar dengan besarnya arus yang diberikan dan konstanta proporsional K_F sering disebut dengan konstanta gaya.

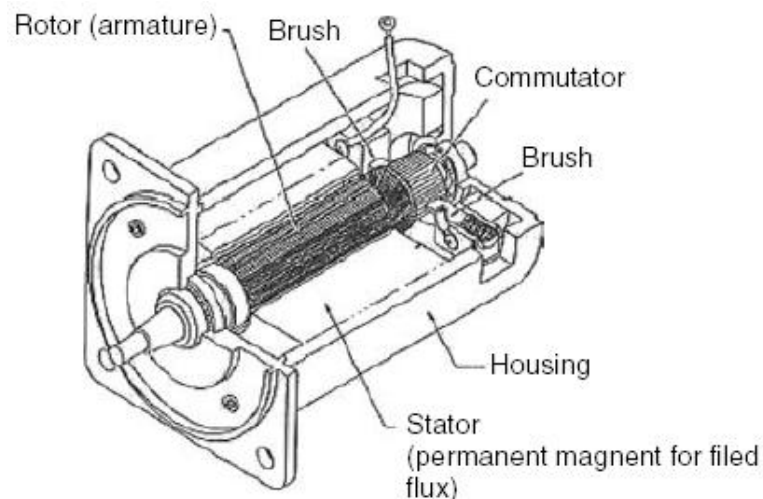


Gambar 2.14 Motor *voice-coil* (Ref. 2 hal 21-8)

Motor Elektrik

Motor elektrik merupakan aktuator elektromekanik yang paling luas penggunaannya. Motor elektrik dapat diklasifikasi berdasarkan fungsinya atau berdasarkan karakter elektromagnetiknya. Perbedaan pada motor elektrik adalah pada desain rotor dan cara menghasilkan medan magnetiknya. Gambar 2.15 menunjukkan komposisi dari motor DC permanen. Bagian-bagian dari motor elektrik adalah

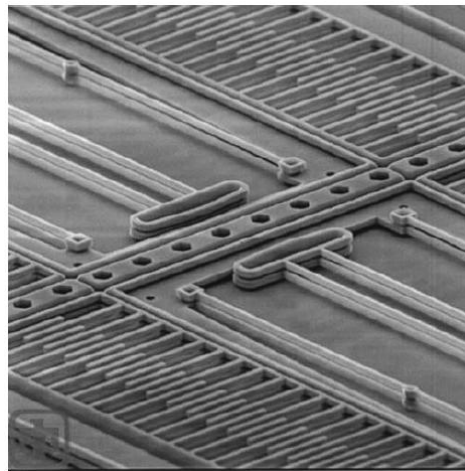
- Stator : Berada dalam rangka luar atau dalam dari motor, digunakan sebagai tempat penghasil medan magnet yang diinginkan. Dapat berupa magnet tetap atau gulungan kawat.
- *Field coil* : Bagian dari stator, merupakan bagian yang berfungsi untuk menghasilkan fluks magnetik pada stator.
- Rotor : Bagian berputar dari motor. Bergantung pada konstruksinya, rotor dapat berupa magnet permanen atau inti ferromagnet dengan gulungan kawat (*armature*).
- *Armature* : Lilitan rotor yang membawa arus dan menginduksi medan magnet pada rotor.
- Celah udara : Celah kecil antara stator dan rotor, dimana dua medan magnet berinteraksi dan menghasilkan output berupa putaran.
- *Brush* : Bagian dari motor DC yang mengalirkan aliran menuju *armature* (rotor). Untuk motor AC dinamakan *slip rings*.
- *Commutator* : Bagian dari motor DC yang bersinggungan dengan *brush*, dan digunakan untuk menentukan arah arus pada *armature*.



Gambar 2.15 Motor DC dengan magnet permanen (Ref. 2 hal 21-9)

2.2.1.2 Elektrostatik

Karena medan elektrik memiliki kerapatan energi yang lebih kecil maka, aplikasi yang dapat menggunakan prinsip ini hanya terbatas pada alat ukur dan mempercepat muatan partikel. Belakangan ini, dengan perkembangan teknologi pembuatan mikro, kita dapat mengaplikasikan gaya elektrostatik yang rendah pada aktuator mikroelektromekanik, seperti aktuator tipe *comb* (gambar 2.16). Keuntungan dari aktuator elektrostatik adalah tingkat perubahan yang lebih cepat dan kecilnya energi yang hilang dibandingkan dengan aktuator elektromagnetik. Tetapi kekurangannya berupa keterbatasan gaya, jarak lintas dan besarnya tegangan kerja. Aktuator elektrostatik adalah pengendali utama dari partikel toner pada proses elektropotografik seperti pada printer laser.



Gambar 2.16 Aktuator tipe *comb* (Ref. 2 hal 21-11)

2.2.1.3 Piezoelektrik

Piezoelektrik adalah sifat dari kristal tertentu yang menghasilkan tegangan saat dilakukan deformasi mekanik atau mengalami deformasi mekanik saat diberikan tegangan. Ketika material piezoelektrik diberikan tegangan mekanik, dia dapat membentuk perubahan asimetrik pada struktur kristal dan terjadi pada pusat dari ion kristal yang berpengaruh. Hasilnya adalah separasi paksa. Sebuah potensial listrik yang dihasilkan sebanding dengan besarnya regangan mekanik dapat dihitung, dan ini dinamakan efek piezoelektrik langsung. Sebaliknya, material dapat mengalami

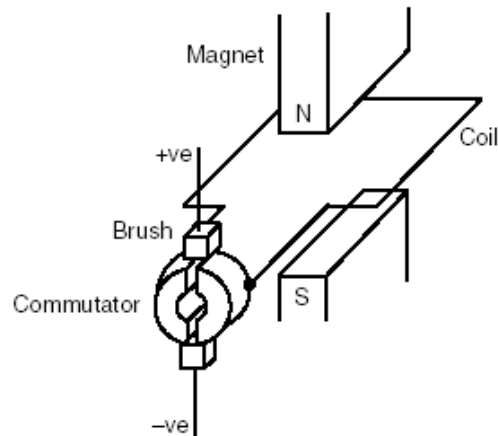
perubahan tanpa adanya perubahan volume saat potensial listrik terpakai. Efek piezoelektrik yang bertentangan ini dapat digunakan sebagai aktuator mekanik. Terdapat dua kategori dalam material piezoelektrik yaitu, keramik sintering seperti timah-zirkonat-titanate (PZT), dan polimer seperti *polyvinylidene fluoride* (PVDF). Piezokeramic mempunyai keluaran gaya yang lebih besar dan digunakan lebih banyak sebagai aktuator. PVDF menghasilkan lebih banyak perubahan dan digunakan pada aplikasi sensor.

2.2.2 Motor Listrik

Penggunaan motor listrik sebagai sumber listrik di aplikasi mekatronika sangat besar. Motor elektrik sering digunakan sebagai penggerak utama dalam berbagai macam sistem penggerak, pada umumnya sistem penggerak yang digunakan menentukan tipe dari motor elektrik yang akan digunakan. Tipe motor dibedakan menjadi motor DC dan mesin AC.

2.2.2.1 Motor DC

Semua motor elektrik konvensional terdiri dari elemen tetap dan elemen putar, yang terpisah oleh celah udara. Pada motor DC, elemen tetap tersusun atas kutub yang menonjol yang dibentuk dari lapisan lilitan-lilitan tembaga yang menghasilkan medan magnet. Fungsi dari lapisan tersebut adalah untuk mengurangi kerugian dari arus Eddy. Elemen putar biasanya disebut dengan angker dinamo dan berisi rangkaian kumparan yang diletakkan pada celah di sekeliling angker dinamo. Bentuk sederhana dari rangkaian motor DC ditunjukkan pada gambar 2.17.



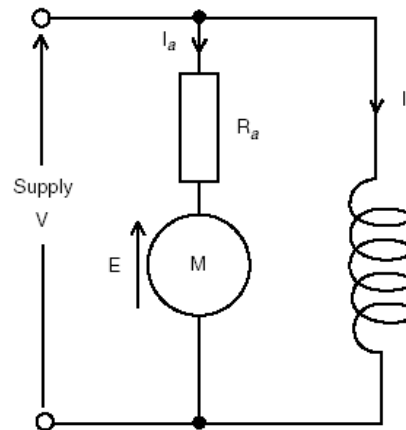
Gambar 2.17 Motor DC 2 kutub, *single-coil* (Ref. 2 hal 21-33)

Sistem Rangkaian

1. Rangkaian Motor *Shunt-Wound*

Motor *shunt-wound* adalah rangkaian yang terbentuk saat angker dinamo dan bidang kumparan terhubung secara paralel dengan sumber tegangan. Saat pengoperasian normal, arus yang terjadi akan tetap atau konstan. Saat arus pada angker dinamo meningkat, bidang arus akan melemah akibat reaksinya dan kecepatannya cenderung meningkat. Namun, tegangan induksi akan menurun akibat dari peningkatan perbedaan tegangan pada angker dinamo dan ini akan menyebabkan kecepatan cenderung menurun. Kedua efek tersebut tidak saling menghilangkan dan kecepatan motor akan berkurang seiring dengan meningkatnya arus pada dinamo. Torsi pada motor meningkat mendekati linier dengan arus dinamo hingga reaksi pada dinamo mulai melemahkan bidang magnet.

Tipe ini biasanya digunakan pada alat-alat penggerak seperti pompa, kompresor dan berbagai alat yang mengharuskan kecepatan konstan pada penggunaannya.

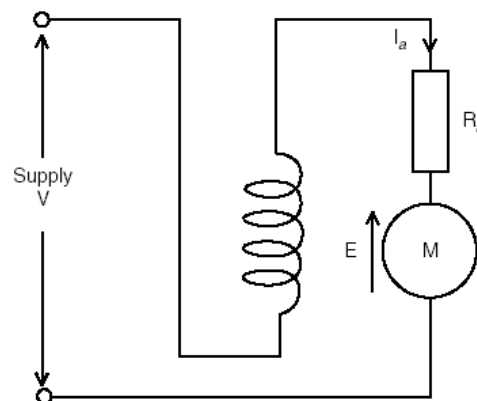


Gambar 2.18 Rangkaian Motor *Shunt-Wound* (Ref. 2 hal 21-36)

2. Rangkaian Motor *Series-Wound*

Rangkaian motor *series-wound* ditunjukkan pada gambar 2.19. Pada saat beban arus meningkat, tegangan induksi, E , akan menurun karena tahanan pada dinamo menurun. Karena gulungan tersusun seri dengan dinamo maka, fluks yang terjadi berbanding lurus dengan arus dinamo. Karakteristik umum menunjukkan bahwa jika beban berada pada nilai yang rendah maka kecepatan putar akan semakin tinggi. Rangkaian ini sebaiknya tidak digunakan pada situasi dimana beban dapat tiba-tiba menurun drastis karena dapat berbahaya.

Keuntungan dari rangkaian ini adalah dapat menghasilkan torsi yang tinggi pada kecepatan rendah. Rangkaian ini cocok digunakan pada sistem yang membutuhkan torsi awal yang tinggi seperti, *lift*, *cranes* dan kereta elektrik.



Gambar 2.19 Rangkaian Motor *Series-Wound* (Ref. 2 hal 21-37)

3. Motor Compound-Wound

Rangkaian ini terbentuk dengan menggabungkan 2 rangkaian yang ada yaitu, rangkaian Motor *shunt-wound* dan Rangkaian motor *series-wound*. Karakteristiknya terletak diantara kedua rangkaian tersebut.

Efektifitas Motor DC

Kerugian yang ada pada motor DC dapat diklasifikasikan sebagai berikut

1. Rugi dinamo : Rugi ini terjadi pada lilitan dinamo, biasa disebut rugi tembaga.
2. Rugi besi : Rugi yang timbul dari histerisis pada medan magnet dan arus Eddy pada dinamo dan bidang inti.
3. Rugi komutator : Rugi ini terjadi karena gesekan mekanik dan tegangan yang hilang.
4. Rugi eksitasi : Rugi kehilangan daya akibat arus dan terminal tegangan.
5. Rugi gesek : Rugi ini terjadi karena gesekan bearing berbanding lurus dengan kecepatan.

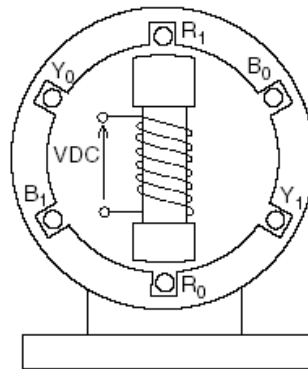
2.2.2.2 Mesin AC

Motor *Synchronous*

Disebut dengan Motor *Synchronous* karena motor ini beroperasi pada satu kecepatan, kecepatan dari perputaran medan magnet. Pembentukan dari perputaran medan magnet dapat dilakukan oleh 3 buah kumparan stator yang dialiri arus tiga-fasa. Kecepatan putar berhubungan dengan frekuensi arus.

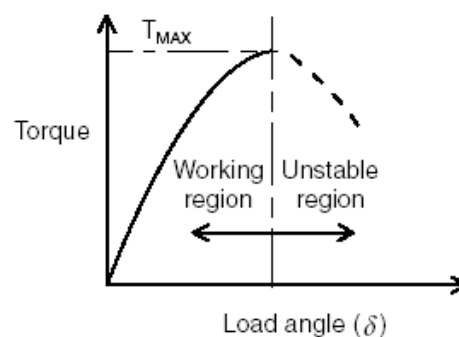
$$N_s = \frac{60f}{\text{Jumlah pasangan kutub}}$$

dimana N_s adalah kecepatan medan dalam rpm dan f merupakan frekuensi dari arus.



Gambar 2.20 Motor *synchronous* sederhana (Ref. 2 hal 21-42)

Medan magnet pada rotor didapat dari sumber DC sedangkan pada stator didapat dari arus tiga-fasa. Perputaran medan magnet terjadi karena adanya induksi dari stator dan rotor, yang dihubungkan dengan magnet permanen, yang menghubungkannya dengan perputaran fluks yang terbentuk oleh stator. Saat diberikan beban, rotor akan menghasilkan medan magnet yang akan mengakibatkan stator tertarik. Sudut dari perubahan posisi stator disebut dengan sudut beban. Karakteristik dari motor *synchronous* pada hubungan torsi dan sudut beban dapat dilihat pada gambar 2.21.

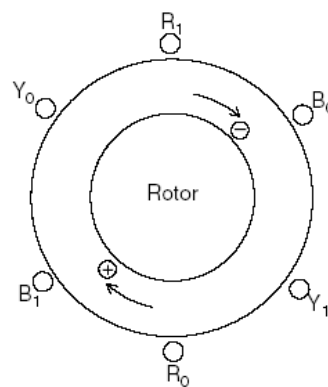


Gambar 2.21 Hubungan torsi-sudut beban pada *Synchronous* motor (Ref. 2 hal 21-42)

Motor Induksi

Stator pada motor induksi mirip dengan alternator dan seperti motor yang dialiri dengan arus tiga-fasa maka perputaran fluks magnet tercipta. Terdapat dua konfigurasi

dari rotor yaitu tipe "squirrel cage" dan tipe slip-ring. Pada tipe *squirrel cage* inti rotor dilapisi dan konduktor terdiri dari batang tembaga atau aluminium yang dimasukkan ke dalam slot rotor. Batang-batang tersebut disatukan dengan cincin atau plat pada ujung-ujungnya untuk menghasilkan set konduktor yang lengkap. Tipe *slip-ring* mempunyai inti yang terlapisi dan lilitan tiga-fasa konvensional, mirip dengan stator, dan terhubung dengan *slip-ring* pada poros. Gambar 2.22 menunjukkan motor induksi yang memiliki tiga kumparan stator pada tiap 120° .



Gambar 2.22 Motor induksi (Ref. 2 hal 21-43)

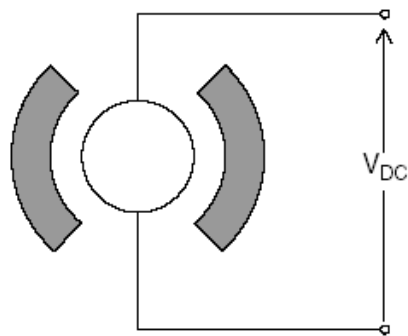
Jika kumparan pada stator dialiri arus tiga-fasa, perputaran medan magnet terbentuk pada stator. Pada saat terhenti medan putar akan menginduksi tegangan pada kumparan rotor karena adanya perubahan nilai fluks. Jika kumparan berada pada rangkaian tertutup, arus akan mengalir pada kumparan. Total gaya arus yang dibawa oleh konduktor dapat menghasilkan torsi, yang akan menggerakkan rotor. Kecepatan rotor akan terus meningkat hingga torsi elektromagnetik seimbang karena adanya beban. Motor induksi tidak akan menciptakan kecepatan yang tetap karena jika hal tersebut terjadi maka tidak ada gerak relatif antara kumparan pada rotor dan medan putar. Dalam keadaan tersebut tidak akan terdapat torsi elektromagnetik.

Motor Magnet Tetap

Motor magnet tetap adalah aktuator elektromagnetik yang berputar terus menerus dan dapat dihubungkan langsung dengan beban. Motor ini terdiri dari susunan ring melingkar, stator magnet tetap, dan rotor yang dilapisi lilitan. Cocok untuk sistem

servo dimana ukuran, berat, daya dan waktu reaksi harus seminimal mungkin dan akurasi tinggi dibutuhkan.

Waktu reaksi untuk motor ini sangat cepat dan torsi langsung meningkat saat dialiri arus, tidak berhubungan langsung dengan kecepatan atau posisi sudut. Beberapa sudut memaksimalkan torsi per watt dari daya rotor. Motor magnet tetap umumnya tersedia dalam berbagai ukuran, dari 35 mN dengan diameter 25 mm hingga 13,5 Nm pada diameter 3 meter.



Gambar 2.23 Motor magnet tetap (Ref. 2 hal 21-47)

Motor Stepper

Motor *stepper* adalah alat yang mengubah tegangan DC menjadi putaran mekanik pada poros. Gerakan yang berlainan pada motor *stepper* membuatnya cocok digunakan untuk sistem kontrol berbasis digital seperti mikrokontroler. Kecepatan pada motor dapat bervariasi bergantung pada tegangan yang diberikan. Putaran sesungguhnya dilakukan dalam waktu yang bertahap, namun hal ini hampir tidak terlihat. Motor *stepper* mampu menggerakkan beban hingga 2,2 kW dengan nilai langkah 1000 hingga 20.000 per detik dalam sudut *increment* 180°.

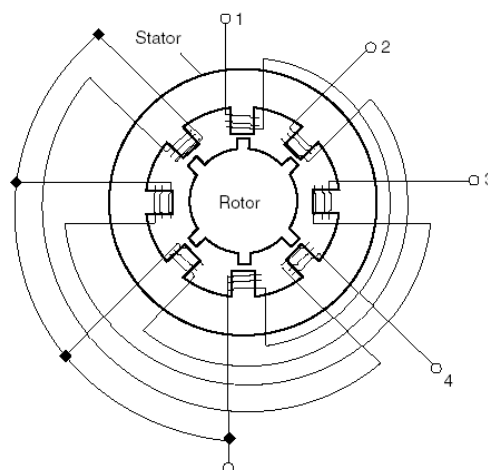
Terdapat tiga tipe dari motor *stepper*,

1. *Variable reluctance* : Tipe ini mempunyai rotor bergigi banyak dengan lilitan stator. Jumlah gigi pada rotor dan stator, bersama dengan konfigurasi lilitan dan

eksitasi menentukan jumlah langkah. Tipe ini mempunyai ukuran langkah yang kecil hingga sedang dan mampu beroperasi pada nilai langkah yang tinggi.

2. Magnet permanen : Rotor tipe ini berupa magnet permanen yang dipasang pada poros. Motor *stepper* tipe ini memiliki langkah yang besar dari 45° hingga 120° .
3. Hybrid : Tipe ini adalah kombinasi dari dua tipe yang ada sebelumnya. Mempunyai delapan kutub menonjol sebagai stator, yang diberi energi oleh lilitan dua-fasa. Rotor berbentuk magnet silinder, dengan gaya magnet aksial. Sudut langkah bergantung pada konstruksi dan pada umumnya pada kisaran $0,9^\circ - 5^\circ$. Sudut langkah paling populer adalah $1,8^\circ$.

Prinsip kerja pada motor *stepper* dapat diilustrasikan pada tipe *variable reluctance*, mesin empat-fasa. Motor ini biasanya mempunyai delapan gigi stator dan enambelas gigi rotor. Jika hanya fasa 1 dari stator yang aktif, maka dua rotor yang bertentangan akan menyatu dengan fasa 1 stator. Gigi rotor yang berdekatan dalam arah jarum jam akan menjauh 15° dari stator. Aktifasi dari fasa 2 akan menyebabkan rotor berputar perlawanan jarum jam sejauh 15° untuk mengatur gigi berlawanan arah yang berdekatan. Jika gulungan stator berkerja dengan fasa berurutan 1,2,3,4 maka rotor akan bergerak dengan langkah 15° berlawanan jarum jam. Jika kita membalik cara kerjanya maka rotor akan bergerak searah jarum jam.



Gambar 2.24 Motor *stepper variable reluctance* (Ref. 2 hal 21-48)

2.2.3 Aktuator Hidrolik dan Pneumatik

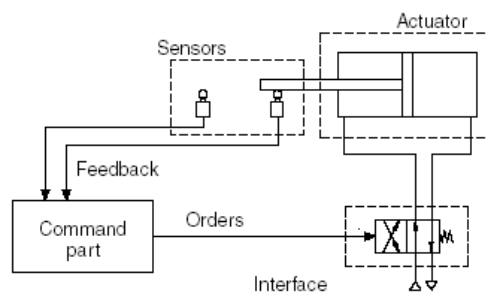
2.2.3.1 Sistem Aktuator Fluida

Dalam sistem aktuator, yang merupakan bagian dalam sistem otomatis, terdiri dari bagian daya dan bagian kontrol seperti ditunjukkan pada gambar 2.25. Bagian daya terdiri dari semua perangkat yang mempengaruhi pergerakan. Bagian kontrol menyediakan segala informasi untuk proses dan untuk siklus otomatis dan berbagai variasi signal yang dibutuhkan, dalam penyesuaian dengan prosedur umum dan dengan signal yang memungkinkan dan umpan balik yang diterima dari sensor pada bagian operatif. Signal yang datang dari bagian kontrol dikirim menuju bagian operasi dan melalui perangkat pengubah dan penguat, bila dibutuhkan, sehingga dapat digunakan langsung oleh aktuator.



Gambar 2.25 Sistem aktuasi (Ref. 2 hal 21-64)

Gambar 2.26 menunjukkan sistem aktuasi fluida. Bagian daya terdiri dari aktuator – aktuator silinder ganda pada gambar – ruang depan dan belakang diberikan katup distribusi 4/2, yang merupakan bagian yang bersentuhan dengan fluida. Perintah perubahan katup berasal dari bagian kontrol. Perintah ini disesuaikan dengan gerakan, ditentukan oleh siklus operasi yang diinginkan oleh silinder pada bagian kontrol, umpan balik dari silinder ditampilkan oleh gambar sebagai *switch* terbatas.



Gambar 2.26 Sistem aktuasi fluida (Ref. 2 hal 21-64)

2.2.3.2 Sistem Aktuasi Hidrolik

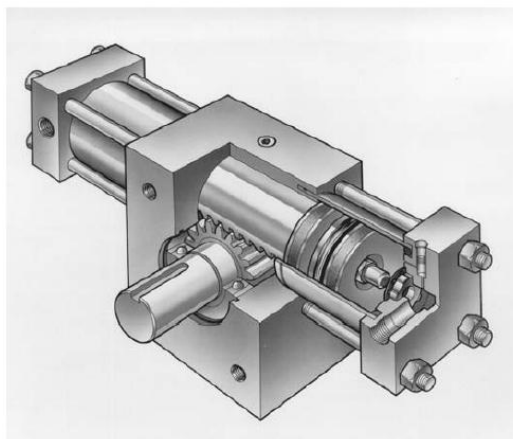
Komponen dari sistem aktuator hidrolik adalah,

- Pompa sebagai sistem penyedia daya
- Aktuator sebagai pengubah energi hidrolik menjadi energi mekanik
- Katup sebagai pengatur daya
- Pipa sebagai penghubung berbagai komponen dalam sistem
- Penyaring, pengumpul dan tempat penyimpanan fluida
- Fluida sebagai penyalur energi antar elemen
- Sensor dan transducer
- Layar, alat ukur dan alat kontrol

Untuk aktuator terbagi menjadi,

Aktuator motor rotari dan semi-rotari

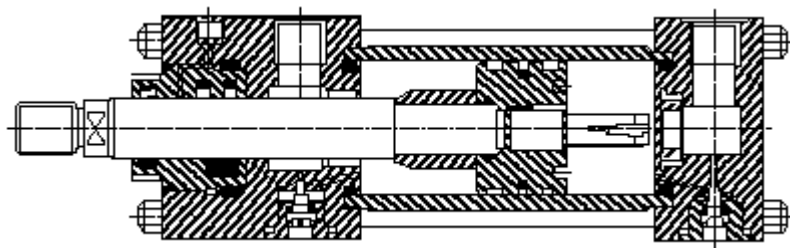
Pada konstruksinya, motor rotari mirip dengan pompa rotari. Karena itu terdapat roda gigi, kipas, dan piston motor, radial atau aksial. Tetapi, prinsip kerjanya berlawanan dengan pompa. Motor semi-rotari mengeluarkan gerakan yang berosilasi baik secara langsung atau tidak langsung. Kipas pada motor semi-rotari menghasilkan torsi tinggi dengan cepat pada keluaran poros; karena ini motor ini juga disebut dengan motor torsi hidrolik.



Gambar 2.27 Aktuator rotari hidrolik (Ref. 2 hal 21-70)

Aktuator linier

Aktuator linier merupakan aktuator yang paling banyak digunakan. Aktuator ini menyediakan gerakan yang hampir lurus oleh batang yang terhubung dengan piston di dalam silinder. Sebuah perbedaan terjadi antara silinder tunggal dan ganda. Awalnya hanya digunakan untuk stroke tunggal dan karena itu tekanan fluida pada permukaan piston hanya diberikan pada satu arah. Pada perkembangannya fluida dapat bergerak pada kedua permukaan piston sehingga menghasilkan gerakan maju dan mundur. Silinder ganda dapat memiliki satu buah batang dan juga dua buah. Semuanya tersusun dalam tabung tertutup pada ujung keduanya, dan piston yang bergerak berada di dalam satu atau dua batang yang terhubung pada beban yang akan digerakkan. Jika piston sesuai dengan *sealing gaskets*, piston akan memnagai silinder menjadi dua buah bagian. Dengan memasukkan oli bertekanan pada salah saut bagian melalui pipa khusus, perbedaan tekanan akan terjadi diantara kedua permukaan piston dan menyalurkannya keluar melalui batang. Bagian utama dari aktuator linier adalah ukuran lubang, stroke, tekanan kerja maksimum, jenis fluida yang bekerja dan cara pemasangan.



Gambar 2.28 Aktuator piston dua arah dengan batang tunggal (Ref. 2 hal 21-71)

2.2.3.3 Sistem Aktuasi Pneumatik

Bagian-bagian dari sistem aktuasi pneumatik adalah,

- Kompresor udara sebagai sistem pembangkit, terdiri dari kompresor, pendingin, tangki penyimpanan dan penyaring masukan dan keluaran
- Kompresor udara sebagai unit pelayanan, biasanya terdiri dari susunan FRL (*filter*, *pressure regulator* dan *lubrifier*), untuk menyediakan penyaringan dan pengatur lokal pada aliran tekanan menuju katup aktuator

- Katup sebagai pengatur daya pneumatik
- Aktuator sebagai pengubah energi pneumatik menjadi energi mekanik
- Pipa-pipa
- Sensor dan transducer
- Layar, alat ukur dan alat kontrol

Aktuator pada sistem pneumatik sama dengan pada sistem hidrolis baik dalam segi fungsi dan konstruksi, hanya saja biasanya dibuat lebih ringan karena tekanan yang bekerja lebih kecil.

2.3 JENIS-JENIS KATUP

Kontrol katup mengatur tingkat aliran fluida melalui posisi katup yang berupa piringan atau sumbat dengan digerakkan oleh sebuah aktuator. Untuk itu katup harus memenuhi syarat sebagai berikut,

- Mengalirkan fluida tanpa kebocoran
- Mempunyai kapasitas yang sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan
- Mampu menahan pengaruh erosi, korosi dan temperatur operasi
- Mempunyai sambungan yang cocok dengan pipa atau aktuator yang digunakan, sehingga memudahkan aktuator untuk menggerakkan katup sistem rotari atau sistem sumbat

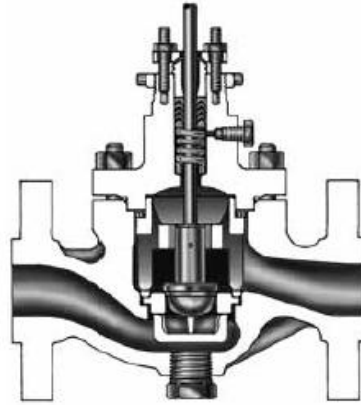
Banyak ragam pada bagian dalam katup yang telah dikembangkan dalam beberapa tahun terakhir. Beberapa telah digunakan dalam kajian yang luas dan lainnya digunakan dalam kondisi tertentu.

2.3.1 Katup Sumbat

Single-Port Valve Bodies

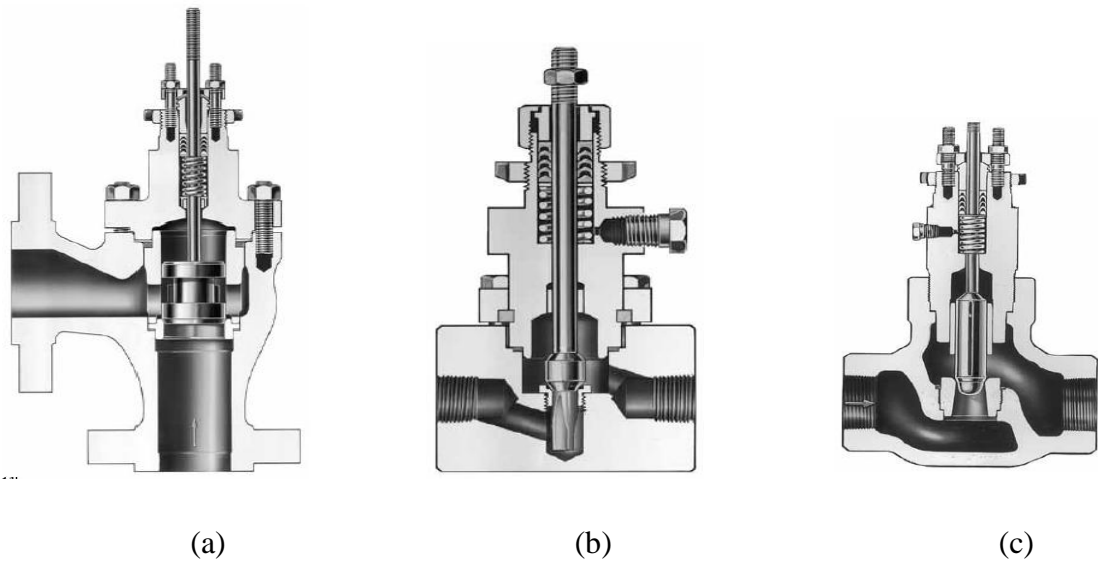
Tipe ini adalah tipe yang paling umum digunakan dan mempunyai bentuk yang sederhana. Katup *single-port* mempunyai berbagai macam bentuk seperti globe, sudut,

bar stock, forged dan konstruksi terpisah. Tekanan tinggi fluida pada umumnya akan terjadi pada seluruh permukaan dari katup dapat menimbulkan gaya yang tidak seimbang pada permukaan, hal tersebut dapat menjadi pertimbangan untuk pemilihan aktuatur yang sesuai.



Gambar 2.29 *Single-port valve bodies* (Ref. 4 hal 42)

Katup dengan tipe *single-port valve bodies* dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu, jenis sudut, *bar-stock* dan tekanan tinggi. Katup jenis sudut hampir selalu mempunyai satu pintu. Biasanya digunakan untuk pengisian boiler dan saluran pemanas dan biasanya terletak di mana tempat menjadi sangat terbatas, katup ini juga dapat digunakan sebagai *elbow*. Katup jenis *bar-stock* sering dipakai untuk industri kimia pada aplikasi yang bersifat korosif, karena dibuat dengan bahan antikorosi maka katup ini mempunyai harga yang cukup mahal. Sedangkan untuk tipe *single-ported* untuk tekanan tinggi sering digunakan untuk mengalirkan gas dan minyak.



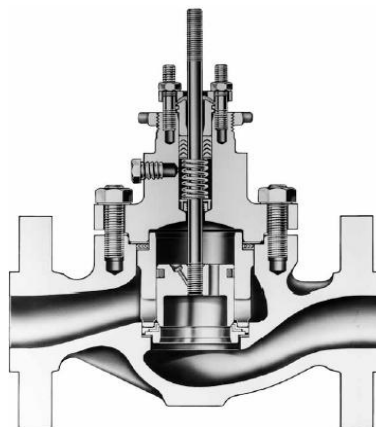
(a) (b) (c)

Gambar 2.30 (a) Tipe sudut,

(b) Tipe bar stock, (c) Tipe tekanan tinggi (Ref. 4 hal 43)

Balanced-Plug Case-Style Valve Bodies

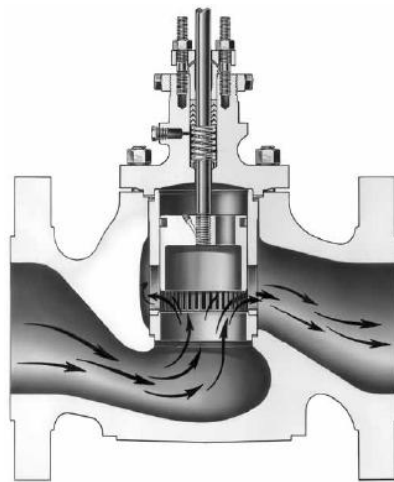
Tipe populer ini mempunyai keuntungan dari segi keseimbangan pada sumbat katup. Wadah jenis *cage* memberikan alur pada sumbat, penyimpanan cincin, dan karakteristik aliran. Ditambah dengan seal piston tipe cincin yang berada pada bagian atas sumbat katup dan silinder dapat menghilangkan kebocoran dari tekanan tinggi pada input dan tekanan rendah dari output. Tekanan yang terjadi berada pada bagian atas dan bawah sumbat katup, sehingga dapat menghilangkan gaya statis yang tidak seimbang.



Gambar 2.31 *Balanced-plug case-style valve bodies* (Ref. 4 hal 43)

High-Capacity, Cage-Guided Valve Bodies

Tipe ini selain mempunyai wadah jenis *cage* seperti katup *Balanced-plug* juga memiliki perangkat peredam suara. Biasa digunakan pada aplikasi gas tekanan tinggi dan di gunakan selain sebagai penyalur juga sebagai peredam suara untuk gas dengan kecepatan tinggi yang terjadi di dalam kerangka katup, peredaman suara hingga mencapai 35 desibel. Arah aliran dapat digunakan sesuai keinginan dimana, untuk konstruksi tidak seimbang aliran mengarah ke atas dan konstruksi seimbang aliran menuju ke bawah.



Gambar 2.32 *High-capacity valve body* dengan peredam suara (Ref. 4 hal 44)

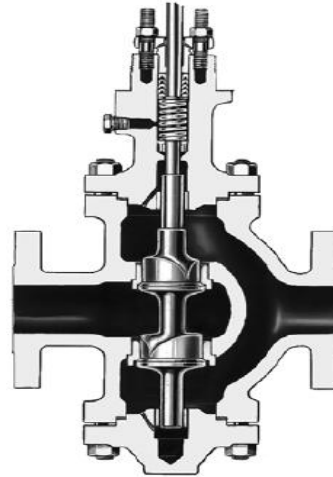
Port-Guided Single-Port Valve

Katup dengan jenis ini mempunyai tekanan operasi maksimum hingga 10 bar (150 psi). Jenis ini rentan terhadap kecepatan tinggi yang menghasilkan getaran. Pada umumnya pemasangan dilakukan dengan menggunakan *screw-ring* yang sulit untuk dilepas jika sudah terpasang.

Double-Ported Valve Bodies

Gaya dinamis yang ada cenderung setimbang karena, saat aliran membuka satu gerbang, gerbang lainnya akan tertutup. Dengan berkurangnya gaya dinamis maka dapat menggunakan aktuator dengan ukuran yang kecil seperti yang digunakan oleh katup

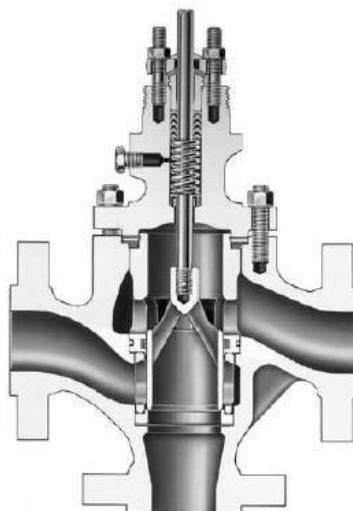
satu gerbang pada kapasitas yang sama. Kerangka biasanya memiliki kapasitas yang lebih besar daripada katup satu gerbang pada ukuran saluran yang sama. Dapat digunakan secara terbalik, gerakan menurun untuk membuka atau menutup.



Gambar 2.33 *Double-ported valve bodies* (Ref. 4 hal 44)

Three-Way Valve Bodies

Mempunyai tiga buah saluran, dapat digunakan untuk proses pencampuran atau pemisahan. Tipe terbaik menggunakan wadah untuk mengatur jalannya sumbat dan mempermudah perawatan. Penggunaan aktuator lebih diperhatikan karena adanya gaya yang tidak seimbang pada permukaan sumbat katup.



Gambar 2.34 *Three-way valve bodies* (Ref. 4 hal 45)

2.3.2 Katup Rotari

Butterfly Valve Bodies

Tipe ini dapat digunakan pada ruangan yang kecil untuk pemasangannya. Mempunyai kapasitas besar dengan kerugian tekanan yang kecil pada saat aliran melewati katup karena itu sangat ekonomis untuk digunakan terutama pada ukuran besar. Pada umumnya putaran dari katup mencapai 60° , tapi untuk aliran dinamis dapat mencapai 90° . Kerugiannya adalah membutuhkan aktuator dengan daya dan ukuran yang besar untuk menggerakkan katup pada pengoperasian tekanan tinggi.

Gambar 2.35 Katup tipe *Butterfly* (Ref. 4 hal 45)

V-Notch Ball Control Valve Bodies

Konstruksi tipe ini mirip dengan katup bola biasa, tapi mempunyai kontur berbentuk V, kontur ini berfungsi untuk menghasilkan karakteristik aliran yang seimbang. Pada umumnya industri kertas, kimia, pengolahan limbah tanaman dan kilang minyak bumi menggunakan katup jenis ini. Desainnya dapat membuat aliran mengalir dengan lurus sehingga memperkecil penurunan tekanan. Memakai aktuator tipe diafragma standar atau rotari piston, kemudian bola katup bersentuhan dengan seal sehingga dapat mengurangi penyumbatan.



Gambar 2.36 Katup bola V-Notch (Ref. 4 hal 46)

Eccentric-Disk Control Valve Bodies

Tipe ini menawarkan kontrol pelambatan yang efektif. Saat katup terbuka 90° maka fluida mengalir dalam aliran yang linier. Karena bentuk yang unik dari piringannya maka dapat meminimalkan pemakaian seal dan mempunyai bermacam ukuran hingga 24 inci. Arah dari aliran dibuat berdasarkan pemasangan seal, aliran yang terbalik dari yang seharusnya dapat mengakibatkan berkurangnya kapasitas.

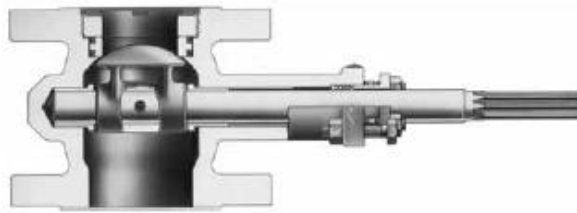


Gambar 2.37 Katup *eccentric-disk control* (Ref. 4 hal 47)

Eccentric-Plug Control Valve Bodies

Disusun untuk menghalangi terjadinya erosi, mampu menahan suhu tinggi hingga 800° F (427° C) dan menghentikan pressure drop hingga 1500 psi (103 bar). Bentuk unik dari sumbat dapat meminimalkan kontak dengan dudukan saat digerakkan, mengurangi gesekan, memperpanjang umur pemakaian dan meningkatkan kemampuan

gerak. Tipe dari katup rotari ini cocok digunakan pada fluida yang erosif dan sulit untuk dikendalikan.



Gambar 2.38 Katup *eccentric-plug control* (Ref. 4 hal 47)

2.3.3 Kalkulasi Kerugian

Total kerugian digambarkan sebagai jumlah dari kerugian mayor, karena gesekan pada pipa disepanjang aliran dan kerugian minor akibat bentuk pipa masukan, katup, atau perubahan bentuk lainnya.

2.3.3.1 Kerugian Mayor

Untuk perhitungan kerugian mayor digunakan persamaan energi kinetik. Untuk aliran pada pipa dengan area tetap, kerugian minor sama dengan 0, dan kecepatan aliran sama maka,

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho} = g(z_2 - z_1) + h_l$$

Jika pipa horizontal maka, $z_1 = z_2$ dan

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho} = \frac{\Delta p}{\rho} = h_l$$

Dapat dikatakan bahwa kerugian mayor merupakan tekanan yang hilang pada aliran berkembang penuh pada pipa horizontal.

Aliran Laminer

Pada aliran laminer, penurunan tekanan pada pipa horizontal dapat dirumuskan sebagai,

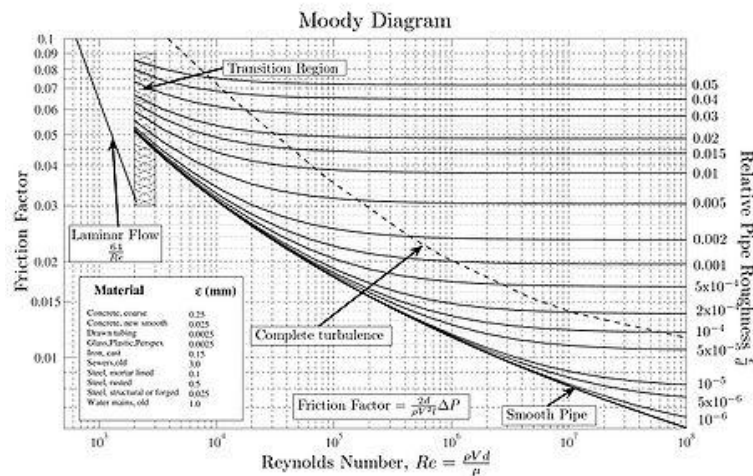
$$h_l = 32 \frac{L\mu\bar{V}}{D\rho D} = \frac{L\bar{V}^2}{D^2} \left(64 \frac{\mu}{\rho\bar{V}D} \right) = \left(\frac{64}{Re} \right) \frac{L\bar{V}^2}{D^2}$$

Aliran Turbulen

Pada aliran turbulen kita tidak bisa menghitung penurunan tekanan secara analisis, kita harus melakukan kaji eksperimental dan menggunakan analisis dimensi untuk mendapatkannya. Dari analisis yang dilakukan didapatkan kerugian mayor untuk aliran turbulen adalah,

$$h_l = f \frac{L\bar{V}^2}{D}$$

Dimana f merupakan faktor gesekan yang didapat dari diagram Moody,



Gambar 2.39 Diagram Moody (Ref. 5 hal 333)

2.3.3.2 Kerugian Minor

Aliran pada sistem pipa memungkinkan untuk melewati banyak belokan, perubahan bentuk dan lainnya. Karena itu terjadi penambahan kerugian, utamanya karena aliran separasi. Kerugian-kerugian tersebut disebut dengan kerugian minor.

Kerugian minor dapat dinyatakan dengan,

$$h_{l_m} = k \frac{\overline{V}^2}{2}$$

Dengan k merupakan koefisien rugi, yang nilainya bergantung pada situasi yang dihadapi. Kerugian minor juga dapat dinyatakan dengan,

$$h_{l_m} = f \frac{L_e \overline{V}^2}{D 2}$$

dimana L_e adalah panjang ekuivalen pipa.

Katup dan perlengkapan pipa

Kerugian aliran yang melewati katup dan perlengkapan pipa dapat ditunjukkan dengan rugi koefisien. Semua tahanan terjadi saat katup terbuka penuh, kerugian akan meningkat saat katup semakin menutup.

Tabel 2.1. Koefisien rugi untuk perlengkapan pipa (Ref. 7 hal 489)

Tipe perlengkapan pipa	Koefisien rugi, K
Katup gerbang	0.15
Katup globe	10
Katup sudut	2
Katup bola	0.05
Elbow : 90°	1.5
Elbow : 45°	0.2

2.4 POMPA

Pompa adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan suatu cairan dari suatu tempat ke tempat lain dengan cara menaikkan tekanan cairan tersebut. Kenaikan tekanan cairan tersebut digunakan untuk mengatasi hambatan hambatan pengaliran. Hambatan-hambatan pengaliran itu dapat berupa perbedaan tekanan, perbedaan ketinggian atau hambatan gesek.

2.4.1. Karakteristik Sistem Pemompaan

Ada beberapa karakteristik dari sistem pemompaan antara lain :

A. Tahanan sistem (*head*)

Tekanan diperlukan untuk memompa cairan melewati sistem pada laju tertentu. Tekanan ini harus cukup tinggi untuk mengatasi tahanan sistem, yang juga disebut "*head*". *Head* total merupakan jumlah dari *head* statik dan *head* gesekan/friksi.

1. *Head* statik

Head statik merupakan perbedaan tinggi antara sumber dan tujuan dari cairan yang dipompakan. *Head* statik merupakan aliran yang independen. *Head* statik pada tekanan tertentu tergantung pada berat cairan. *Head* statik terdiri dari:

- *Head* hisapan statis (h_s) : dihasilkan dari pengangkatan cairan relatif terhadap garis pusat pompa. h_s nilainya positif jika ketinggian cairan di atas garis pusat pompa, dan negatif jika ketinggian cairan berada di bawah garis pusat pompa (juga disebut "pengangkat hisapan")
- *Head* pembuangan statis (h_d) : jarak vertikal antara garis pusat pompa dan permukaan cairan dalam tangki tujuan.

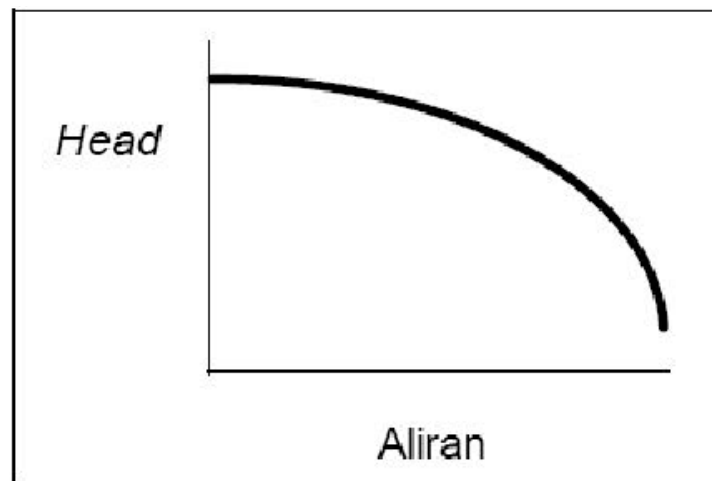
2. *Head* gesekan/friksi (h_f)

Ini merupakan kehilangan yang diperlukan untuk mengatasi tahanan untuk mengalir dalam pipa dan sambungan-sambungan. *Head* ini tergantung pada ukuran, kondisi dan jenis pipa, jumlah dan jenis sambungan, debit aliran, dan sifat dari cairan.

Head gesekan/friksi sebanding dengan kuadrat debit aliran. *Loop* tertutup sistem sirkulasi hanya menampilkan *head* gesekan/friksi (bukan *head* statik). Dalam hampir kebanyakan kasus, *head* total sistem merupakan gabungan antara *head* statik dan *head* gesekan.

B. Kurva kinerja pompa

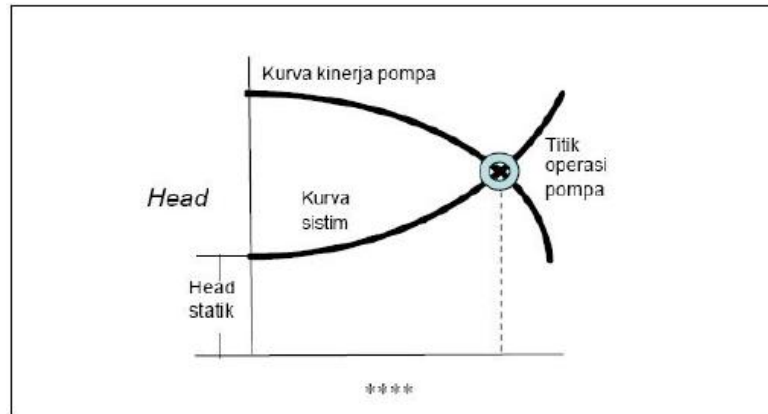
Head dan debit aliran menentukan kinerja sebuah pompa yang secara grafis ditunjukkan dalam Gambar 2.40 sebagai kurva kinerja atau kurva karakteristik pompa sentrifugal. Gambar memperlihatkan kurva pompa sentrifugal dimana *head* secara perlahan turun dengan meningkatnya aliran. Dengan meningkatnya tahanan sistem, *head* juga akan naik. Hal ini pada gilirannya akan menyebabkan debit aliran berkurang dan akhirnya mencapai nol. Debit aliran nol hanya dapat diterima untuk jangka pendek tanpa menyebabkan pompa terbakar.



Gambar 2.40 Kurva kinerja sebuah pompa sentrifugal (Ref. 9)

C. Titik operasi pompa

Debit aliran pada head tertentu disebut titik tugas. Kurva kinerja pompa terbuat dari banyak titik-titik tugas. Titik operasi pompa ditentukan oleh perpotongan kurva sistem dengan kurva.



Gambar 2.41 Titik operasi pompa (Ref. 9)

D. Kinerja hisapan pompa (NPSH)

Kavitasi atau penguapan adalah pembentukan gelembung di bagian dalam pompa. Hal ini dapat terjadi jika tekanan statik fluida setempat menjadi lebih rendah dari tekanan uap cairan (pada suhu sebenarnya). Kemungkinan penyebabnya adalah jika fluida semakin cepat dalam kran pengendali atau disekitar impeller pompa. Penguapan itu sendiri tidak menyebabkan kerusakan. Walau demikian, bila kecepatan berkurang dan tekanan bertambah, uap akan menguap dan jatuh. Hal ini memiliki tiga pengaruh yang tidak dikehendaki:

- Erosi permukaan baling-baling, terutama jika memompa cairan berbasis air.
- Meningkatnya kebisingan dan getaran, mengakibatkan umur sil dan bearing menjadi lebih pendek.
- Menyumbat sebagian lintasan impeller, yang menurunkan kinerja pompa dan dalam kasus yang ekstrim dapat menyebabkan kehilangan *head* total. Head Hisapan Positif Netto Tersedia / *Net Positive Suction Head Available* (NPSHA) menandakan jumlah hisapan pompa yang melebihi tekanan uap cairan, dan merupakan karakteristik rancangan sistem. NPSH yang diperlukan (NPSHR) adalah hisapan pompa yang diperlukan untuk menghindari kavitasi, dan merupakan karakteristik rancangan pompa.

2.5 SISTEM KONTROL

Sistem kontrol merupakan suatu alat atau rangkaian alat yang digunakan untuk mengatur, memerintah, dan menjalankan tingkah laku dari sebuah alat atau sistem lain. Istilah "sistem kontrol" biasanya berlaku untuk kontrol manual dimana operator diijinkan untuk, contohnya, membuka atau menutup sebuah sistem yang membutuhkan tingkat keamanan tertentu. Sistem tersebut hanya dapat dibuka jika telah memenuhi syarat logika yang dibutuhkan sehingga aman bagi operator tersebut untuk membukanya.

Terdapat dua jenis sistem kontrol yang umum digunakan, yaitu

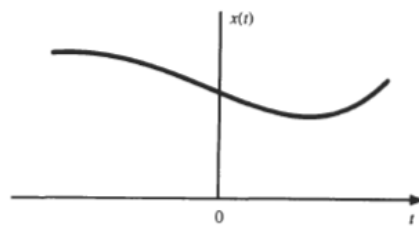
1. Kontrol logika, digunakan pada industri dan mesin-mesin komersial biasanya diletakkan pada tegangan utama sistem dengan menggunakan relay, dirancang menggunakan tangga logika. Kini, sebagian besar telah dibangun dengan menggunakan *programmable logic controller* (PLC) dan mikro kontroler. Kontrol logika cukup mudah untuk dirancang dan dapat mengatasi operasi sistem yang rumit.
2. Kontrol linier, menggunakan sistem *feedback* untuk menghasilkan signal kontrol berupa fungsi matematika, dengan operasi untuk mengatur sistem pada batasan yang telah dibuat. Keluaran dari kontrol linier ini biasanya berupa signal langsung, seperti menggerakkan beda dari posisi 0 % ke posisi 100 %.

2.5.1 Signal

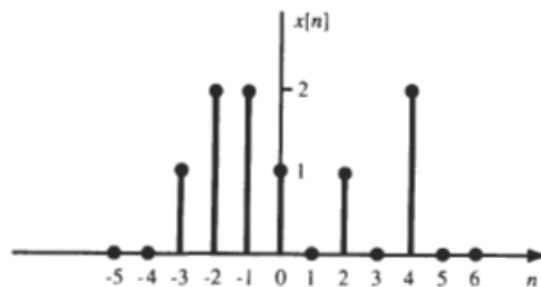
Signal adalah fungsi yang mewakili bentuk fisik atau variabel, dan biasanya menampilkan informasi mengenai tingkah laku atau sifat dari suatu fenomena. Secara matematika, signal mewakili fungsi dari variabel bebas t , t pada umumnya mewakili waktu. Dan signal di lambangkan dengan $x(t)$. Macam-macam signal adalah signal *Continuous-Time* dan *Discrete-Time*, signal analog dan digital, signal riil dan kompleks dan signal tetap dan acak.

Signal *Continuous-Time* dan *Discrete-Time*

Signal $x(t)$ merupakan signal *continuous-time* jika merupakan variabel yang teru-menerus. Jika t adalah variabel yang tersendiri maka $x(t)$ merupakan signal *discrete-time*. Karena signal *discrete-time* diterapkan saat waktu tertentu maka, sering juga bisebut dengan rangkaian angka, dilambangkan dengan $\{x_n\}$ atau $x[n]$ dimana n =bilangan bulat. Secara grafik kedua signal ini dapat di tampilkan sebagai berikut.



Gambar 2.41 Grafik signal *Continuous-Time* (Ref. 6 hal 1)



Gambar 2.42 Grafik signal *Discrete-Time* (Ref. 6 hal 1)

Signal Analog dan Digital

Jika signal *continuous-time* $x(t)$ dapat mengambil nilai berapa pun dari interval kontinu (a,b) , dimana a merupakan $-\infty$ dan b merupakan $+\infty$ maka signal *Continuous-Time* $x(t)$ disebut dengan signal analog. Jika signal *discrete-time* $x[n]$ hanya dapat mengambil jumlah terbatas dari nilai yang berbeda, kita menyebut signal ini dengan signal digital.

Signal Riil dan Kompleks

Sebuah signal $x(t)$ adalah signal riil saat nilainya merupakan bilangan nyata dan signal $x(t)$ merupakan signal kompleks saat nilainya bilangan kompleks. Fungsi umum dari signal kompleks $x(t)$ adalah

$$x(t) = x_1(t) + jx_2(t)$$

Dimana $x_1(t)$ dan $x_2(t)$ signal riil dan $j = \sqrt{-1}$

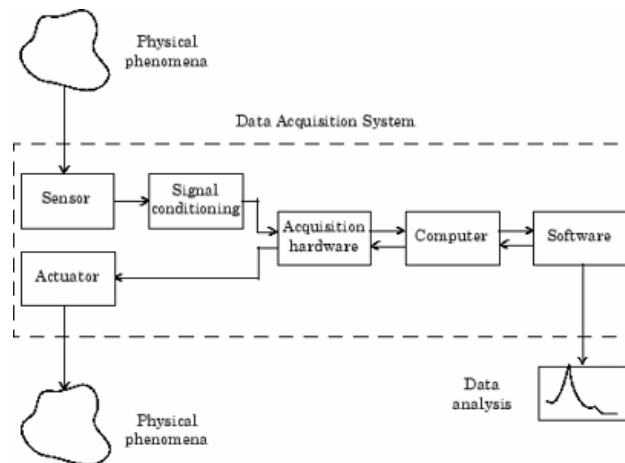
Signal Tetap dan Acak

Signal tetap terjadi saat nilai yang keluar tetap pada berbagai waktu. Dengan demikian signal tetap dapat dimodelkan dengan fungsi waktu t . Signal acak merupakan signal yang mempunyai nilai yang acak dalam berbagai waktu dan biasanya dihitung menggunakan data statistik.

2.5.2 Data Akusisi

Data akusisi atau yang disingkat dengan DAQ merupakan sebuah instrumen elektronik yang memproses data dari data fisik (analog) menjadi data numerik digital sehingga dapat dimanipulasi dengan komputer. Komponen dari DAQ meliputi :

- Sensor yang mengubah data analog menjadi signal elektrik
- Sistem pengkondisian sinyal untuk mengubah signal sensor menjadi bentuk yang dapat dikonversi menjadi nilai digital.
- Analog - digital konverter untuk mengubah signal menjadi data digital.



Gambar 2.44 Skema sistem akusisi [Ref. 10]

2.5.3 Sifat-sifat Sistem Kontrol

Dalam sistem kontrol terdapat hal-hal lain pada sistem yang harus diperhatikan. Hal-hal tersebut memegang peranan dalam pembangunan dan kehandalan dari sistem. Sifat dari sistem dapat mempengaruhi kinerja dari sistem, sifat-sifat itu diantara lainnya adalah

- **Akurasi** : nilai ketepatan sistem untuk mendapatkan hasil yang diinginkan.
- **Presisi** : nilai dimana sistem dapat mereproduksi hasil secara sama terus menerus pada kondisi yang sama.
- **Bias error** : nilai kesalahan konstan yang terjadi pada berbagai pengukuran
- **Sensitivity** : perubahan nilai output dibagi perubahan nilai input
- **Linearity** : range dari instrument dimana antara input dan output membentuk fungsi linier
- **Resolution** : kenaikan input terkecil yg terdeteksi di output
- **Threshold** : kenaikan input dari nol yg mulai terdeteksi di output
- **Repeatability** : kemampuan mampu ulang instrument dalam pengukuran
- **Hysteresis** : perbedaan nilai output untuk input yang sama, saat pengukuran dengan nilai input naik dan turun.
- **Drift** : variasi nilai output yg tdk disebabkan perubahan nilai input
- **Zero Ability** : kemampuan alat utk kembali ke nilai nol setelah dipakai

- *Dead Band* : perubahan max dari media yang diukur yg tdk terdeteksi alat ukur
- *Range / span* : rentang untuk skala penuh (full scale)

2.6 LabVIEW

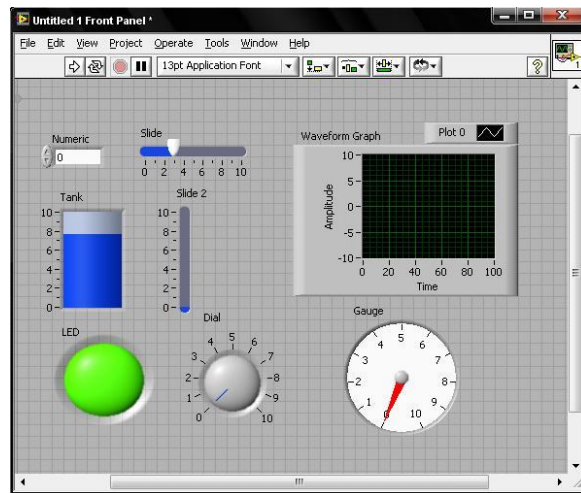
LabVIEW atau *Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench* merupakan suatu program untuk bahasa pemrograman visual yang dikembangkan oleh National Instrument (NI). Tujuan dari program ini adalah untuk mengotomatisasi penggunaan alat ukur dan proses di dalam suatu labrotatium. Bahasa visual yang digunakan dinamakan bahasa "G". Awalnya diluncurkan untuk apple pada tahun 1986, labVIEW umumnya digunakan untuk akusisi data, kontrol, dan automatisasi industri.

2.6.1 Komponen-komponen LabVIEW

Komponen-komponen dalam program labVIEW meliputi, jendela depan (*front panel*), blok diagram, panel kontrol dan panel fungsi.

Jendela Depan (Front Panel)

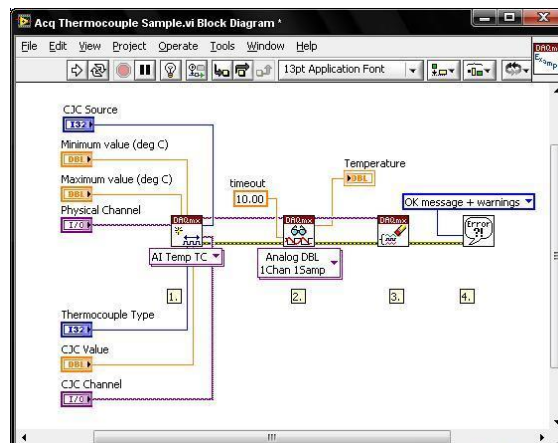
Jendela depan merupakan halaman antarmuka dari labVIEW. Jendela depan digunakan untuk beriteraksi dengan pengguna saat program dijalankan. Pengguna dapat mengatur program, mengganti masukan data dan melihat data yang masuk secara waktu nyata. Jendela depan dibangun dengan kontrol dan indikator, kontrol meliputi knop, tombol, dan dial sedangkan indikator adalah grafik, LED dan lainnya.



Gambar 2.45 Jendela depan dengan berbagai kontrol dan indikator

Blok Diagram

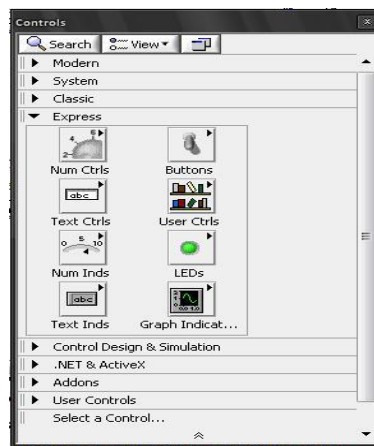
Blok diagram berisi kode grafik. Objek dari jendela depan muncul pada blok diagram sebagai sambungan dan blok diagram juga berisi fungsi dan struktur dari librari labVIEW. Kawat dihubungkan antar titik pada blok diagram, termasuk sambungan kontrol dan indikator, fungsi dan struktur.



Gambar 2.46 Jendela blok diagram

Panel Kontrol

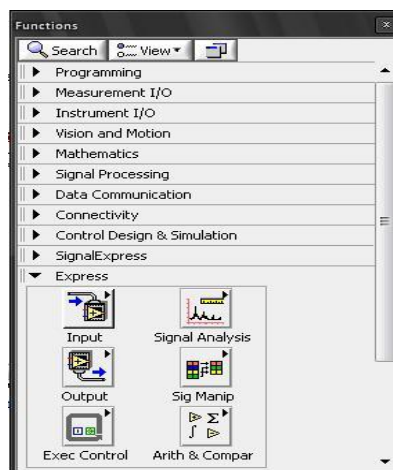
Panel kontrol digunakan untuk meletakkan kontrol dan indikator pada jendela depan. Panel kontrol hanya tersedia untuk jendela depan. Panel ini akan muncul secara otomatis saat menjalankan program labVIEW atau bisa dimunculkan dengan menekan tombol kanan pada mouse.



Gambar 2.47 Panel kontrol

Panel Fungsi

Panel fungsi digunakan untuk membangun blok diagram. Panel fungsi hanya terdapat pada jendela blok diagram.



Gambar 2.48 Panel fungsi

BAB III

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SISTEM KONTROL

3.1 PERANCANGAN SISTEM KONTROL

Dinamometer tipe water brake memakai air sebagai penghisap daya kendaraan. Air yang digunakan memiliki kriteria tertentu yang dapat digunakan sebagai beban masuk pada dinamometer. Air ini diharapkan memiliki tekanan konstan pada saat memasuki dinamometer, tekanan yang diberikan sebesar 30 – 40 psi, tekanan ini disebut dengan tekanan kerja dinamometer.

Debit air yang masuk menjadi beban dalam dinamometer akan menjadi tahanan putaran mesin yang terhubung melalui poros menuju dinamometer. Debit air ini dapat bervariasi bergantung pada besarnya beban tahanan yang kita inginkan. Semakin besar debit air maka semakin besar pula tahanan yang ada.

Tujuan dari perancangan ini adalah untuk mengatur besarnya debit air yang akan dijadikan tahanan putaran mesin pada tekanan kerja konstan yaitu pada 30 – 40 psi. Perancangan sistem ini dilakukan karena kita akan sulit untuk mendapatkan nilai konstan tekanan saat debitnya diubah sesuai dengan keinginan. Tekanan akan berubah seiring dengan diubahnya posisi bukaan katup untuk mengatur debit air. Sistem yang akan dirancang ini akan mengatur bukaan katup pada posisi *inlet* dinamometer dan posisi *outlet* dinamometer, sehingga pada saat kita mengatur besarnya debit air yang masuk ke dalam dinamometer dengan katup *inlet* maka katup *outlet* akan bergerak dan mengatur bukaannya sehingga tekanan yang masuk kedalam dinamometer akan terus konstan sebesar 30 – 40 psi, dalam perancangan ini tekanan dijaga konstan pada 30 psi.

3.1.1 Variabel

Dalam perancangan dinamometer ini terdapat berbagai macam variabel yang saling berkaitan diantaranya debit, tekanan dan posisi bukaan katup.

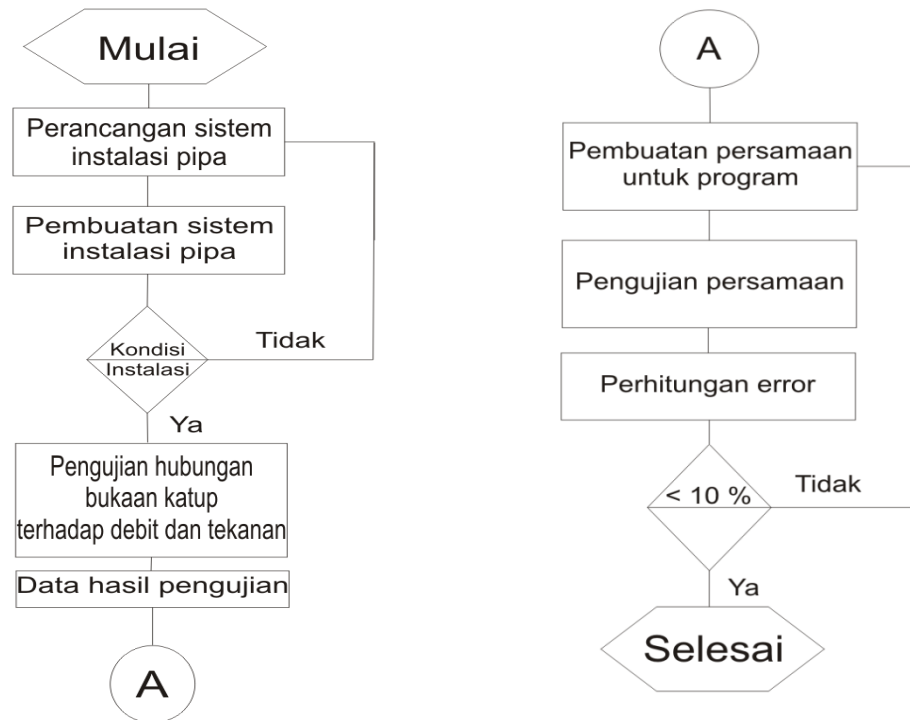
Variabel Tetap

Variabel tetap yang dimaksud di sini adalah variabel yang nilainya tidak berubah pada saat variabel lainnya berubah. Perancangan kali ini bertujuan untuk mendapatkan nilai debit yang berbeda pada saat tekanan konstan yang sama. Maka dari itu tekanan kerja yang berada pada nilai 30-40 psi merupakan variabel tetap pada perancangan.

Variabel Tak Tetap

Variabel ini nilainya berubah-ubah tergantung dengan nilai yang diinginkan oleh operator. Pada perancangan kali ini nilai yang berubah adalah besarnya debit air yang masuk ke dalam dinamometer. Karena debit pada dinamometer berhubungan erat dengan bukaan katup maka posisi bukaan katup juga ikut berubah. Maka kemudian posisi bukaan katup dan nilai debit air menjadi variabel tak tetap.

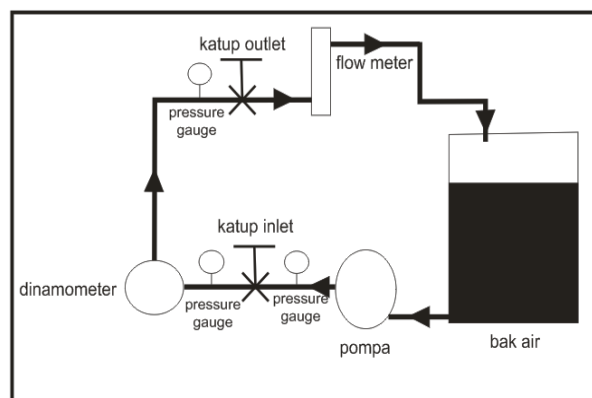
3.1.2 Metodologi Penelitian



Gambar 3.1 Metodologi penelitian

3.2 PEMBUATAN SISTEM KONTROL

3.2.1 Instalasi Perpipaan



Gambar 3.2 Instalasi perpipaan

Dalam instalasi ini terdapat peralatan-peralatan diantaranya :

- Sebuah dinamometer tipe water brake
- Dua buah katup
- Dua buah aktuator
- Tiga buah pengukur tekanan
- Sebuah alat ukur debit air
- Sebuah pompa sentrifugal
- Sebuah tempat pemampungan air

Instalasi ini memakai pipa besi dengan panjang total 4.34 meter. Sebuah pompa sentrifugal digunakan untuk mengalirkan air yang berada pada tempat penampungan air dengan ukuran tinggi 87 cm dan diameter 25.4 cm yang berisi air dengan tinggi 50 cm. Katup berada pada posisi *inlet* dari dinamometer yang kemudian disebut dengan K1 dan pada posisi *outlet* pada dinamometer yang akan disebut dengan K2.

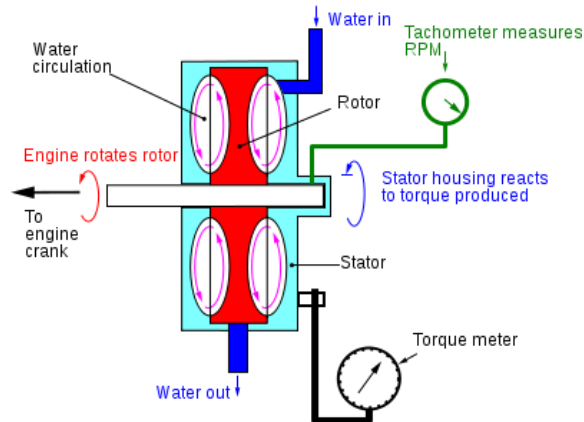
Posisi-posisi dari alat pengukur tekanan berada pada titik *inlet* pada K1 dan titik *outlet* pada K1 yang juga sebagai titik *inlet* pada dinamometer. Posisi lainnya adalah berada pada titik *inlet* pada K2 yang juga merupakan titik *outlet* pada dinamometer. Alat pengukur debit yang digunakan merupakan tipe linier.

3.2.2 Mekanisme Kerja

Dinamometer tipe *water brake*

Dinamometer tipe *water brake* adalah dinamometer yang menggunakan sistem hidrolis atau fluida untuk menyerap daya mesin. Fluida yang digunakan biasanya air, dimana air berfungsi sebagai media pendingin dan media gesek perantara. Dinamometer water brake ini memiliki dua komponen penting yaitu sudu gerak (rotor) dan sudu tetap (stator). Rotor terhubung dengan poros mesin yang akan diukur, dimana putaran dari mesin tersebut memutar rotor dinamometer. Rotor akan mendorong air di dalam dinamometer, sehingga air akan terlempar menghasilkan tahanan terhadap putaran mesin dan menghasilkan panas. Aliran air secara kontinu melalui rumah (casing) sangat penting untuk menurunkan temperatur dan juga untuk melumasi seal pada poros.

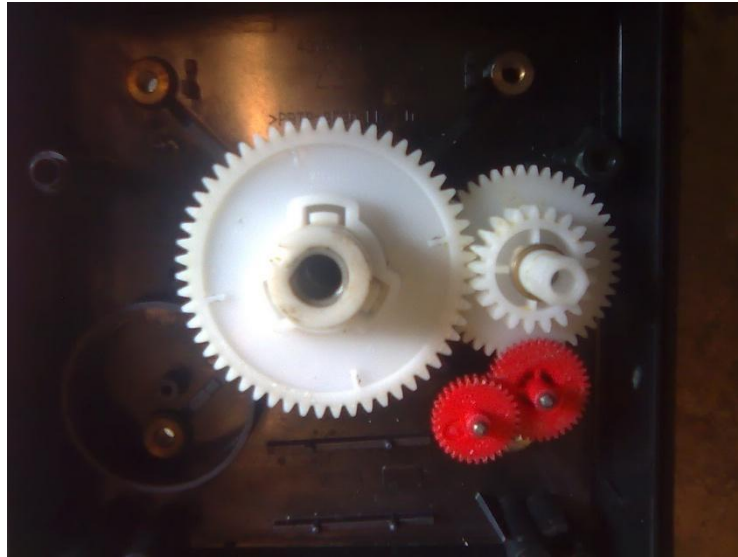
Sedangkan stator terletak berhadapan dengan rotor dan terhubung tetap pada casing. Pada casing dipasang lengan, dimana pada ujung lengan terdapat alat ukur pembebanan sehingga torsi yang terjadi dapat diukur.



Gambar 3.3 Mekanisme kerja dinamometer tipe *water brake* (Ref. 10)

Katup dan aktuator

Katup yang digunakan merupakan katup linier dengan tipe *globe*. Katup tersebut bergerak secara linier naik dan turun dengan bantuan dari aktuator. Aktuator yang digunakan merupakan tipe motor listrik. Motor listrik ini digerakkan dengan menggunakan tegangan DC dan rangkaian aktuator digerakkan dengan tegangan AC sebesar 24 VAC. Motor listrik yang sudah diberi tegangan tertentu akan berputar, putaran dari motor listrik tersebut akan memutar rangkaian roda gigi yang ada di bawahnya. Roda gigi tersebut akan bergerak dan membuat *stroke* pada katup bergerak naik atau turun.

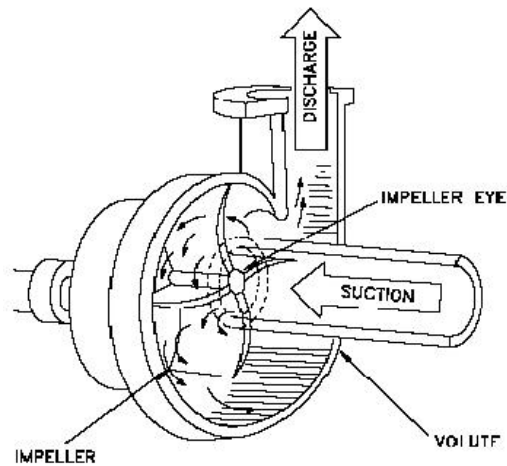


Gambar 3.4 Rangkaian roda gigi

Pompa sentrifugal

Pompa sentrifugal secara prinsip terdiri dari casing pompa dan impeller yang terpasang pada poros putar. Casing pompa berfungsi sebagai pelindung, batas tekan dan juga terdiri dari saluran- saluran yang untuk masukan (*suction*) dan keluaran (*discharge*). Casing ini memiliki *vent* dan *drain* yang berguna untuk melepas udara atau gas yang terjebak dalam casing selain untuk juga berguna perawatannya.

Gambar ilustrasi di bawah ini merupakan diagram sederhana daripada pompa sentrifugal yang menunjukkan lokasi dari *suction* pompa, impeller, *volute* dan *discharge*. Casing pompa sentrifugal menuntun aliran suatu cairan dari saluran suction menuju mata (*eye*) impeller. Vanes daripada impeller yang berputar meneruskan dan memberikan gaya putar sentrifugal kepada cairan ini sehingga cairan bergerak menuju keluar impeller dengan kecepatan tinggi. Cairan tersebut kemudian sampai dan mengumpul pada bagian terluar casing yaitu *volute*. *Volute* ini merupakan area atau saluran melengkung yang semakin lama semakin membesar ukurannya, dan seperti halnya *diffusor*, *volute* berperan besar dalam hal peningkatan tekanan cairan saat keluar dari pompa, merubah energi kecepatan menjadi tekanan. Setelah itu liquid keluar dari pompa melalui saluran *discharge*.

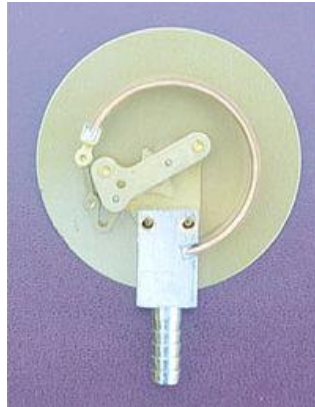


Gambar 3.5 Mekanisme kerja pompa sentrifugal (Ref. 11)

Alat ukur tekanan

Alat pengukur tekanan yang digunakan adalah tipe Bourdon atau yang dikenal dengan nama manometer. Prinsip kerja dari alat ini adalah sebuah tabung yang berada di dalam manometer akan cenderung membentuk lingkaran saat diberikan tekanan. Meskipun perubahan bentuk ini tidak tampak jelas tapi, material tabung tersebut mempunyai mempunyai nilai elastisitas tertentu.

Regangan pada material tabung ini akan diperbesar dengan membentuk tabung kedalam bentuk C atau heliks. Sehingga saat diberikan tekanan tabung akan bergerak melingkar kemudian gerakan tersebut di sambung dengan rangkaian untuk mempermudah pembacaan regangannya. Nilai regangan tersebut yang kemudian akan dikalibrasi untuk mendapatkan nilai tekanan.



Gambar 3.6 Bagian dalam manometer (Ref. 10)

Alat ukur debit

Alat pengukur debit yang digunakan adalah tipe linier. Alat ini juga disebut dengan *float meter*. *Float meter* digunakan untuk mengukur aliran fluida atau gas secara langsung. Prinsip kerjanya adalah bola atau beban yang berada di dalam alat ukur ini akan naik seiring dengan masuknya aliran, bola ini akan bergerak naik dan turun hingga gaya drag aliran dan berat bola seimbang.



Gambar 3.7 *Float meter* (Ref. 10)

3.2.3 Hubungan bukaan katup dan tegangan input

Katup yang digunakan akan bergerak seiring dengan adanya tegangan input yang diberikan pada aktuator. Tegangan input yang diberikan memiliki nilai dari 0 – 10 VDC. Input tegangan 0 VDC adalah pada posisi buka 100 % dan input tegangan 100 % adalah pada posisi buka 0 %.

Katup Inlet

Tabel 3.1 Hubungan tegangan input dan bukaan katup dari posisi buka 100% hingga 0%

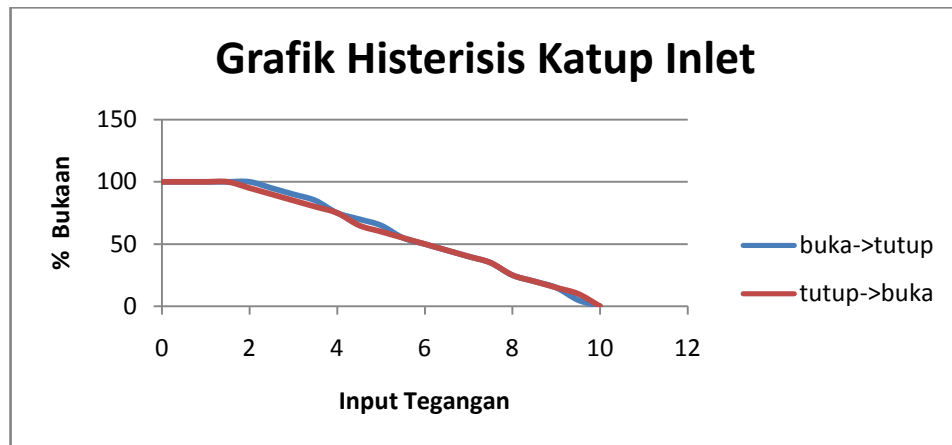
Vdc	Bukaan (mm)	%
0	20	100
0.5	20	100
1	20	100
1.5	20	100
2	20	100
2.5	19	95
3	18	90
3.5	17	85
4	15	75
4.5	14	70
5	13	65
5.5	11	55
6	10	50
6.5	9	45
7	8	40
7.5	7	35
8	5	25
8.5	4	20
9	3	15
9.5	1	5
10	0	0

Pengujian ini dilakukan dengan memasukan tegangan dari 0 VDC hingga 10 VDC. Pada katup *inlet* akan mulai bergerak jika diberikan tegangan 2.5 VDC. Bukaan terendah dari katup ini pada bukaan 5 % saat di berikan tegangan 9.5 VDC.

Tabel 3.2 Hubungan tegangan input dan bukaan katup dari posisi buka 0% hingga 100%

Vdc	Bukaan (mm)	%
10	0	0
9.5	2	10
9	3	15
8.5	4	20
8	5	25
7.5	7	35
7	8	40
6.5	9	45
6	10	50
5.5	11	55
5	12	60
4.5	13	65
4	15	75
3.5	16	80
3	17	85
2.5	18	90
2	19	95
1.5	20	100
1	20	100
0.5	20	100
0	20	100

Pengujian ini dilakukan dengan memasukan tegangan dari 10 VDC hingga 0 VDC. Pada masukan input 1.5 katup telah terbuka 100 %. Pada masukan pertama yaitu 9.5 VDC terjadi penambahan bukaan menjadi 10 % jika dibandingkan dengan sebelumnya.



Gambar 3.8 Grafik Histerisis Katup *Inlet*

Pada grafik ini terlihat bahwa terjadi perbedaan nilai pada input tegangan 2 VDC, 3 VDC, 5 VDC dan 9.5 VDC. Pada nilai input tegangan lainnya tidak ada perbedaan. Dari grafik ini bisa dikatakan bahwa perbedaan yang terjadi pada bukaan katup tidak signifikan sehingga katup ini dapat dijalankan dari posisi manapun.

Katup Outlet

Tabel 3.3 Hubungan tegangan input dan bukaan katup dari posisi buka 100% hingga 0%

Vdc	Bukaan (mm)	Bukaan (%)
0	20	100
0.5	20	100
1	20	100
1.5	20	100
2	20	100
2.5	20	100
3	20	100
3.5	20	100

Vdc	Bukaan (mm)	Bukaan (%)
4	14	70
4.5	13	65
5	12	60
5.5	11	55
6	10	50
6.5	8	40
7	7	35
7.5	6	30
8	5	25
8.5	4	20
9	3	15
9.5	1	5
10	0	0

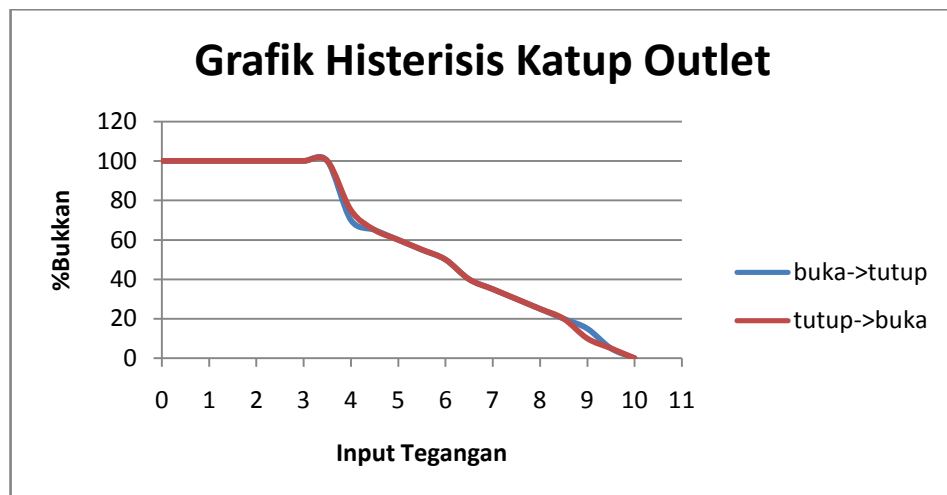
Pengujian ini dilakukan dengan memasukan tegangan dari 0 VDC hingga 10 VDC. Pada katup *inlet* akan mulai bergerak jika diberikan tegangan 4 VDC. Bukaan terendah dari katup ini pada bukaan 5 % saat di berikan tegangan 9.5 VDC.

Tabel 3.4 Hubungan tegangan input dan bukaan katup dari posisi buka 0% hingga100%

Vdc	Bukaan (mm)	Bukaan (%)
10	0	0
9.5	1	5
9	2	10
8.5	4	20
8	5	25
7.5	6	30
7	7	35
6.5	8	40

Vdc	Bukaan (mm)	Bukaan (%)
6	10	50
5.5	11	55
5	12	60
4.5	13	65
4	15	75
3.5	20	100
3	20	100
2.5	20	100
2	20	100
1.5	20	100
1	20	100
0.5	20	100
0	20	100

Pengujian ini dilakukan dengan memasukan tegangan dari 10 VDC hingga 0 VDC. Pada masukan input 3.5 katup telah terbuka 100 %.



Gambar 3.9 Grafik Histerisis Katup *Outlet*

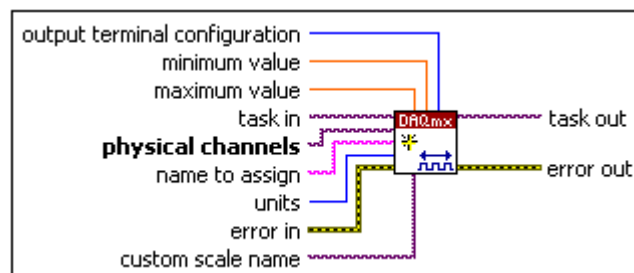
Pada grafik ini terlihat bahwa terjadi perbedaan nilai pada input tegangan 4 VDC dan 9 VDC. Pada nilai input tegangan lainnya tidak ada perbedaan. Dari grafik ini bisa dikatakan bahwa perbedaan yang terjadi pada bukaan katup tidak signifikan sehingga katup ini dapat dijangkan dari posisi manapun.

3.2.4 Pembuatan program

Program yang akan dibangun merupakan program yang berbasis labVIEW. Program ini akan berintegrasi secara penuh dengan data akusisi yang akan digunakan yaitu NI-USB 6212 dari National Instrument (NI). Fungsi-fungsi yang digunakan pada program ini banyak yang hanya bisa digunakan jika kita menginstal driver dari data akusisi tersebut.

DAQmx Virtual Channel

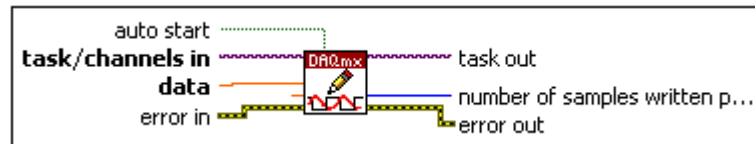
Berfungsi untuk membuat suatu saluran virtual pada blok diagram. Fungsi ini dapat digunakan pada berbagai macam input-output (I/O) yang akan digunakan. Contohnya adalah untuk analog input dan output, digital input dan output dan output konter. Pada program ini yang digunakan merupakan saluran untuk analog output untuk pemberian tegangan.



Gambar 3.10 DAQmx Virtual Channel

DAQmx Write

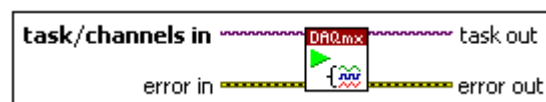
Berfungsi untuk menulis perintah pada program. Perintah yang ditulis dapat berupa satu atau banyak perintah pada satu atau beberapa saluran virtual. Pada program ini fungsi ini digunakan untuk menulis satu buah perintah pada satu saluran.



Gambar 3.11 DAQmx Write

DAQmx Start Task

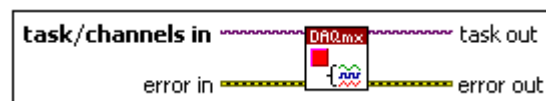
Berfungsi untuk menjalankan perintah. Jika fungsi ini tidak digunakan maka program akan berjalan dengan otomatis saat dihidupkan.



Gambar 3.12 DAQmx Start Task

DAQmx Stop Task

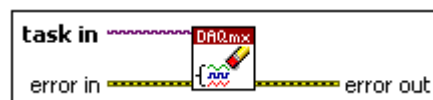
Berfungsi untuk menghentikan perintah yang telah berjalan. Fungsi ini menghentikan perintah dan membuat program kembali pada posisi sebelum DAQmx Write atau DAQmx Start Task. Jika tidak menggunakan fungsi DAQmx Start Task dan DAQmx Stop Task maka perintah akan berulang terus menerus. Kondisi tersebut dapat mengakibatkan turunnya kemampuan program.



Gambar 3.13 DAQmx Stop Task

DAQmx Clear Task

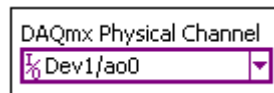
Berfungsi untuk menghapus perintah. Perintah yang belum terhapus akan mengakibatkan adanya pemakaian memori berlebih pada program.



Gambar 3.14 DAQmx Clear Task

DAQmx Physical Channel

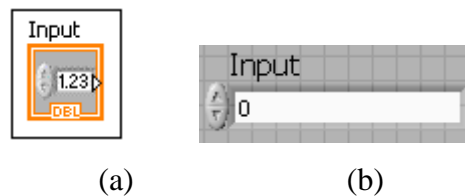
Berfungsi untuk menampilkan saluran yang digunakan pada program. Jumlah saluran yang ada bergantung pada jenis data akuisisi yang digunakan. Pada program ini saluran yang digunakan adalah analog output.



Gambar 3.15 DAQmx Physical Channel

Numeric Indicator

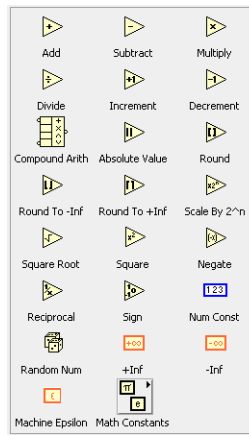
Fungsi ini merupakan fungsi yang terhubung antara blok diagram dan jendela depan. Fungsi ini pada jendela depan adalah fungsi yang berinteraksi dengan pengguna program. Fungsi ini dapat berupa masukan angka, dial atau knop.



Gambar 3.16 Numeric Indicator, (a) pada block Diagram
(b) pada jendela depan

Fungsi Matematika

Fungsi ini adalah simbol dari operasi matematika yang ada pada blok diagram. Fungsi ini terdiri dari fungsi penambahan, pengurangan, bagi, kali bilangan berpangkat dan lainnya pada program ini fungsi ini digunakan sebagai penghubung persamaan yang akan digunakan.



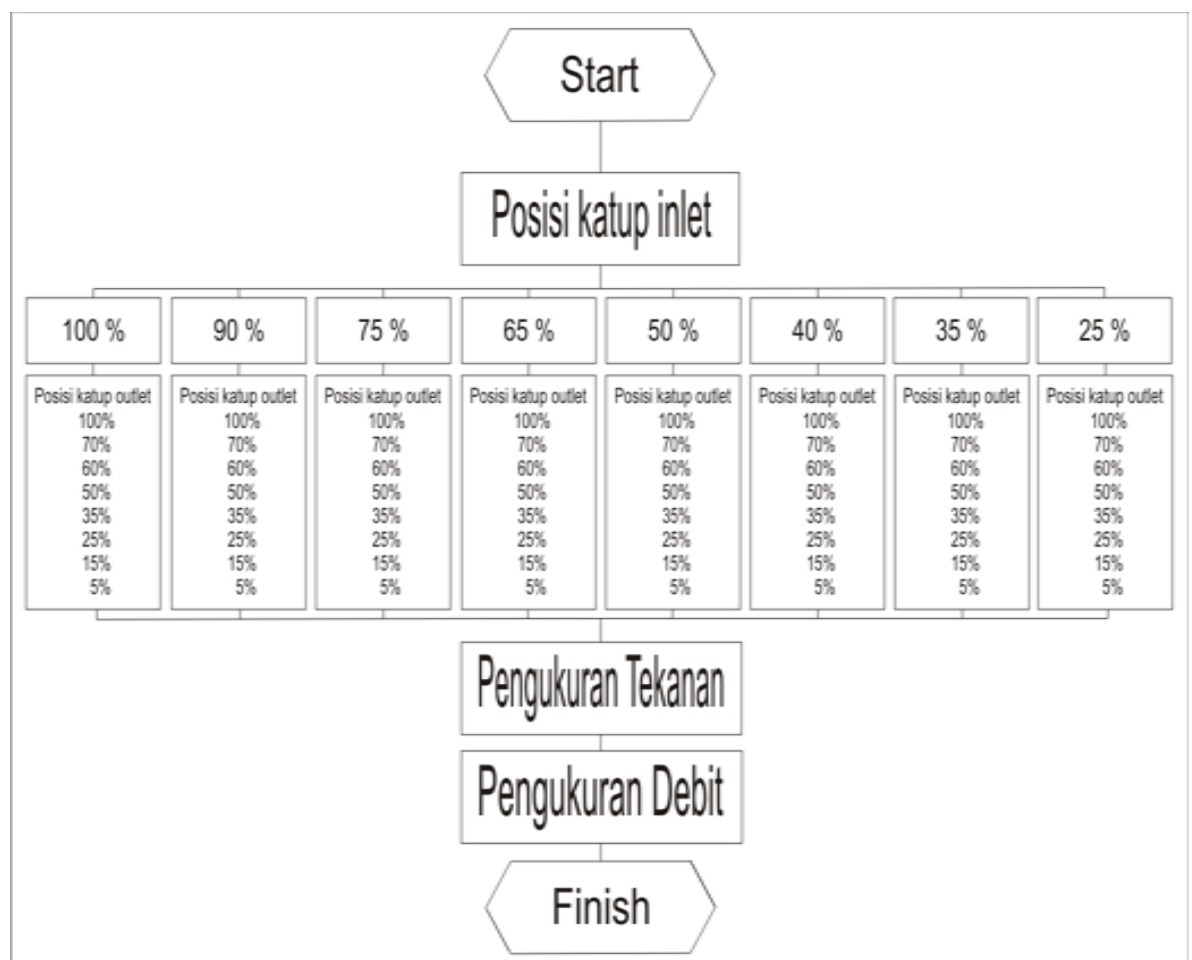
Gambar 3.17 Fungsi Matematika

BAB IV

PENGUJIAN KARAKTER SISTEM

4.1 PENGUJIAN HUBUNGAN BUKAAN KATUP TERHADAP TEKANAN DAN DEBIT AIR

4.1.1 Diagram alir pengujian



Gambar 4.1 Diagram alir pengujian hubungan bukaan katup terhadap tekanan dan debit air

4.1.2 Prosedur Pengujian

Pengujian ini bertujuan untuk :

- a. Mencari hubungan bukaan katup terhadap tekanan yang dihasilkan.
- b. Mencari hubungan katup *inlet* dan *outlet* pada tekanan konstan.
- c. Mencari hubungan bukaan katup terhadap debit yang dihasilkan.

Sebelum melakukan pengujian perlu dilakukan beberapa tahap persiapan diantaranya adalah :

- a. Memeriksa persediaan air di dalam tempat penampungan air.
- b. Melakukan perangkaian aktuator, data akusisi dan koneksinya pada komputer.
- c. Memeriksa ada tidaknya kebocoran pada instalasi.
- d. Memastikan alat ukur dapat bekerja dengan baik.
- e. Memastikan semua instrumen dapat bekerja dengan baik untuk mendapatkan hasil yang maksimal dan menghindari kecelakaan dalam melakukan pengujian.

Langkah-langkah pengujian untuk mencari hubungan antara bukaan katup terhadap tekanan dan debit air :

- a. Membuka katup *inlet* pada posisi buka penuh.
- b. Membuka katup *outlet* pada posisi buka penuh.
- c. Menyalakan pompa air.
- d. Tunggu hingga posisi bola pada pengukur debit stabil.
- e. Mencatat debit yang mengalir pada pengukur debit.
- f. Mencatat tekanan yang terbaca pada alat ukur tekanan yaitu pada P1, P2 dan P3.
- g. Mengatur posisi katup *outlet* pada posisi 70 %.
- h. Mencatat debit dan tekanan pada alat ukurnya masing-masing.
- i. Ulangi dengan mengatur posisi katup *outlet* pada posisi 60 %, 50 %, 35 %, 25 %, 15 % dan 5 %.
- j. Mengatur posisi katup *inlet* pada posisi 90 %.
- k. Ulangi pencatatan debit dan tekanan pada variasi posisi bukaan katup output 70%, 60 %, 50 %, 35 %, 25 %, 15 % dan 5 %.

1. Ulangi dengan pengaturan katup *inlet* pada posisi 75 %, 65 %, 50 %, 40 %, 30 % dan 25 %.

4.1.3 Alat Yang Digunakan

Peralatan-peralatan yang digunakan adalah pompa, katup, aktuator, data akusisi, *pressure gauge*, *flow meter*, trafo dan *stop watch*.

Pompa sentrifugal



Gambar 4.2 Pompa Sentrifugal

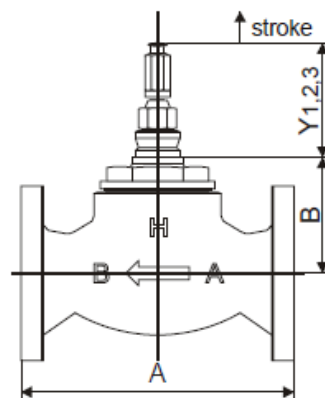
Merek	: Lowara
Model	: SGM-7
Dimensi	: l x w x h = 383 x 215 x 223 mm
Berat	: 13 kg
Hmax	: 40.5 m

Katup



Gambar 4.3 Katup linier

Merk : Honeywell
 Model : V5328A DN15
 Stroke : 20 mm
 K_{vs} : 1.00
 Dimensi : A : 130 mm B : 72



Gambar 4.4 Dimensi katup

Aktuator



Gambar 4.5 Aktuator

Merk : Honeywell

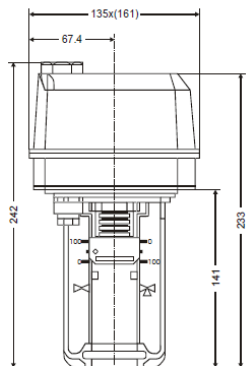
Model : ML7420A6009

Signal input : 0 – 10 VDC

Power supplai : 24 Vac \pm 15%

Daya : 5 VA

Dimensi :



Gambar 4.6 Dimensi aktuator

Data akuisisi



Gambar 4.7 Data akuisisi

Merk : National Instrument

Model : NI-USB 6212

Jumlah saluran : 16 Analog input, 2 Analog output, 32 Digital input/output

Pressure gauge



Gambar 4.8 Pressure gauge

Merk : Winpro
Range : 0 – 90 psi
Ketelitian : 0.5 psi

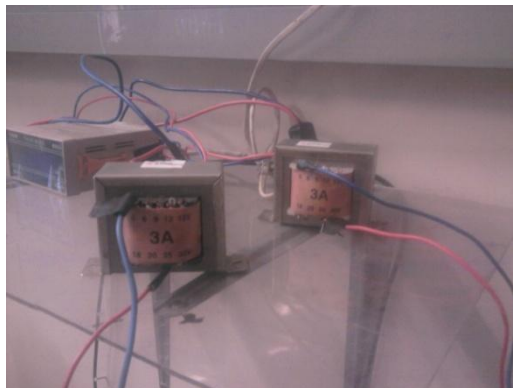
Flow meter



Gambar 4.9 Flow meter

Range : 0 – 5 GPM
Ketelitian : 0.25 GPM

Trafo dan *Stop watch*



Gambar 4.10 Trafo

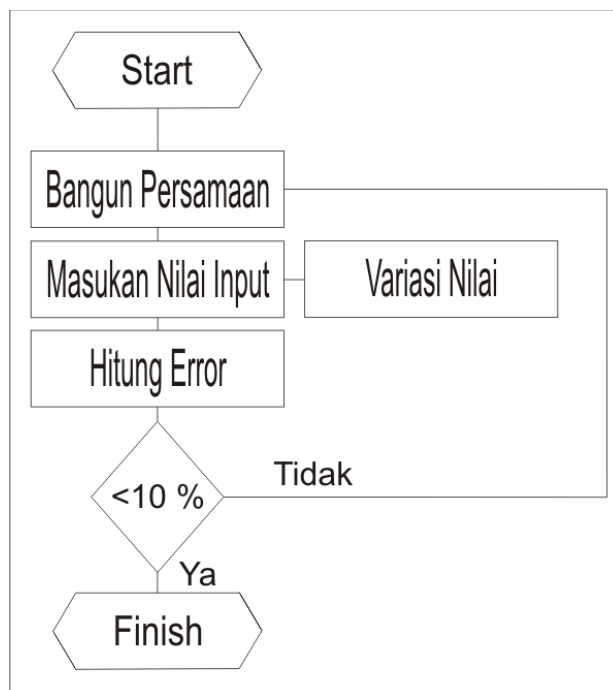
Trafo yang digunakan merupakan trafo untuk berbagai variasi output pada tegangan AC. Trafo ini memiliki besar arus 3A dan digunakan untuk menggerakkan aktuator. *Stop watch* digunakan untuk menghitung kalibrasi debit air.



Gambar 4.11 *Stop watch*

4.2 PENGUJIAN STABILITAS SISTEM

4.2.1 Diagram Alir Pengujian



Gambar 4.12 Diagram alir pengujian stabilitas sistem

4.2.2 Prosedur Pengujian

Pengujian ini bertujuan untuk menguji apakah persamaan yang didapatkan dari pengujian sebelumnya dapat dijalankan pada sistem yang dibangun. Prosedur dari pengujian ini adalah

- a. Memasukkan persamaan yang didapat kedalam sistem.
- b. Memasukkan input tegangan ke dalam persamaan.
- c. Melihat output yang dihasilkan dari persamaan.
- d. Menghitung error yang diberikan oleh output.
- e. Melakukan variasi input tegangan.
- f. Menghitung error pada variasi output yang dihasilkan.
- g. Menyimpulkan kelayakan program dari besarnya error yang dihasilkan.

4.2.3 Alat yang digunakan

Alat yang digunakan pada pengujian ini sama dengan alat yang digunakan untuk pengujian bukaan katup terhadap tekanan dan debit air.

BAB V

ANALISA DAN DISKUSI

5.1 PENGUJIAN HUBUNGAN BUKAAN KATUP TERHADAP TEKANAN DAN DEBIT AIR

Pengujian ini dibagi menjadi beberapa pengujian yaitu :

- a. Pengujian sistem tanpa menggunakan katup.
- b. Pengujian sistem dengan menggunakan katup.
- c. Pengujian sistem dengan menggunakan katup dan dinamometer.

5.1.1 Pengujian Sistem Tanpa Menggunakan Katup

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan perbedaan antara sistem yang belum dipasang katup dan sistem yang telah dipasang katup. Pengujian dilakukan pada kondisi kedua katup terbuka penuh 100 %. Hasil pengujiannya adalah sebagai berikut.

Tabel 5.1 Perbandingan debit air tanpa katup dan dengan katup pada sistem

	Tanpa Katup	Dengan Katup
Debit (GPM)	9.708	5.735

Disini terlihat bahwa dengan menggunakan katup akan terjadi pengurangan debit yang dapat dihasilkan. Hal tersebut terjadi karena adanya kerugian minor pada katup. Kerugian itu menyebabkan air tidak dapat mengalir secara maksimal.

Kerugian pada katup adalah sebesar,

$$H_{lm} = K_t \frac{\bar{v}^2}{2g}$$

Pada saat debit 5.735 GPM maka kecepatan aliran adalah 0.713 m/s dan Re-nya adalah sebesar 18×10^3 . Katup yang digunakan adalah katup jenis globe dengan koefisien kerugian adalah 10. Dengan demikian persamaan diatas menjadi,

$$H_{lm} = 10 \times \frac{(0.713)^2}{2 \times 9.81} = 0.25 \text{ m}$$

Terdapat dua buah katup pada sistem sehingga kerugiannya menjadi $0.25 \times 2 = 0.5$ meter.

5.1.2 Pengujian Sistem Dengan Menggunakan Katup

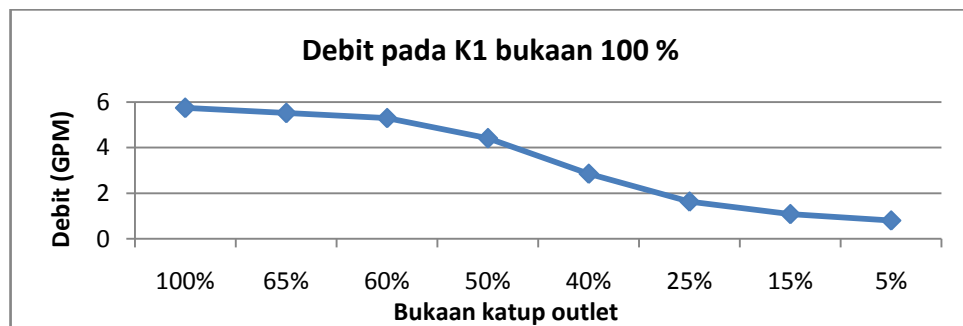
Pengujian ini bertujuan untuk mencari hubungan antara bukaan katup terhadap debit air dan tekanan.

5.1.2.1 Data Hasil Pengujian

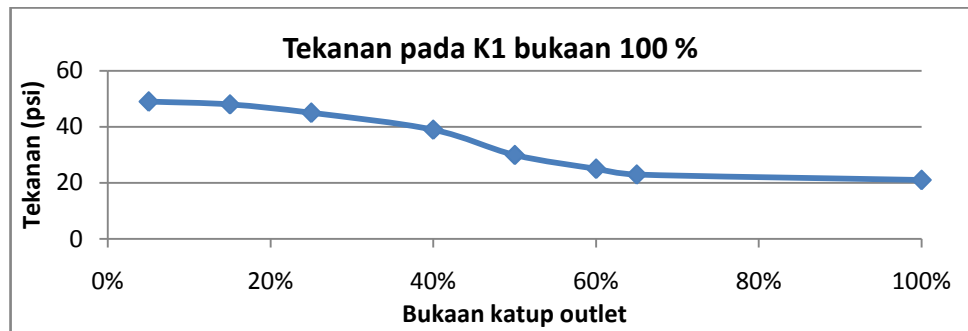
Data pertama didapatkan dengan membuka katup *inlet* 100 % dan dengan berbagai variasi bukaan pada katup *outlet*.

Tabel 5.2 Hasil pengujian hubungan bukaan katup *inlet* 100 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Posisi katup <i>inlet</i>	Posisi katup <i>outlet</i>	Debit (GPM)	P1	P2	P3
100 %	100 %	5.7356	40	21	21
100 %	65 %	5.514	40	23	23
100 %	60 %	5.2924	40	25	25
100 %	50 %	4.406	43	30	30
100 %	40 %	2.8548	45	39	39
100 %	25 %	1.636	49	45	45
100 %	15 %	1.082	50	48	48
100 %	5 %	0.805	50	49	49



Gambar 5.1 Hubungan debit pada posisi bukaan katup *inlet* 100 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*



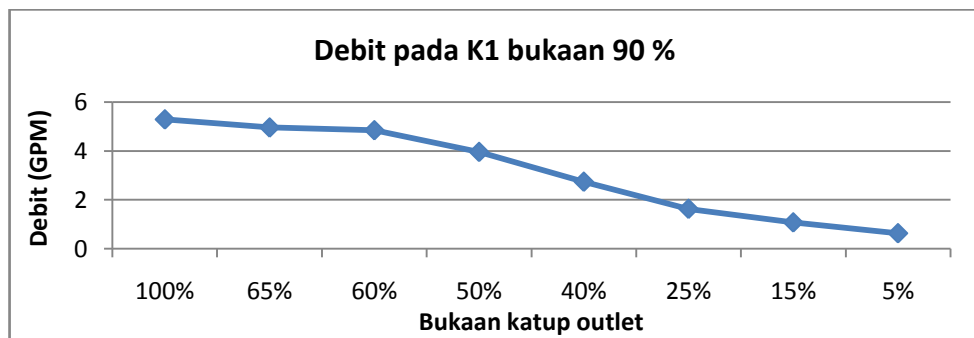
Gambar 5.2 Hubungan tekanan P2 pada posisi bukaan katup *inlet* 100 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Data pengujian pada hubungan tekanan pada posisi bukaan katup *inlet* 100 % terhadap variasi bukaan katup *outlet* hanya diambil pada posisi P2. Hal tersebut karena posisi tersebut adalah posisi aliran air masuk ke dalam dinamometer. Tekanan pada posisi tersebut adalah variabel tetap yang akan digunakan pada persamaan.

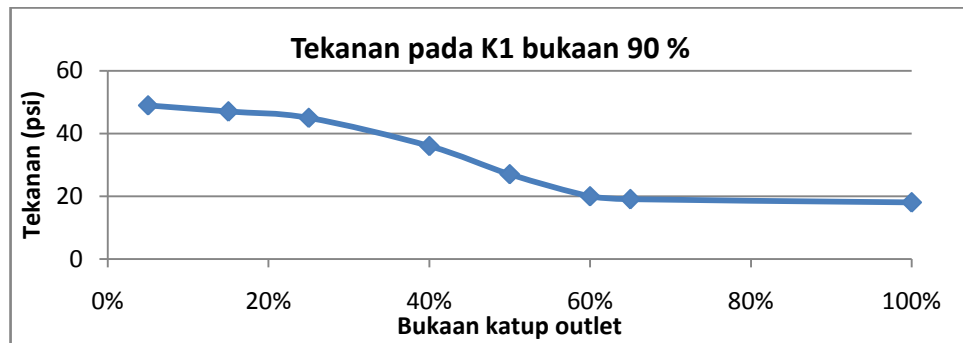
Data kedua didapatkan dengan membuka katup *inlet* 90 % dan dengan berbagai variasi bukaan pada katup *outlet*.

Tabel 5.3 Hasil pengujian hubungan bukaan katup *inlet* 90 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Posisi katup <i>inlet</i>	Posisi katup <i>outlet</i>	Debit (GPM)	P1	P2	P3
90 %	100 %	5.2924	41	18	18
90 %	65 %	4.96	41	19	19
90 %	60 %	4.8492	41	20	20
90 %	50 %	3.9628	44	27	27
90 %	40 %	2.744	45	36	37
90 %	25 %	1.636	49	45	45
90 %	15 %	1.082	50	47	48
90 %	5 %	0.6388	50	49	49



Gambar 5.3 Hubungan debit pada posisi bukaan katup *inlet* 90 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*



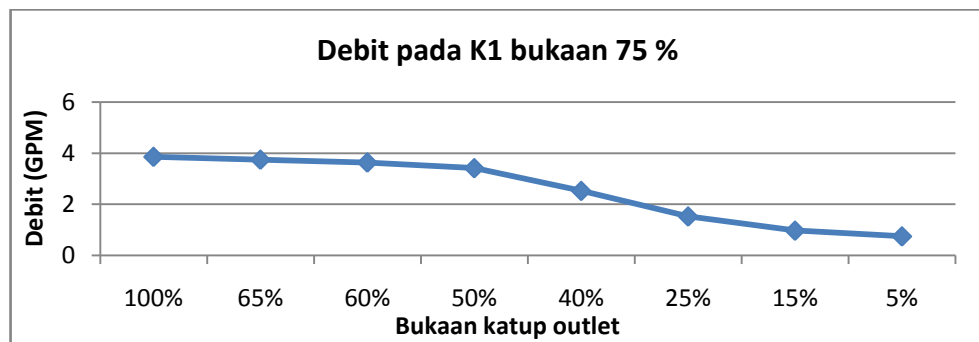
Gambar 5.4 Hubungan tekanan P2 pada posisi bukaan katup *inlet* 90 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Data pengujian pada hubungan tekanan pada posisi bukaan katup *inlet* 90 % terhadap variasi bukaan katup *outlet* hanya diambil pada posisi P2. Hal tersebut karena posisi tersebut adalah posisi aliran air masuk ke dalam dinamometer. Tekanan pada posisi tersebut adalah variabel tetap yang akan digunakan pada persamaan.

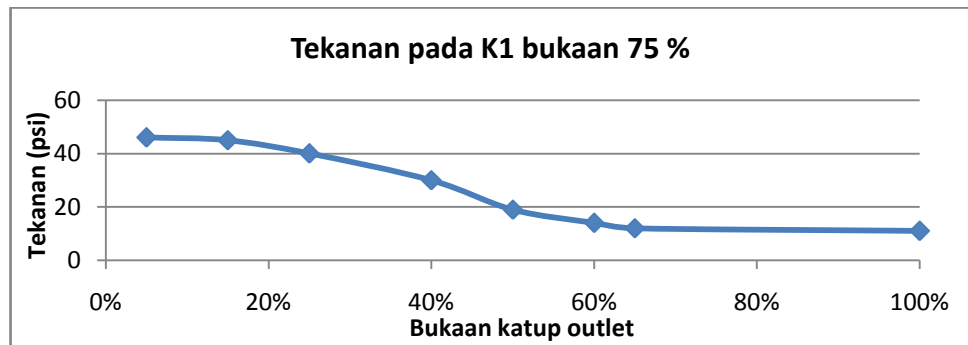
Data ketiga didapatkan dengan membuka katup *inlet* 75 % dan dengan berbagai variasi bukaan pada katup *outlet*.

Tabel 5.4 Hasil pengujian hubungan bukaan katup *inlet* 75 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Posisi katup <i>inlet</i>	Posisi katup <i>outlet</i>	Debit (GPM)	P1	P2	P3
75 %	100 %	3.852	43	11	11
75 %	65 %	3.7412	44	12	12
75 %	60 %	3.6304	44	14	14
75 %	50 %	3.4088	45	19	19
75 %	40 %	2.5224	44	30	31
75 %	25 %	1.5252	49	40	41
75 %	15 %	0.9712	49	45	45
75 %	5 %	0.7496	50	46	46



Gambar 5.5 Hubungan debit pada posisi bukaan katup *inlet* 75 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*



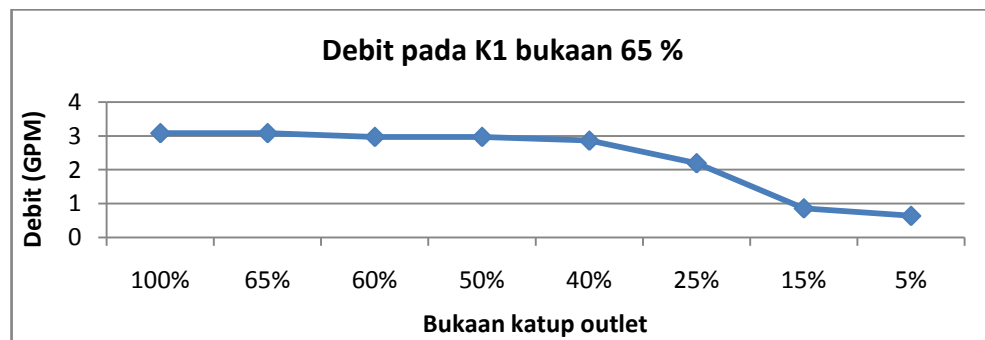
Gambar 5.6 Hubungan tekanan P2 pada posisi bukaan katup *inlet* 75 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Data pengujian pada hubungan tekanan pada posisi bukaan katup *inlet* 75 % terhadap variasi bukaan katup *outlet* hanya diambil pada posisi P2. Hal tersebut karena posisi tersebut adalah posisi aliran air masuk ke dalam dinamometer. Tekanan pada posisi tersebut adalah variabel tetap yang akan digunakan pada persamaan.

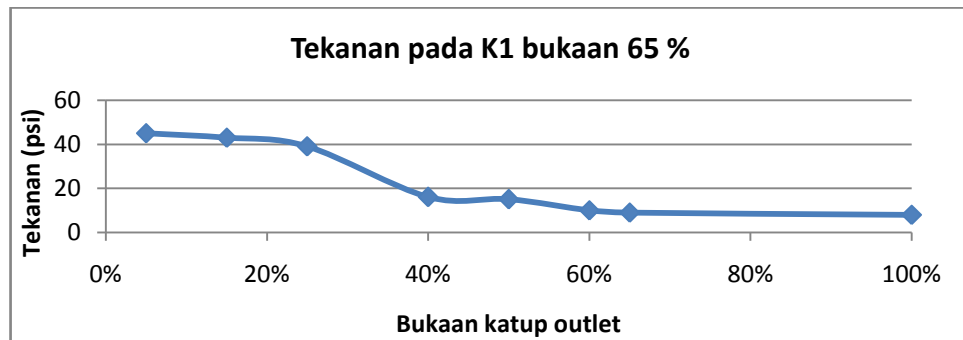
Data keempat didapatkan dengan membuka katup *inlet* 65 % dan dengan berbagai variasi bukaan pada katup *outlet*.

Tabel 5.5 Hasil pengujian hubungan bukaan katup *inlet* 65 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Posisi katup <i>inlet</i>	Posisi katup <i>outlet</i>	Debit (GPM)	P1	P2	P3
65 %	100 %	3.0764	44	8	8
65 %	65 %	3.0764	45	9	9
65 %	60 %	2.9656	45	10	10
65 %	50 %	2.9656	45	15	15
65 %	40 %	2.8548	46	16	16
65 %	25 %	2.19	49	39	39
65 %	15 %	0.8604	49	43	43
65 %	5 %	0.6388	50	45	45



Gambar 5.7 Hubungan debit pada posisi bukaan katup *inlet* 65 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*



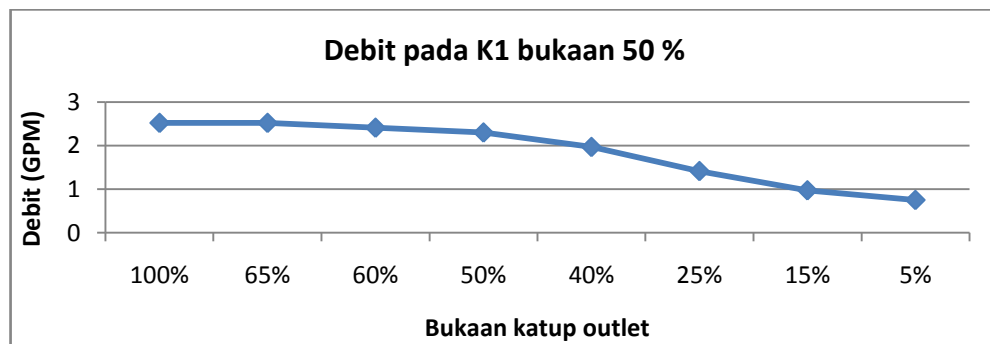
Gambar 5.8 Hubungan tekanan P2 pada posisi bukaan katup *inlet* 65 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Data pengujian pada hubungan tekanan pada posisi bukaan katup *inlet* 65 % terhadap variasi bukaan katup *outlet* hanya diambil pada posisi P2. Hal tersebut karena posisi tersebut adalah posisi aliran air masuk ke dalam dinamometer. Tekanan pada posisi tersebut adalah variabel tetap yang akan digunakan pada persamaan.

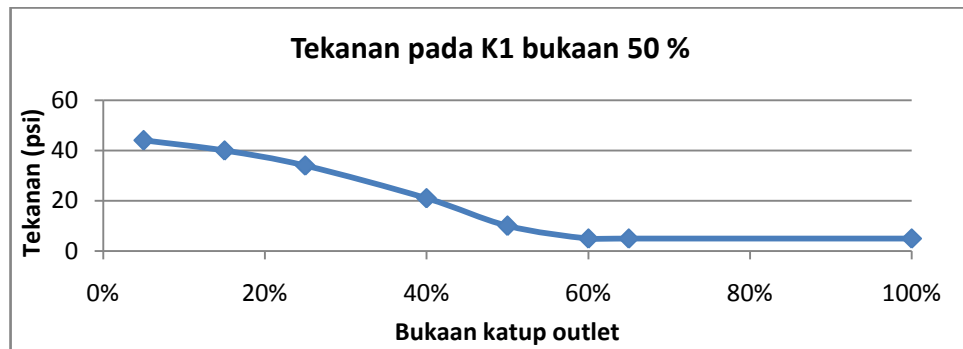
Data kelima didapatkan dengan membuka katup *inlet* 50 % dan dengan berbagai variasi bukaan pada katup *outlet*.

Tabel 5.6 Hasil pengujian hubungan bukaan katup *inlet* 50 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Posisi katup <i>inlet</i>	Posisi katup <i>outlet</i>	Debit (GPM)	P1	P2	P3
50 %	100 %	2.5224	45	5	5
50 %	65 %	2.5224	45	5	5
50 %	60 %	2.4116	45	5	5
50 %	50 %	2.3008	46	10	10
50 %	40 %	1.9684	47	21	21
50 %	25 %	1.4144	49	34	34
50 %	15 %	0.9712	50	40	40
50 %	5 %	0.7496	50	44	44



Gambar 5.9 Hubungan debit pada posisi bukaan katup *inlet* 50 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*



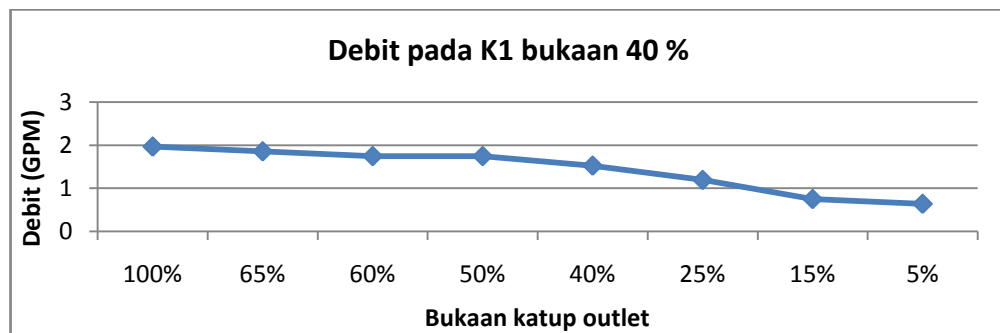
Gambar 5.10 Hubungan tekanan P2 pada posisi bukaan katup *inlet* 50 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Data pengujian pada hubungan tekanan pada posisi bukaan katup *inlet* 50 % terhadap variasi bukaan katup *outlet* hanya diambil pada posisi P2. Hal tersebut karena posisi tersebut adalah posisi aliran air masuk ke dalam dinamometer. Tekanan pada posisi tersebut adalah variabel tetap yang akan digunakan pada persamaan.

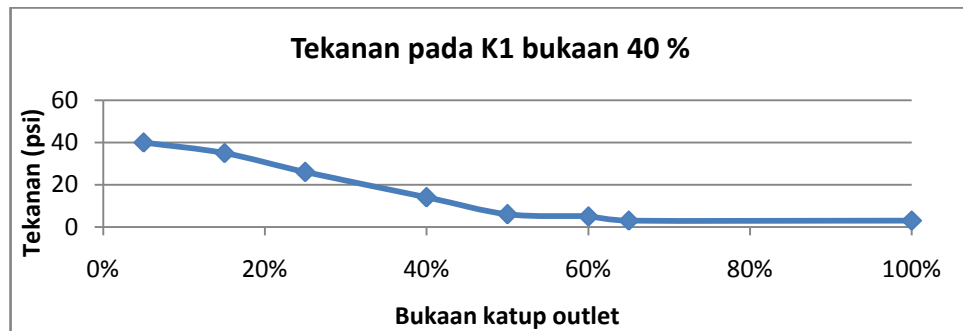
Data keenam didapatkan dengan membuka katup *inlet* 40 % dan dengan berbagai variasi bukaan pada katup *outlet*.

Tabel 5.7 Hasil pengujian hubungan bukaan katup *inlet* 40 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Posisi katup <i>inlet</i>	Posisi katup <i>outlet</i>	Debit (GPM)	P1	P2	P3
40 %	100 %	1.9684	47	3	3
40 %	65 %	1.8576	47	3	3
40 %	60 %	1.7468	47	5	5
40 %	50 %	1.7468	47	6	6
40 %	40 %	1.5252	48	14	14
40 %	25 %	1.1928	49	26	26
40 %	15 %	0.7496	49	35	35
40 %	5 %	0.6388	50	40	40



Gambar 5.11 Hubungan debit pada posisi bukaan katup *inlet* 40 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*



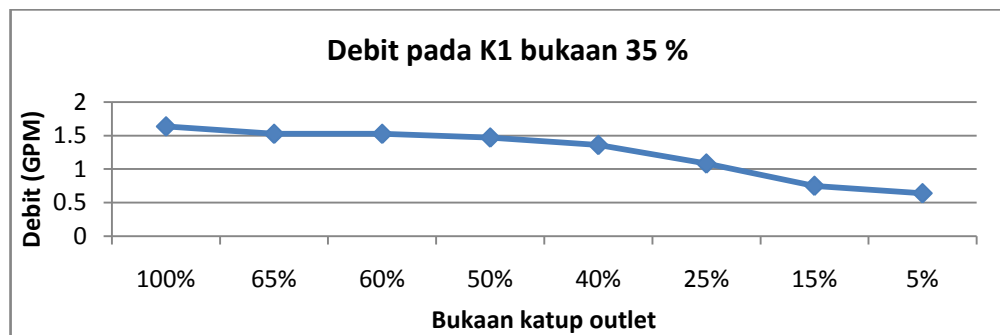
Gambar 5.12 Hubungan tekanan P2 pada posisi bukaan katup *inlet* 40 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Data pengujian pada hubungan tekanan pada posisi bukaan katup *inlet* 40 % terhadap variasi bukaan katup *outlet* hanya diambil pada posisi P2. Hal tersebut karena posisi tersebut adalah posisi aliran air masuk ke dalam dinamometer. Tekanan pada posisi tersebut adalah variabel tetap yang akan digunakan pada persamaan.

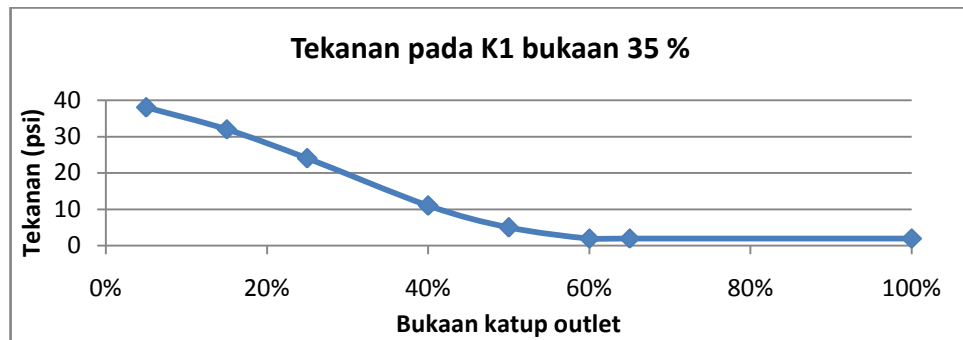
Data ketujuh didapatkan dengan membuka katup *inlet* 35 % dan dengan berbagai variasi bukaan pada katup *outlet*.

Tabel 5.8 Hasil pengujian hubungan bukaan katup *inlet* 35 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Posisi katup <i>inlet</i>	Posisi katup <i>outlet</i>	Debit (GPM)	P1	P2	P3
35 %	100 %	1.636	48	2	2
35 %	65 %	1.5252	49	2	2
35 %	60 %	1.5252	49	2	2
35 %	50 %	1.4698	49	5	5
35 %	40 %	1.359	49	11	11
35 %	25 %	1.082	49	24	24
35 %	15 %	0.7496	50	32	32
35 %	5 %	0.6388	50	38	38



Gambar 5.13 Hubungan debit pada posisi bukaan katup *inlet* 35 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*



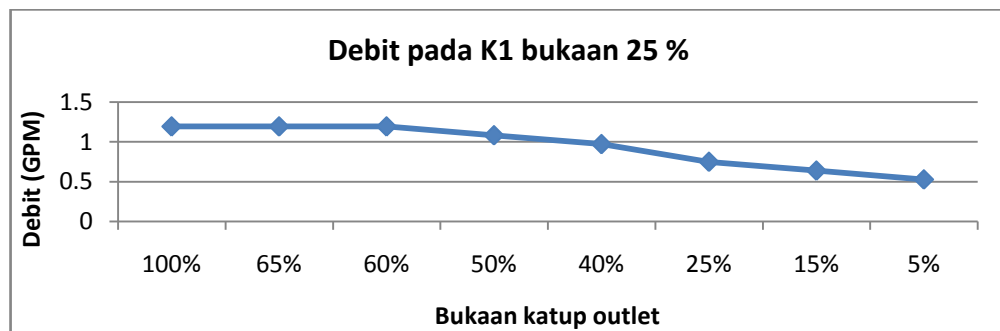
Gambar 5.14 Hubungan tekanan P2 pada posisi bukaan katup *inlet* 35 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Data pengujian pada hubungan tekanan pada posisi bukaan katup *inlet* 35 % terhadap variasi bukaan katup *outlet* hanya diambil pada posisi P2. Hal tersebut karena posisi tersebut adalah posisi aliran air masuk ke dalam dinamometer. Tekanan pada posisi tersebut adalah variabel tetap yang akan digunakan pada persamaan.

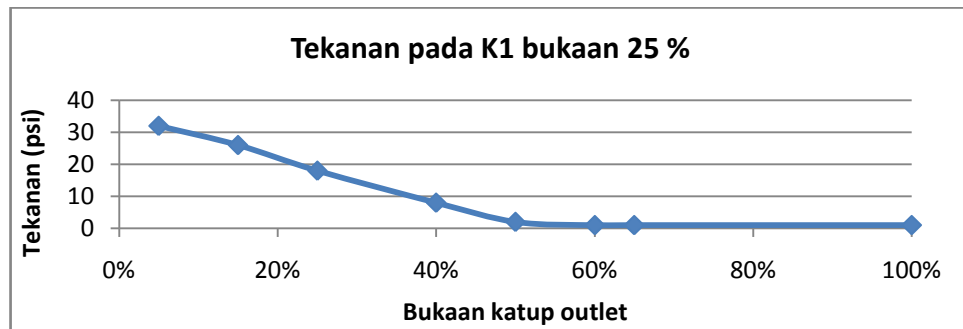
Data kedelapan didapatkan dengan membuka katup *inlet* 25 % dan dengan berbagai variasi bukaan pada katup *outlet*.

Tabel 5.9 Hasil pengujian hubungan bukaan katup *inlet* 25 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Posisi katup <i>inlet</i>	Posisi katup <i>outlet</i>	Debit (GPM)	P1	P2	P3
25 %	100 %	1.1928	49	1	1
25 %	65 %	1.1928	49	1	1
25 %	60 %	1.1928	49	1	1
25 %	50 %	1.082	49	2	2
25 %	40 %	0.9712	49	8	8
25 %	25 %	0.7496	5	18	18
25 %	15 %	0.6388	50	26	26
25 %	5 %	0.528	50	32	32



Gambar 5.15 Hubungan debit pada posisi bukaan katup *inlet* 25 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*



Gambar 5.16 Hubungan tekanan P2 pada posisi bukaan katup *inlet* 25 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Data pengujian pada hubungan tekanan pada posisi bukaan katup *inlet* 25 % terhadap variasi bukaan katup *outlet* hanya diambil pada posisi P2. Hal tersebut karena posisi tersebut adalah posisi aliran air masuk ke dalam dinamometer. Tekanan pada posisi tersebut adalah variabel tetap yang akan digunakan pada persamaan.

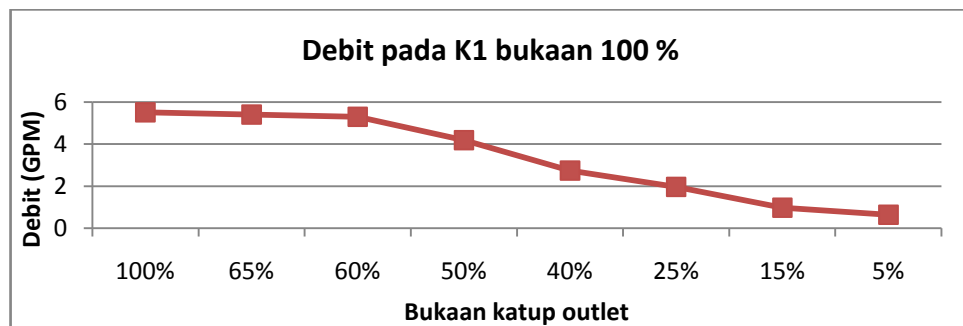
5.1.3 Pengujian Sistem Dengan Menggunakan Katup dan Dinamometer

Pengujian ini bertujuan untuk mencari hubungan antara bukaan katup terhadap debit air dan tekanan.

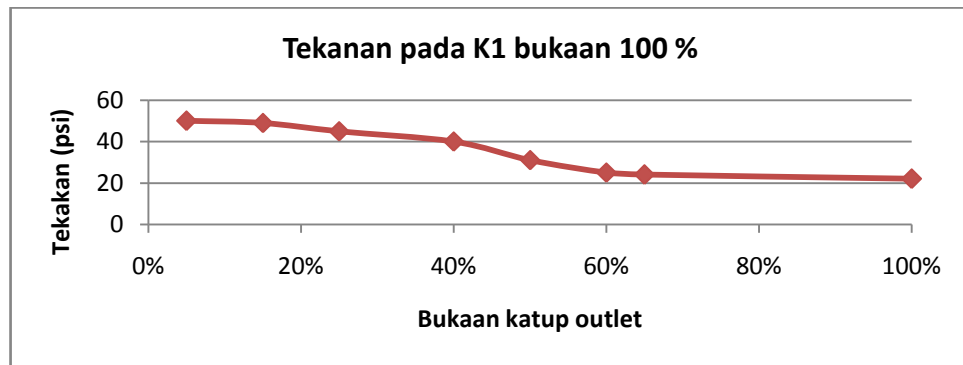
Data pertama didapatkan dengan membuka katup *inlet* 100 % dan dengan berbagai variasi bukaan pada katup *outlet*.

Tabel 5.10 Hasil pengujian hubungan bukaan katup *inlet* 100 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Posisi katup <i>inlet</i>	Posisi katup <i>outlet</i>	Debit (GPM)	P1	P2	P3
100 %	100 %	5.514	42	22	21
100 %	65 %	5.4032	42	24	23
100 %	60 %	5.2924	43	25	25
100 %	50 %	4.1844	45	31	30
100 %	40 %	2.744	47	40	40
100 %	25 %	1.9684	50	45	45
100 %	15 %	0.9712	50	49	49
100 %	5 %	0.6388	51	50	50



Gambar 5.17 Hubungan debit pada posisi bukaan katup *inlet* 100 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*



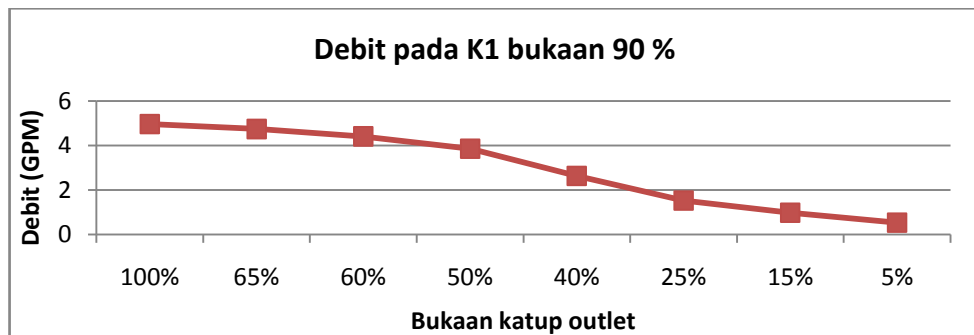
Gambar 5.18 Hubungan tekanan P2 pada posisi bukaan katup *inlet* 100 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Data pengujian pada hubungan tekanan pada posisi bukaan katup *inlet* 100 % terhadap variasi bukaan katup *outlet* hanya diambil pada posisi P2. Hal tersebut karena posisi tersebut adalah posisi aliran air masuk ke dalam dinamometer. Tekanan pada posisi tersebut adalah variabel tetap yang akan digunakan pada persamaan.

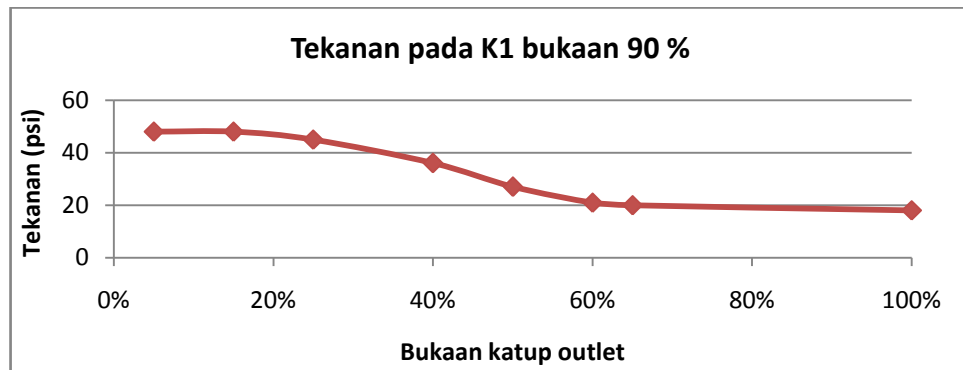
Data kedua didapatkan dengan membuka katup *inlet* 90 % dan dengan berbagai variasi bukaan pada katup *outlet*.

Tabel 5.11 Hasil pengujian hubungan bukaan katup *inlet* 90 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Posisi katup <i>inlet</i>	Posisi katup <i>outlet</i>	Debit (GPM)	P1	P2	P3
90 %	100 %	4.96	44	18	18
90 %	65 %	4.7384	44	20	20
90 %	60 %	4.406	44	21	21
90 %	50 %	3.852	45	27	26
90 %	40 %	2.6332	48	36	36
90 %	25 %	1.5252	50	45	45
90 %	15 %	0.9712	51	48	48
90 %	5 %	0.528	51	48	48



Gambar 5.19 Hubungan debit pada posisi bukaan katup *inlet* 90 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*



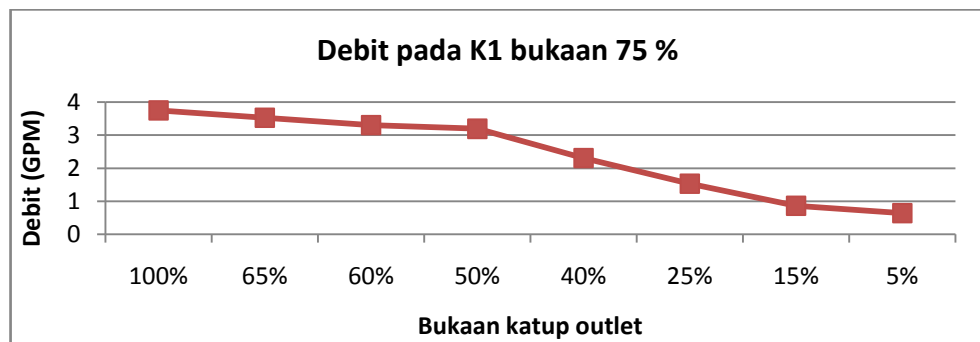
Gambar 5.20 Hubungan tekanan P2 pada posisi bukaan katup *inlet* 90 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Data pengujian pada hubungan tekanan pada posisi bukaan katup *inlet* 90 % terhadap variasi bukaan katup *outlet* hanya diambil pada posisi P2. Hal tersebut karena posisi tersebut adalah posisi aliran air masuk ke dalam dinamometer. Tekanan pada posisi tersebut adalah variabel tetap yang akan digunakan pada persamaan.

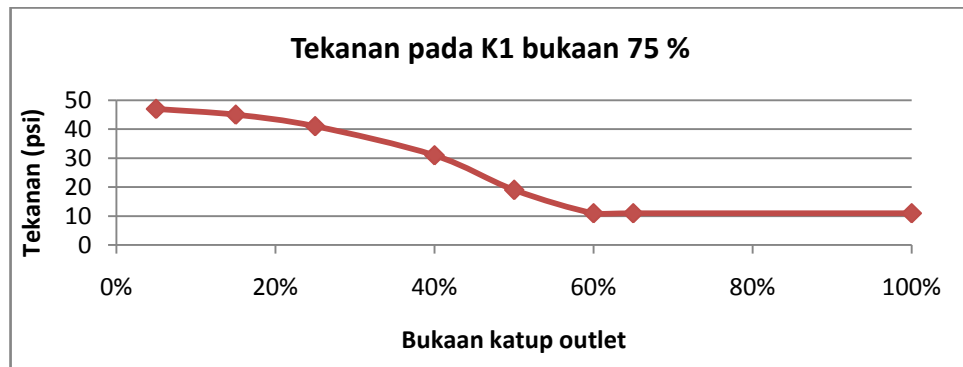
Data ketiga didapatkan dengan membuka katup *inlet* 75 % dan dengan berbagai variasi bukaan pada katup *outlet*.

Tabel 5.12 Hasil pengujian hubungan bukaan katup *inlet* 75 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Posisi katup <i>inlet</i>	Posisi katup <i>outlet</i>	Debit (GPM)	P1	P2	P3
75 %	100 %	3.7412	45	11	11
75 %	65 %	3.5196	45	11	11
75 %	60 %	3.298	45	11	11
75 %	50 %	3.1872	45	19	19
75 %	40 %	2.3008	47	31	30
75 %	25 %	1.5252	50	41	40
75 %	15 %	0.8604	50	45	45
75 %	5 %	0.6388	50	47	47



Gambar 5.21 Hubungan debit pada posisi bukaan katup *inlet* 75 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*



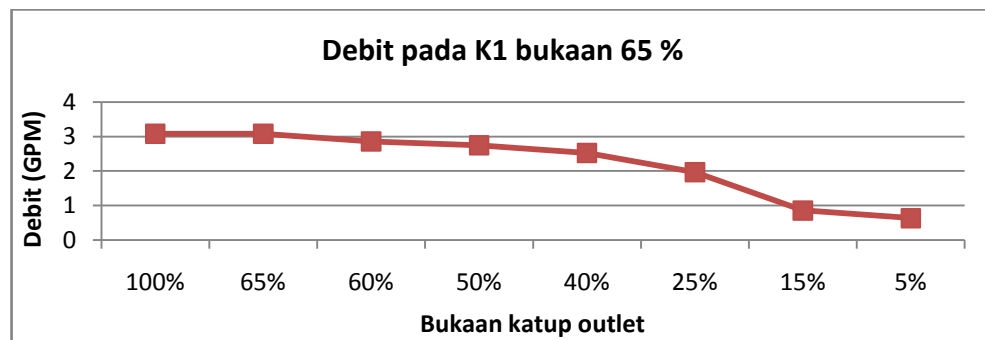
Gambar 5.22 Hubungan tekanan P2 pada posisi bukaan katup *inlet* 75 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Data pengujian pada hubungan tekanan pada posisi bukaan katup *inlet* 75 % terhadap variasi bukaan katup *outlet* hanya diambil pada posisi P2. Hal tersebut karena posisi tersebut adalah posisi aliran air masuk ke dalam dinamometer. Tekanan pada posisi tersebut adalah variabel tetap yang akan digunakan pada persamaan.

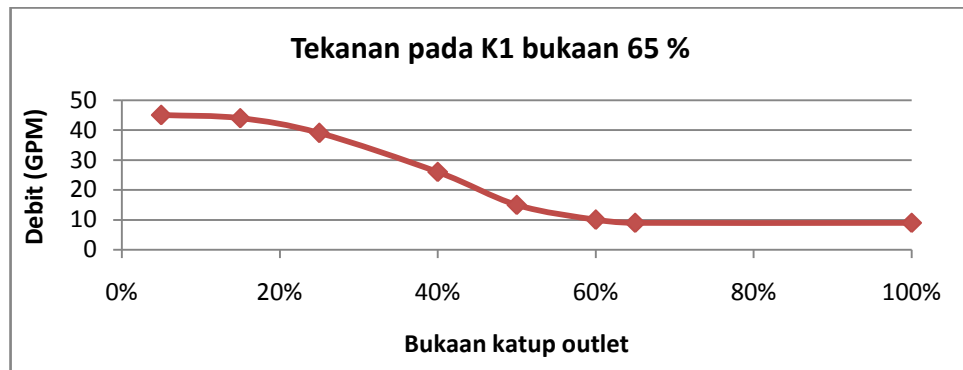
Data keempat didapatkan dengan membuka katup *inlet* 65 % dan dengan berbagai variasi bukaan pada katup *outlet*.

Tabel 5.13 Hasil pengujian hubungan bukaan katup *inlet* 65 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Posisi katup <i>inlet</i>	Posisi katup <i>outlet</i>	Debit (GPM)	P1	P2	P3
65 %	100 %	3.0764	41	9	9
65 %	65 %	3.0764	45	9	9
65 %	60 %	2.8548	45	10	10
65 %	50 %	2.744	47	15	14
65 %	40 %	2.0792	49	26	26
65 %	25 %	1.4144	50	39	39
65 %	15 %	0.8604	50	44	43
65 %	5 %	0.6388	50	45	45



Gambar 5.23 Hubungan debit pada posisi bukaan katup *inlet* 65 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*



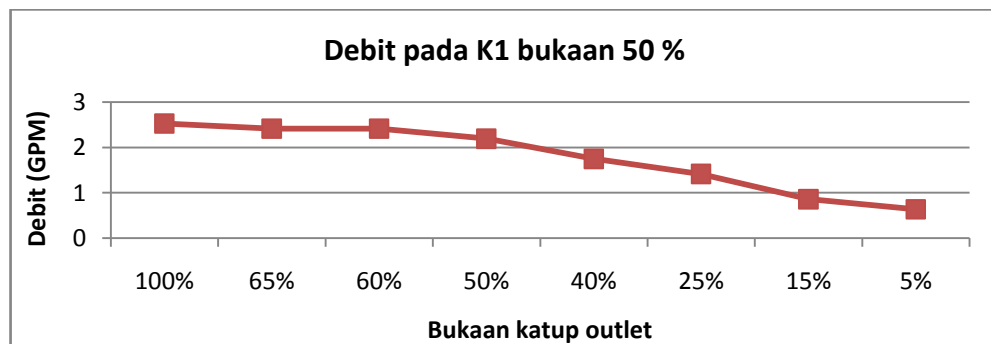
Gambar 5.24 Hubungan tekanan P2 pada posisi bukaan katup *inlet* 65 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Data pengujian pada hubungan tekanan pada posisi bukaan katup *inlet* 65 % terhadap variasi bukaan katup *outlet* hanya diambil pada posisi P2. Hal tersebut karena posisi tersebut adalah posisi aliran air masuk ke dalam dinamometer. Tekanan pada posisi tersebut adalah variabel tetap yang akan digunakan pada persamaan.

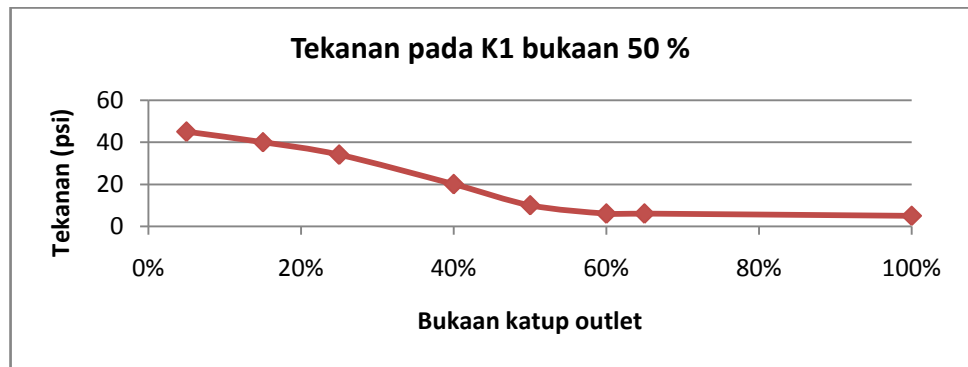
Data kelima didapatkan dengan membuka katup *inlet* 50 % dan dengan berbagai variasi bukaan pada katup *outlet*.

Tabel 5.14 Hasil pengujian hubungan bukaan katup *inlet* 50 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Posisi katup <i>inlet</i>	Posisi katup <i>outlet</i>	Debit (GPM)	P1	P2	P3
50 %	100 %	2.5224	47	5	6
50 %	65 %	2.4116	47	6	6
50 %	60 %	2.4116	47	6	7
50 %	50 %	2.19	49	10	10
50 %	40 %	1.636	49	20	20
50 %	25 %	1.4144	50	34	34
50 %	15 %	0.8604	50	40	40
50 %	5 %	0.6388	50	45	45



Gambar 5.25 Hubungan debit pada posisi bukaan katup *inlet* 50 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*



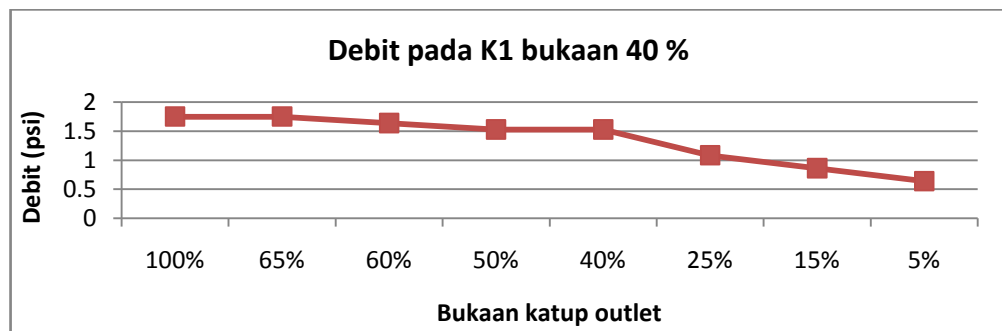
Gambar 5.26 Hubungan tekanan P2 pada posisi bukaan katup *inlet* 50 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Data pengujian pada hubungan tekanan pada posisi bukaan katup *inlet* 50 % terhadap variasi bukaan katup *outlet* hanya diambil pada posisi P2. Hal tersebut karena posisi tersebut adalah posisi aliran air masuk ke dalam dinamometer. Tekanan pada posisi tersebut adalah variabel tetap yang akan digunakan pada persamaan.

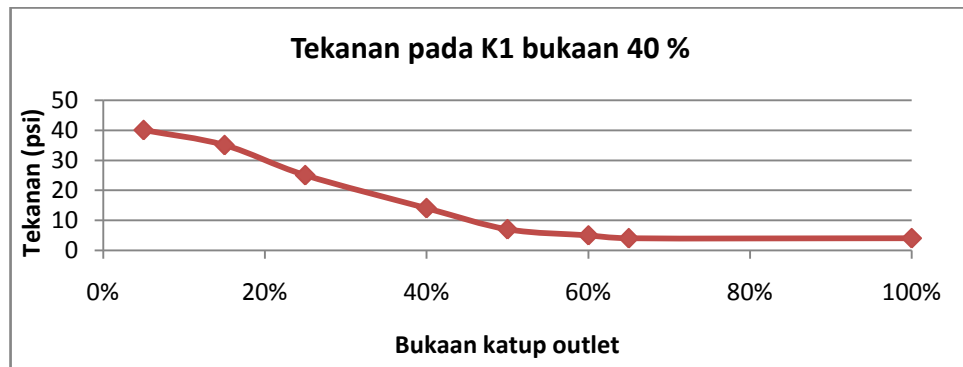
Data keenam didapatkan dengan membuka katup *inlet* 40 % dan dengan berbagai variasi bukaan pada katup *outlet*.

Tabel 5.15 Hasil pengujian hubungan bukaan katup *inlet* 40 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Posisi katup <i>inlet</i>	Posisi katup <i>outlet</i>	Debit (GPM)	P1	P2	P3
40 %	100 %	1.7468	47	4	4
40 %	65 %	1.7468	49	4	4
40 %	60 %	1.636	49	5	5
40 %	50 %	1.5252	49	7	7
40 %	40 %	1.5252	50	14	14
40 %	25 %	1.082	50	25	25
40 %	15 %	0.8604	50	35	35
40 %	5 %	0.6388	50	40	40



Gambar 5.27 Hubungan debit pada posisi bukaan katup *inlet* 40 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*



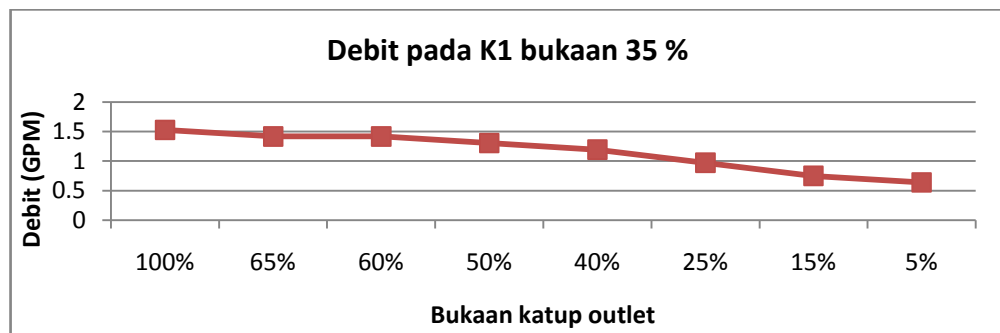
Gambar 5.28 Hubungan tekanan P2 pada posisi bukaan katup *inlet* 40 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Data pengujian pada hubungan tekanan pada posisi bukaan katup *inlet* 40 % terhadap variasi bukaan katup *outlet* hanya diambil pada posisi P2. Hal tersebut karena posisi tersebut adalah posisi aliran air masuk ke dalam dinamometer. Tekanan pada posisi tersebut adalah variabel tetap yang akan digunakan pada persamaan.

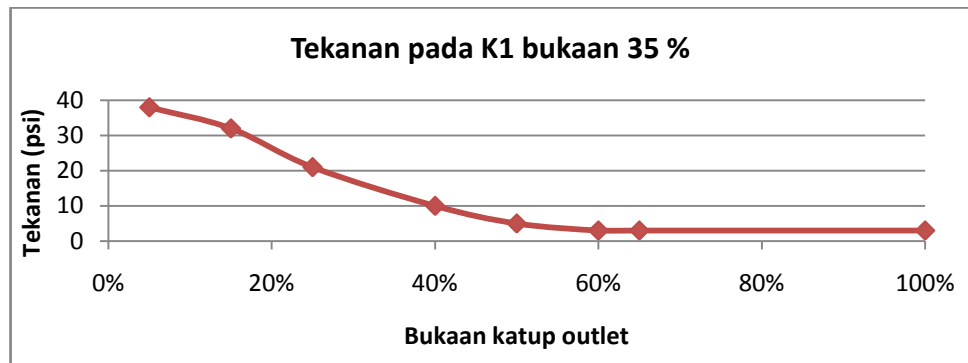
Data ketujuh didapatkan dengan membuka katup *inlet* 35 % dan dengan berbagai variasi bukaan pada katup *outlet*.

Tabel 5.16 Hasil pengujian hubungan bukaan katup *inlet* 35 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Posisi katup <i>inlet</i>	Posisi katup <i>outlet</i>	Debit (GPM)	P1	P2	P3
35 %	100 %	1.5252	48	2	2
35 %	65 %	1.4144	49	2	2
35 %	60 %	1.4144	49	2	2
35 %	50 %	1.3036	49	5	5
35 %	40 %	0.9712	49	11	11
35 %	25 %	0.8604	49	24	24
35 %	15 %	0.7496	50	32	32
35 %	5 %	0.6388	50	38	38



Gambar 5.29 Hubungan debit pada posisi bukaan katup *inlet* 35 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*



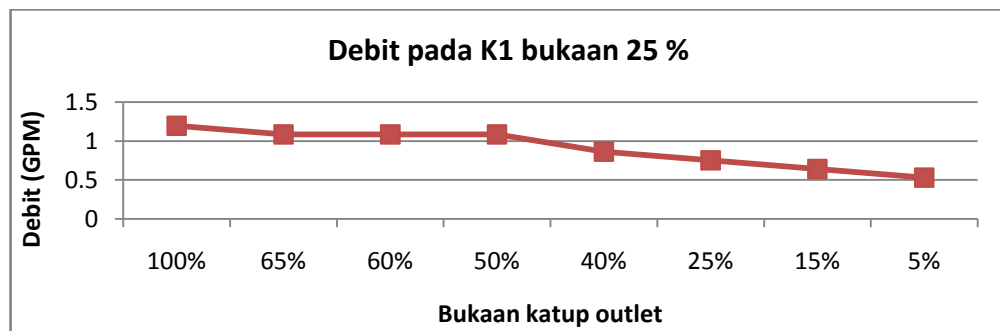
Gambar 5.30 Hubungan tekanan P2 pada posisi bukaan katup *inlet* 35 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Data pengujian pada hubungan tekanan pada posisi bukaan katup *inlet* 35 % terhadap variasi bukaan katup *outlet* hanya diambil pada posisi P2. Hal tersebut karena posisi tersebut adalah posisi aliran air masuk ke dalam dinamometer. Tekanan pada posisi tersebut adalah variabel tetap yang akan digunakan pada persamaan.

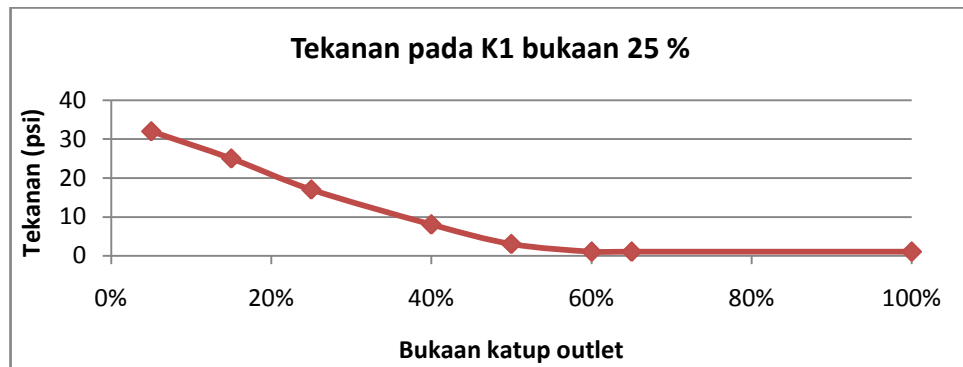
Data kedelapan didapatkan dengan membuka katup *inlet* 25 % dan dengan berbagai variasi bukaan pada katup *outlet*.

Tabel 5.17 Hasil pengujian hubungan bukaan katup *inlet* 25 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Posisi katup <i>inlet</i>	Posisi katup <i>outlet</i>	Debit (GPM)	P1	P2	P3
35 %	100 %	1.1928	49	1	1
35 %	65 %	1.082	49	1	1
35 %	60 %	1.082	49	1	1
35 %	50 %	1.082	49	3	3
35 %	40 %	0.8604	49	8	8
35 %	25 %	0.7496	5	17	17
35 %	15 %	0.6388	50	25	25
35 %	5 %	0.528	50	32	32



Gambar 5.31 Hubungan debit pada posisi bukaan katup *inlet* 25 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*



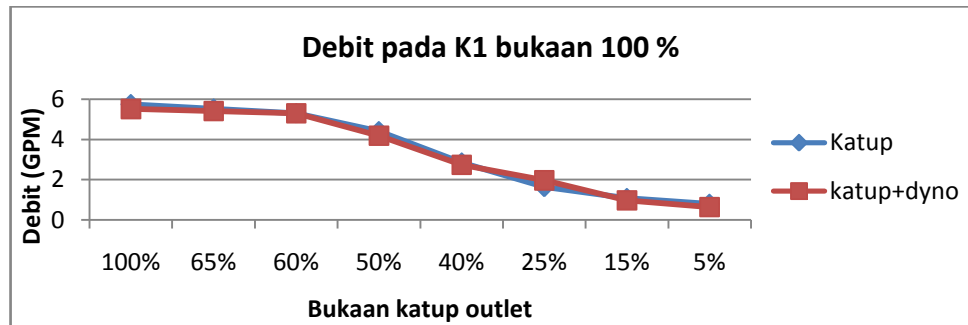
Gambar 5.32 Hubungan tekanan P2 pada posisi bukaan katup *inlet* 25 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Data pengujian pada hubungan tekanan pada posisi bukaan katup *inlet* 25 % terhadap variasi bukaan katup *outlet* hanya diambil pada posisi P2. Hal tersebut karena posisi tersebut adalah posisi aliran air masuk ke dalam dinamometer. Tekanan pada posisi tersebut adalah variabel tetap yang akan digunakan pada persamaan.

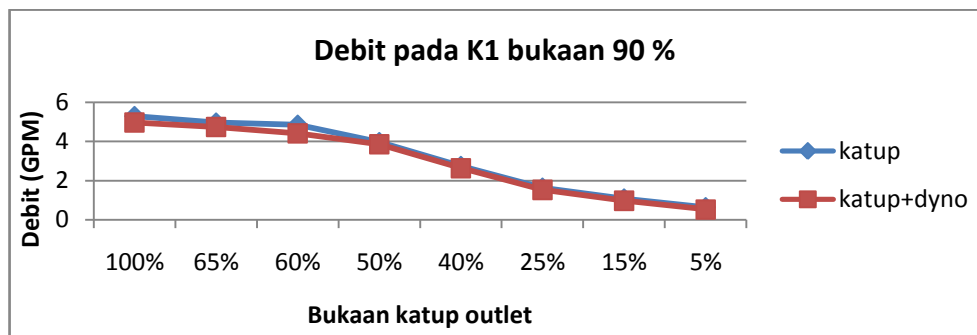
5.1.4 Perbandingan Data Bukaan Katup *Outlet* Dengan Katup Dan Katup Ditambah Dinamometer

Perbandingan ini untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penggunaan dinamometer terhadap besarnya debit dan tekanan pada P2.

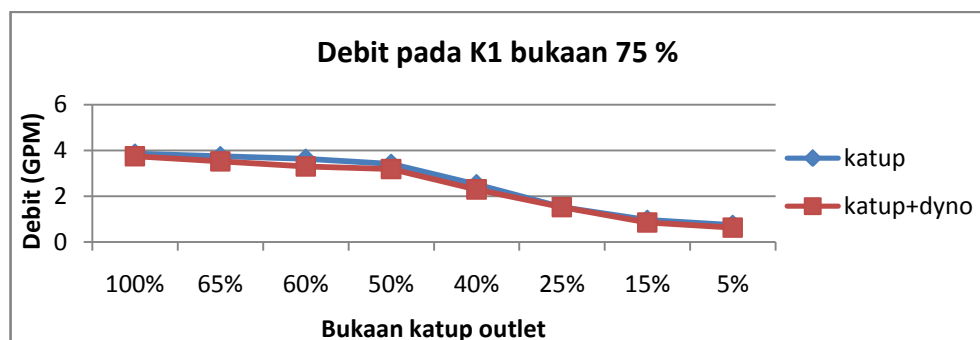
Perbandingan besar debit



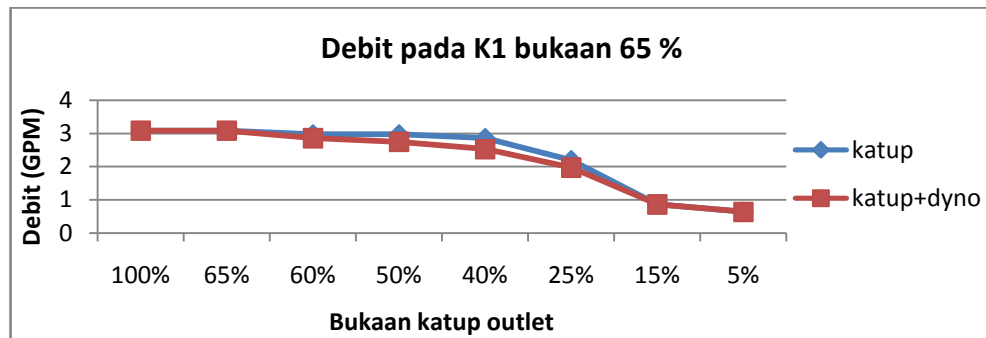
Gambar 5.33 Hubungan debit pada posisi bukaan katup *inlet* 100 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*



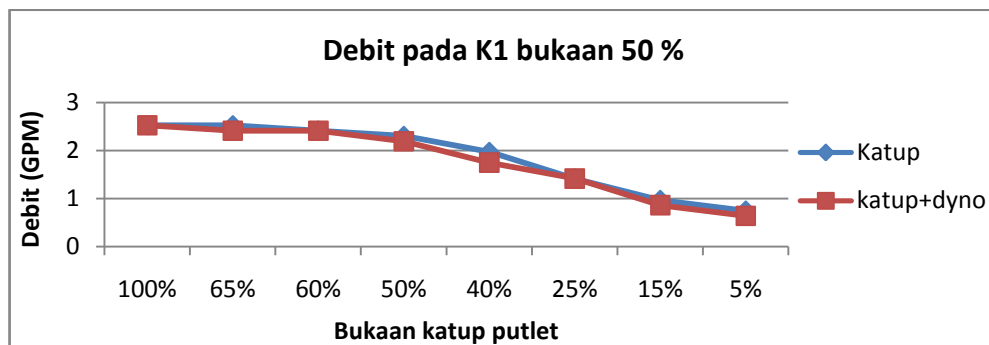
Gambar 5.34 Hubungan debit pada posisi bukaan katup *inlet* 90 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*



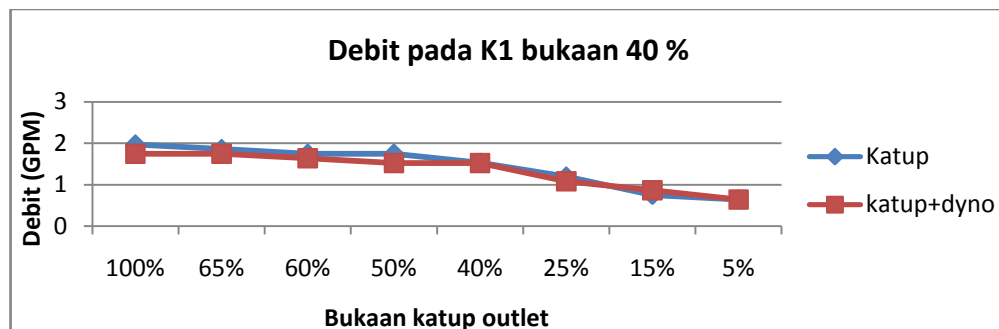
Gambar 5.35 Hubungan debit pada posisi bukaan katup *inlet* 75 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*



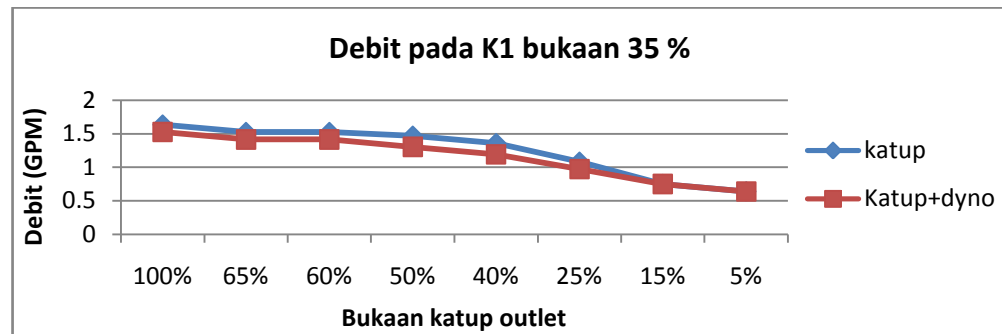
Gambar 5.36 Hubungan debit pada posisi bukaan katup *inlet* 65 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*



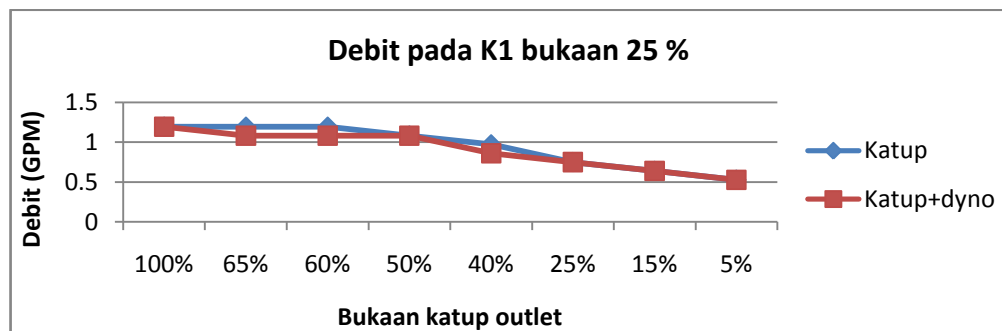
Gambar 5.37 Hubungan debit pada posisi bukaan katup *inlet* 50 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*



Gambar 5.38 Hubungan debit pada posisi bukaan katup *inlet* 40 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*



Gambar 5.39 Hubungan debit pada posisi bukaan katup *inlet* 35 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*



Gambar 5.40 Hubungan debit pada posisi bukaan katup *inlet* 25 % terhadap variasi bukaan katup *outlet*

Analisa

Dari data diatas terlihat bahwa pengaruh penggunaan dinamometer tidaklah signifikan. Debit yang dihasilkan pada saat terdapat dinamometer memang sedikit di bawah jika hanya menggunakan katup saja. Hal tersebut karena adanya rugi pada dinamometer. Pada tabel terlihat bahwa pada posisi P3 yaitu pada titik *outlet* pada dinamometer terjadi penurunan tekanan pada beberapa titik. Penurunan tersebut sebesar 1 psi dan tidak signifikan jika dibandingkan dengan nilai yang dihasilkan.

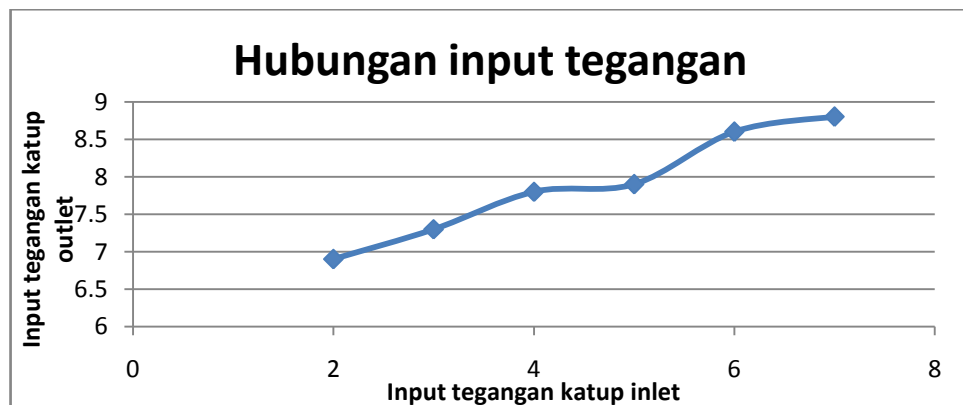
5.2 PENGUJIAN STABILITAS SISTEM

5.2.1 Pembuatan program

Dari data pengujian hubungan bukaan katup terhadap tekanan dan debit air didapatkan data yang dibutuhkan untuk pembuatan persamaan pada program. Pengujian ini dilakukan pada saat putaran dinamometer sebesar 700 RPM.

Tabel 5.18 Data yang digunakan sebagai persamaan

Input tegangan katup <i>inlet</i> (VDC)	Input tegangan katup <i>outlet</i> (VDC)
2	6.9
3	7.3
4	7.8
5	7.9
6	8.6
7	8.8

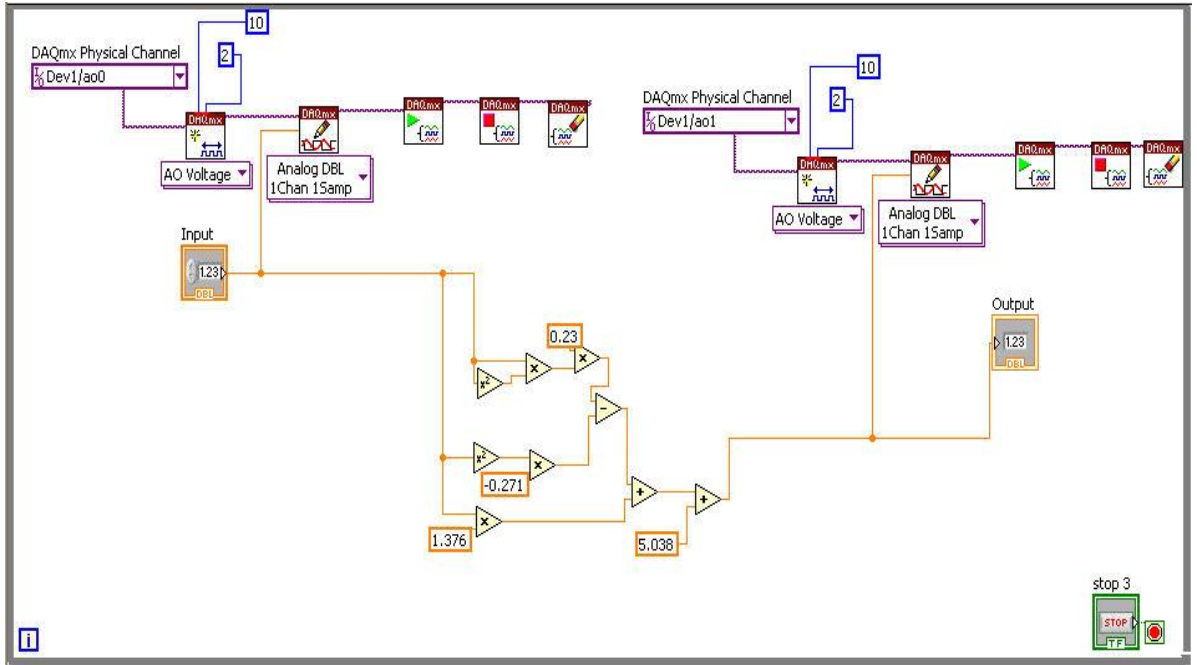


Gambar 5.41 Grafik hubungan input tegangan

Dari grafik tersebut didapat persamaan yang akan digunakan pada program yaitu,

$$y = 0.23x^3 - 0.271x^2 + 1.376x + 5.038$$

Kemiripan persamaan ini dengan data awal yang ada atau R^2 adalah 0.98. Karena kemiripan yang ada cukup besar bila dibandingkan dengan ketidakmiripannya maka persamaan ini dapat di gunakan untuk membangun program.



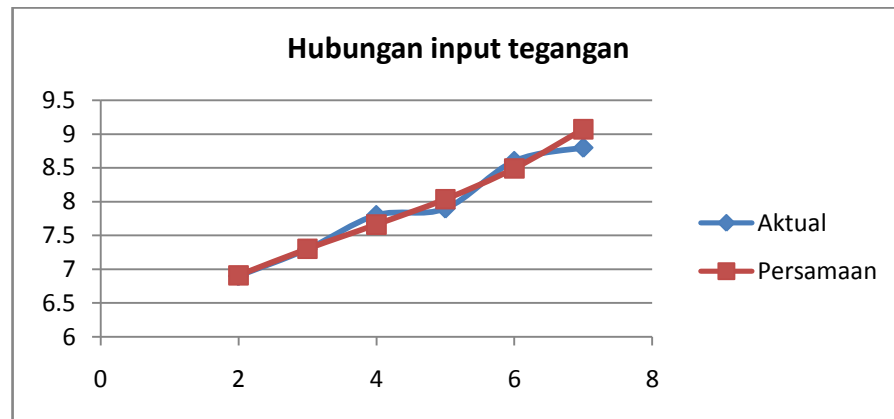
Gambar 5.42 Blok diagram program

5.2.2 Data Pengujian Program

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kehandalan dari program yang telah dibangun. Dari data pengujian ini dapat disimpulkan kelayakan dari program ini.

Tabel 5.19 Data Pengujian program

Input tegangan katup <i>inlet</i> (VDC)	Input tegangan katup <i>outlet</i> dengan persamaan (VDC)
2	6.91
3	7.302
4	7.66
5	8.038
6	8.49
7	9.07



Gambar 5.43 Grafik perbandingan input tegangan katup *outlet*

Tabel 5.20 Data error pada program

Input tegangan katup <i>inlet</i> (VDC)	Input tegangan katup <i>outlet</i> aktual (VDC)	Input tegangan katup <i>outlet</i> dengan persamaan (VDC)	Persen error (%)
2	6.9	6.91	0.145
3	7.3	7.302	0.027
4	7.8	7.66	1.795
5	7.9	8.038	1.747
6	8.6	8.49	1.28
7	8.8	9.07	3.07

Dari data di atas terlihat error terbesar terjadi saat input tegangan 7 VDC dengan tingkat kesalahan 3.07 %. Error terkecil terjadi saat input tegangan sebesar 3 VDC yaitu sebesar 0.027 %. Dari data yang ada dapat disimpulkan bahwa program ini dapat digunakan karena mempunyai tingkat kesalahan yang cukup kecil yaitu maksimal 3.07 %.

Tabel 5.21 Perbandingan jumlah debit antara aktual dan persamaan

Input tegangan katup <i>inlet</i> (VDC)	Debit Aktual (GPM)	Debit dengan persamaan (GPM)	Persen error (%)
2	2.831	2.83	0.035323
3	2.277	2.275	0.087835
4	1.46	1.47	0.68493
5	1.44	1.40	2.777778
6	0.512	0.513	0.19531
7	0.7	0.73	4.28571

Dari data di atas terlihat error terbesar terjadi saat input tegangan 7 VDC dengan tingkat kesalahan 4.28 %. Error terkecil terjadi saat input tegangan sebesar 2 VDC yaitu sebesar 0.035 %.

Dari data yang ada dapat disimpulkan bahwa program ini dapat digunakan karena mempunyai tingkat kesalahan yang cukup kecil yaitu maksimal 2.47 % untuk hubungan bukaan katup dan 4.28 % untuk hubungan debit yang dihasilkan.

Persamaan pada berbagai variasi putaran

Dinamometer sebagai alat pengukur daya digerakkan pada berbagai putaran. Karena dinamometer dapat digambarkan sebagai pompa maka hubungan putaran dan debit pompa yaitu,

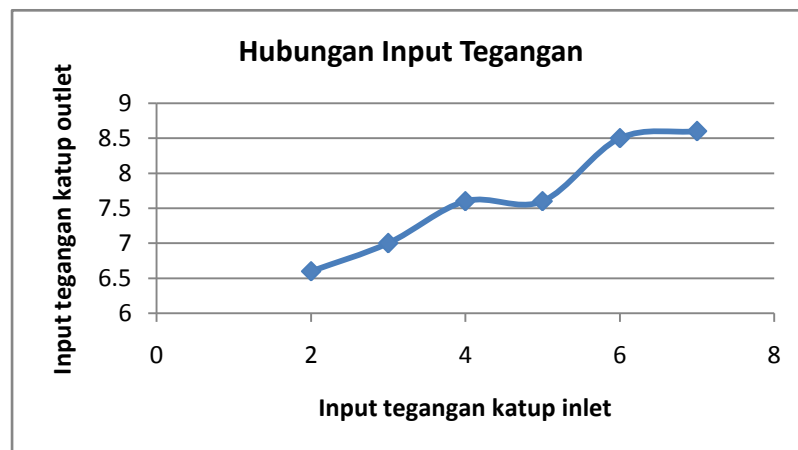
$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

dapat diterapkan. Berdasarkan data pengujian pada saat putaran 700 RPM didapatkan persamaan lain pada putaran yang berbeda.

Pada putaran 800 RPM didapatkan data sebagai berikut,

Tabel 5.22 Data yang digunakan sebagai persamaan untuk putaran 800 RPM

Input tegangan katup <i>inlet</i> (VDC)	Input tegangan katup <i>outlet</i> (VDC)
2	6.6
3	7
4	7.6
5	7.6
6	8.5
7	8.6



Gambar 5.44 Grafik hubungan input tegangan pada putaran 800 RPM

Sedangkan persamaan yang digunakan adalah

$$y = -0.004x^3 + 0.057x^2 + 0.204x + 6.009$$

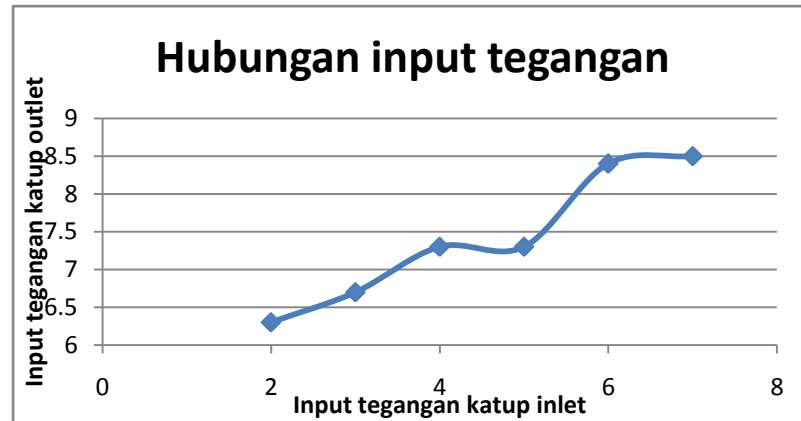
Tabel 5.23 Data error pada putaran 800 RPM

Input tegangan katup <i>inlet</i> (VDC)	Input tegangan katup <i>outlet</i> aktual (VDC)	Input tegangan katup <i>outlet</i> dengan persamaan (VDC)	Persen error
2	6.6	6.613	0.19697
3	7	7.026	0.37143
4	7.6	7.481	1.565789
5	7.6	7.954	4.65789
6	8.5	8.421	0.929412
7	8.6	8.858	3

Pada putaran 900 RPM didapatkan data sebagai berikut,

Tabel 5.24 Data yang digunakan sebagai persamaan untuk putaran 900 RPM

Input tegangan katup <i>inlet</i> (VDC)	Input tegangan katup <i>outlet</i> (VDC)
2	6.3
3	6.7
4	7.3
5	7.3
6	8.4
7	8.5



Gambar 5.45 Grafik hubungan input tegangan ada putaran 900 RPM

Sedangkan persamaan yang digunakan adalah,

$$y = -0.008x^3 + 0.121x^2 - 0.084x + 6.0719$$

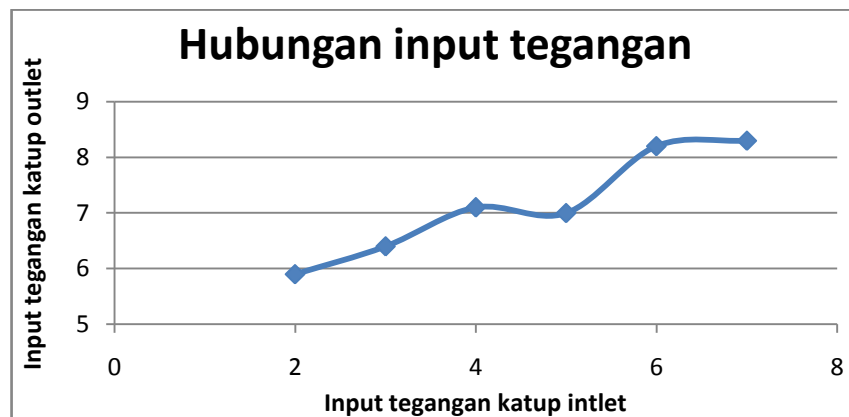
Tabel 5.25 Data error pada putaran 900 RPM

Input tegangan katup <i>inlet</i> (VDC)	Input tegangan katup <i>outlet</i> aktual (VDC)	Input tegangan katup <i>outlet</i> dengan persamaan (VDC)	Persen error
2	6.3	6.323	0.36508
3	6.7	6.692	0.119403
4	7.3	7.159	1.931507
5	7.3	7.676	5.15068
6	8.4	8.195	2.440476
7	8.5	8.668	1.97647

Pada putaran 1000 RPM didapatkan data sebagai berikut,

Tabel 5.26 Data yang digunakan sebagai persamaan untuk putaran 1000 RPM

Input tegangan katup <i>inlet</i> (VDC)	Input tegangan katup <i>outlet</i> (VDC)
2	5.9
3	6.4
4	7.1
5	7
6	8.2
7	8.3



Gambar 5.46 Grafik hubungan input tegangan ada putaran 1000 RPM

Sedangkan persamaan yang digunakan adalah,

$$y = -0.001x^3 + 0.025x^2 + 0.391x + 5.052$$

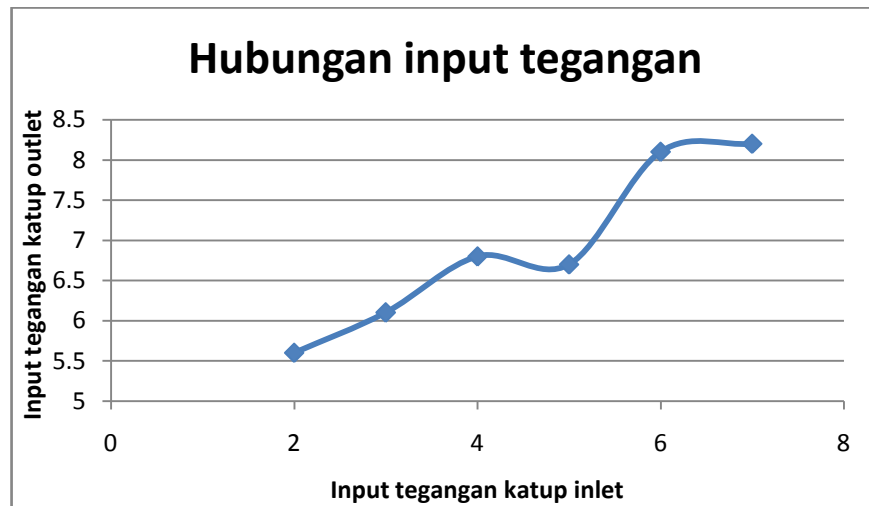
Tabel 5.27 Data error pada putaran 1000 RPM

Input tegangan katup <i>inlet</i> (VDC)	Input tegangan katup <i>outlet</i> aktual (VDC)	Input tegangan katup <i>outlet</i> dengan persamaan (VDC)	Persen error
2	5.9	5.926	0.44068
3	6.4	6.423	0.35937
4	7.1	6.952	2.084507
5	7	7.507	7.24286
6	8.2	8.082	1.439024
7	8.3	8.671	4.46988

Pada putaran 1100 RPM didapatkan data sebagai berikut,

Tabel 5.28 Data yang digunakan sebagai persamaan untuk putaran 1100 RPM

Input tegangan katup <i>inlet</i> (VDC)	Input tegangan katup <i>outlet</i> (VDC)
2	5.6
3	6.1
4	6.8
5	6.7
6	8.1
7	8.2



Gambar 5.47 Grafik hubungan input tegangan ada putaran 1100 RPM

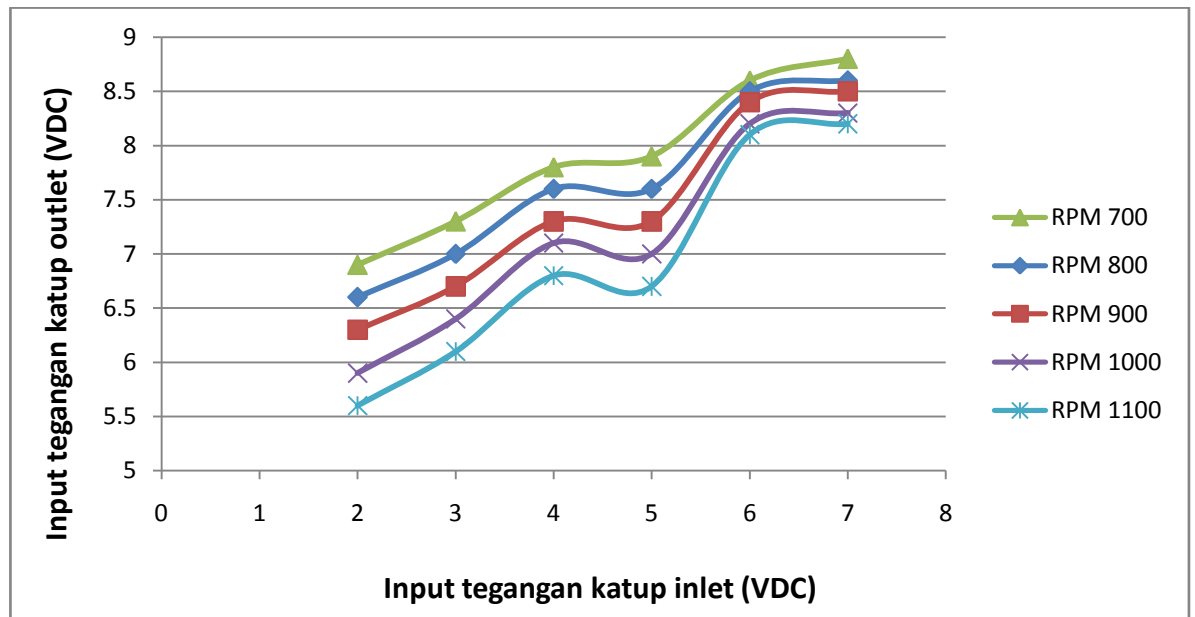
Sedangkan persamaan yang digunakan adalah,

$$y = -0.005x^3 + 0.089x^2 + 0.102x + 5.114$$

Tabel 5.29 Data error pada putaran 1100 RPM

Input tegangan katup inlet (VDC)	Input tegangan katup outlet aktual (VDC)	Input tegangan katup outlet dengan persamaan (VDC)	Persen error
2	5.6	5.634	0.60714
3	6.1	6.086	0.229508
4	6.8	6.626	2.558824
5	6.7	7.224	7.8209
6	8.1	7.85	3.08642
7	8.2	8.474	3.34146

Perbandingan input tegangan untuk berbagai putaran digambarkan pada gambar 5.48



Gambar 5.48 Perbandingan input tegangan untuk berbagai putaran

5.2.3 Pengujian Daya Dinamometer Dengan Menggunakan Sistem

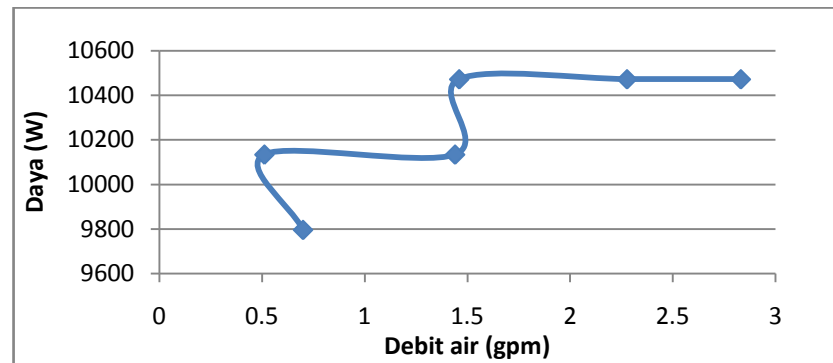
5.2.3.1 Pengujian dengan putaran tetap

Pengujian ini untuk mengetahui daya dynamometer pada berbagai variasi debit yang dialirkan pada putaran tetap. Pada pengujian ini putaran dynamometer berada pada putaran 700, 800 dan 900 rpm. Variasi debit berfungsi sebagai tahanan pada dynamometer.

Putaran 700

Tabel 5.30 Data pengujian sistem pada putaran 700 RPM

Debit (GPM)	Putaran (RPM)	Massa (Kg)	Torsi (Kg m)	Daya (W)
2.831	700	31	14.57	10472.13
2.277	700	31	14.57	10472.13
1.46	700	31	14.57	10472.13
1.44	700	30	14.1	10134.32
0.512	700	30	14.1	10134.32
0.7	700	29	13.63	9796.508

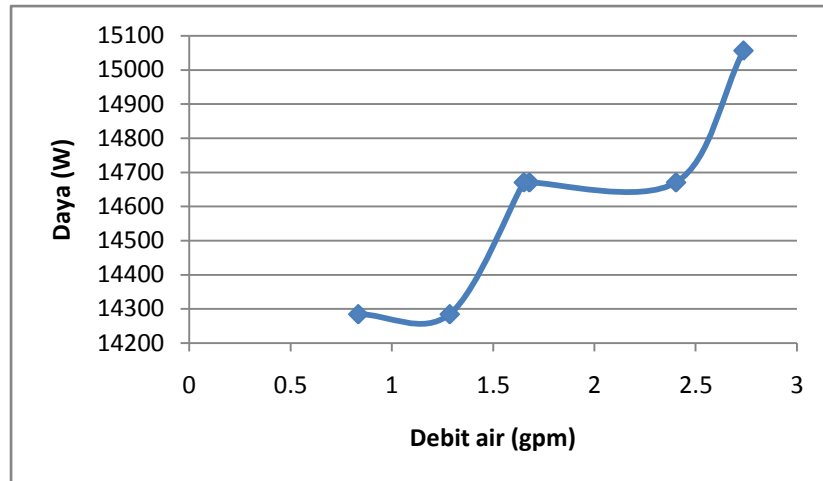


Gambar 5.49 Grafik hubungan variasi debit air terhadap daya dinamometer yang dihasilkan

Putaran 800

Tabel 5.31 Data pengujian sistem pada putaran 800 RPM

Debit (GPM)	Putaran (RPM)	Massa (Kg)	Torsi (Kg m)	Daya (W)
2.736392	800	39	18.33	15056.7
2.403194	800	38	17.86	14670.63
1.679195	800	38	17.86	14670.56
1.651731	800	38	17.86	14670.63
1.286158	800	37	17.39	14284.56
0.834286	800	37	17.39	14284.56

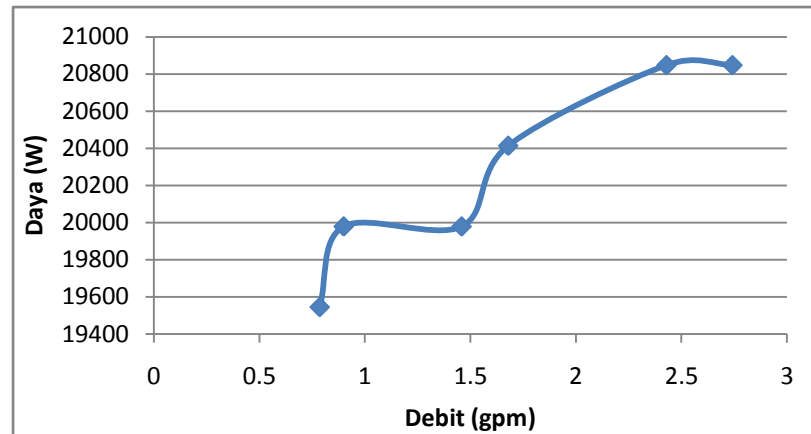


Gambar 5.50 Grafik hubungan variasi debit air terhadap daya dinamometer yang dihasilkan

Putaran 900

Tabel 5.32 Data pengujian sistem pada putaran 900 RPM

Debit (GPM)	Putaran (RPM)	Massa (Kg)	Torsi (Kg m)	Daya (W)
2.740941	900	48	22.56	20847.74
2.428594	900	48	22.09	20413.41
1.679095	900	47	22.56	20847.74
1.458198	900	46	21.62	19979.09
0.899427	900	46	21.62	19979.09
0.78571	900	45	21.15	19544.76



Gambar 5.51 Grafik hubungan variasi debit air terhadap daya dinamometer yang dihasilkan

Dari data tabel 5.29, 5.30 dan 5.31 terlihat bahwa variasi debit berpengaruh pada daya yang dihasilkan oleh dinamometer. Semakin besar debit yang mengalir pada dinamometer akan mengakibatkan perubahan daya dinamometer yang semakin besar.

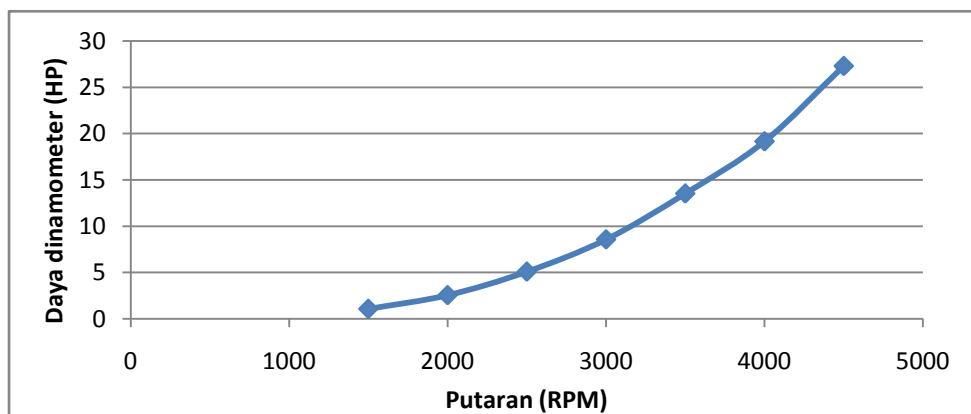
5.2.3.1 Pengujian dengan variasi putaran

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan berbagai putaran dinamometer. Putaran yang diujikan adalah putaran 300, 400, 500, 600, 700, 800 dan 900 RPM. Hasil pada pengujian ini akan dibandingkan dengan hasil pengujian dari dinamometer merek *DYNOMite*. Pengujian dilakukan pada saat tekanan konstan 30 psi.

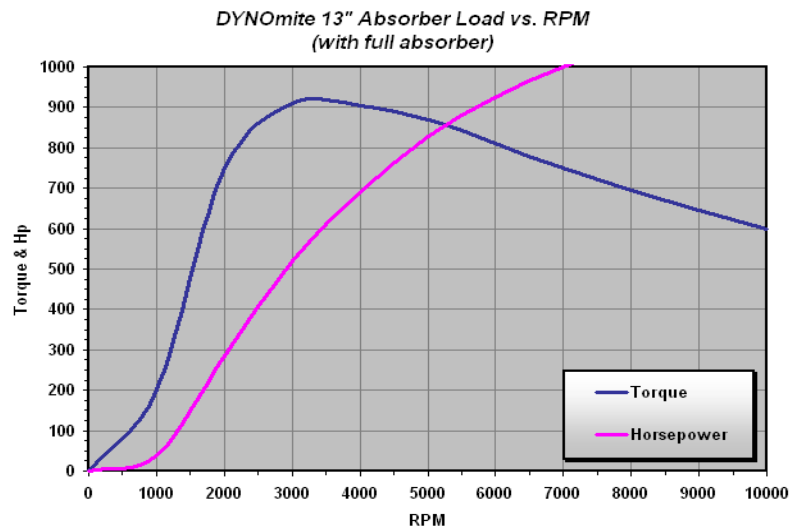
Tabel 5.33 Data hasil pengujian daya dinamometer

RPM DYNO	RPM MOBIL	Debit (GPM)	Torsi (Nm)	Daya Dinamometer (W)	Daya Dinamometer (HP)
300	1500	3.1	27.6642	868.65588	1.07
400	2000	3	46.107	1930.3464	2.55
500	2500	2.9	73.7712	3860.6928	5.09
600	3000	2.8	101.4354	6370.14312	8.57
700	3500	2.8	138.321	10134.3186	13.53
800	4000	2.7	170.5959	14284.56336	19.16
900	4500	2.7	216.7029	20413.41318	27.3

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mobil KIA Picanto pada posisi gigi 2. Rasio antara mesin dan roll yang terhubung dengan dinamometer adalah 5:1. Pengujian ini terjadi pada saat tekanan pada aliran yang masuk ke dalam dinamometer konstan, besar tekanan tersebut adalah 30 psi.



Gambar 5.52 Grafik daya dinamometer pada variasi putaran



Gambar 5.53 Grafik daya dinamometer dari *DYNOMite*

Grafik daya dinamometer dari *DYNOMite* dilakukan pada saat full absorber. Tekanan kerja dan debitnya adalah 40 GPM saat tekanan 40 psi.

Dari kedua grafik diatas terdapat perbedaan pengukuran. Pada dinamometer merek *DYNOMite* kapasitas dinamometer adalah dapat menyerap 20 HP pada debit 1 GPM. Pada dinamometer yang diuji, kapasitasnya adalah 9 HP pada debit 1 GPM. Perbedaan ini terjadi kemungkinan karena beberapa akibat, diantaranya :

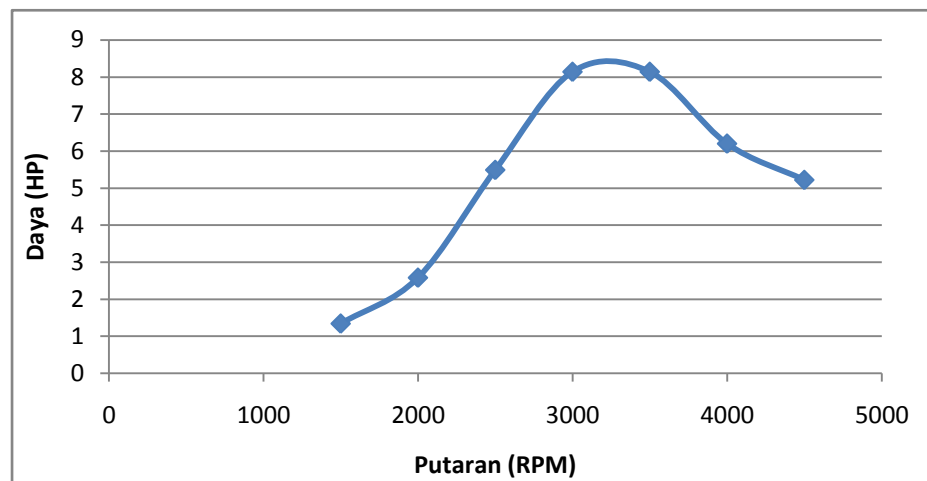
- Adanya beda konstruksi pada dinamometer uji.
- Terdapat perbedaan tekanan kerja.
- Kerugian gesek yang besar.
- Adanya inertia yang hilang pada rotor dinamometer.

Pengujian Dinamometer tanpa diberikan beban

Pengujian dilakukan pada dinamometer tanpa ada beban dari air yang mengalir. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mobil KIA Picanto pada posisi gigi 2. Rasio antara mesin dan roll yang terhubung dengan dinamometer adalah 5:1.

Tabel 5.34 Data pengujian daya tanpa beban

RPM DYNO	RPM MOBIL	Massa (Kg)	Torsi (Kg m)	Daya DYNO (W)	Daya DINO (HP)
300	1500	7	32.2749	1013.43186	1.34
400	2000	10	46.107	1930.3464	2.58
500	2500	17	78.3819	4101.9861	5.49
600	3000	21	96.8247	6080.59116	8.14
700	3500	18	82.9926	6080.59116	8.14
800	4000	12	55.3284	4632.83136	6.2
900	4500	9	41.4963	3908.95146	5.22



Gambar 5.54 Grafik daya dinamometer tanpa beban

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Katup yang digunakan merupakan katup linier dengan tipe globe. Katup bergerak secara linier naik dan turun dengan bantuan dari aktuator. Aktuator yang digunakan merupakan tipe motor listrik. Motor listrik ini digerakkan dengan menggunakan tegangan. Motor listrik yang sudah diberi tegangan tertentu akan berputar, putaran dari motor listrik tersebut akan memutar rangkaian roda gigi yang ada di bawahnya. Roda gigi tersebut akan bergerak dan membuat *stroke* pada katup bergerak naik atau turun.
2. Dari hasil perancangan sistem instalasi, digunakan dua buah katup untuk mengatur debit dan tekanan. Tekanan dijaga konstan dengan nilai 30 psi pada saat terjadi variasi debit.
3. Persamaan pada sistem kontrol didapat dari hubungan antara bukaan katup terhadap debit dan tekanan air.
4. Persamaan yang digunakan pada sistem pada berbagai variasi putaran adalah,

Putaran (rpm)	Persamaan
700	$y = 0.23x^3 - 0.271x^2 + 1.376x + 5.038$
800	$y = -0.004x^3 + 0.057x^2 + 0.204x + 6.009$
900	$y = -0.008x^3 + 0.121x^2 - 0.084x + 6.071$
1000	$y = -0.001x^3 + 0.025x^2 + 0.391x + 5.052$
1100	$y = -0.005x^3 + 0.089x^2 + 0.102x + 5.114$

5. Pada perhitungan persamaan terhadap bukaan yang dihasilkan katup *outlet* terdapat error, dengan terbesar terjadi saat input tegangan 7 VDC dengan tingkat kesalahan 3.07 %. Error terkecil terjadi saat input tegangan sebesar 3 VDC yaitu sebesar 0.027 %.
6. Pada pengujian persamaan terhadap debit yang dihasilkan sistem terdapat error, dengan error terbesar terjadi saat input tegangan 7 VDC dengan tingkat kesalahan 4.28 %. Error terkecil terjadi saat input tegangan sebesar 2 VDC yaitu sebesar 0.035 %
7. Perbandingan error yang terjadi pada perhitungan persamaan

Putaran (rpm)	Nilai error terbesar (%)	Tegangan input error terbesar (VDC)	Nilai error terkecil (%)	Tegangan input error terkecil (VDC)
700	3.07	7	0.027	3
800	3	7	0.19	2
900	2.44	6	0.11	3
1000	7.24	5	0.22	3
1100	7.8	5	0.22	3

8. Dari pengujian daya dinamometer dengan menggunakan sistem pada putaran tetap, variasi debit berpengaruh pada daya yang dihasilkan oleh dinamometer. Semakin besar debit yang mengalir pada dinamometer akan mengakibatkan perubahan daya dinamometer yang semakin besar.

9. Terdapat perbedaan hasil pada pengujian daya dynamometer jika dibandingkan dengan dynamometer pada *DYNOMITE*. Perbedaan terjadi kemungkinan akibat :

- Adanya beda konstruksi pada dynamometer uji.
- Terdapat perbedaan tekanan kerja.
- Kerugian gesek yang besar.
- Adanya inerti yang hilang pada rotor dynamometer.

6.2 Saran

1. Untuk penelitian lanjutan dapat dicari persamaan untuk tekanan konstan lainnya. Untuk lebih memudahkan pengujian dengan dinamometer.
2. Untuk penelitian lanjutan dapat dicari persamaan dasar untuk berbagai tekanan konstan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Beckwith, T.G. *Mechanical Measurement*. McGraw-hill Inc. New York.
2. Bishop, Robert H. 2008. *Mechatronic System,s Sensors and Actuators*. New York: CRC Press.
3. Collet, C.v. *Engineering Measurement*. The English Language Book Society and Patman, Edisi kedua.
4. Emerson Process Management. 2005. *Control Valve Handbook*. USA: Fisher.
5. Fox, Robert W & Alan T, Mcdonald. 1994. *Introduction To Fluid Mechanics*. USA: John Willey & Sons.
6. Hsu, Hwei. P. 1995. *Theory and Problems of Signal and System*. McGraw-hill Inc. New York.
7. Mason, Bruce R. 2002. *Fundamental of Fluid Mechanics*. USA: John Willey & Sons.
8. National Instrument. 2003. *Introduction To LabVIEW*. USA: National Instrument.
9. Sularso dan Suga, K. 1987. *Dasar dan Pemilihan Elemen Mesin*, Cetakan Keenam. Jakarta: Pradnya Paramitha.
10. <http://en.wikipedia.org/> , Mei 2011.
11. <http://baiuanggara.wordpress.com/2009/01/04/prinsip-kerja-pompa-sentrifugal/>, Juni 2011
12. <http://quora.com/> , Juni 2011
13. <http://made-in-china.com/> , Juni 2011