

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

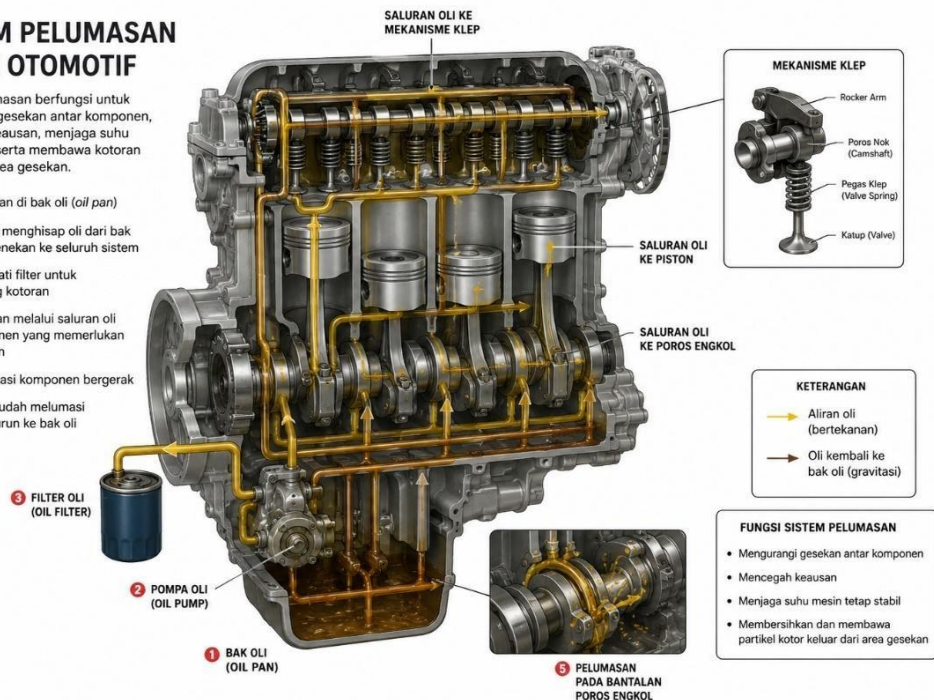
2.1.1 Sistem Pelumasan Mesin Otomotif

Sistem pelumasan merupakan salah satu bagian penting dalam mesin otomotif yang berperan besar dalam menjaga kinerja dan keawetan mesin. Sistem ini tidak hanya berfungsi untuk mengurangi gesekan antara komponen, tetapi juga membantu mengurangi keausan, menjaga suhu mesin tetap stabil, dan membawa partikel kotor keluar dari area gesekan. Dalam jurnal *tribology international* menjelaskan bahwa sistem pelumasan pada mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) berperan penting dalam menurunkan konsumsi oli, mengurangi emisi, serta menjaga durabilitas komponen mesin (Rossegger et al., 2021).

SISTEM PELUMASAN MESIN OTOMOTIF

Sistem pelumasan berfungsi untuk mengurangi gesekan antar komponen, mencegah keausan, menjaga suhu tetap stabil, serta membawa kotoran keluar dari area gesekan.

- 1 Oli disimpan di bak oli (*oil pan*)
- 2 Pompa oli menghisap oli dari bak oli dan menekan ke seluruh sistem
- 3 Oli melewati filter untuk menyaring kotoran
- 4 Oli dialirkan melalui saluran oli ke komponen yang memerlukan pelumasan
- 5 Oli melumasi komponen bergerak
- 6 Oli yang sudah melumasi kembali turun ke bak oli



Gambar 2. 1 Sistem pelumasan pada mesin otomotif, diadopsi (Rossegger et al., 2021)

Cara kerja sistem pelumasan yaitu dengan menyalurkan oli menggunakan pompa ke seluruh bagian mesin, seperti bantalan (*bearing*), poros engkol, dan komponen lain yang bergerak. Oli tersebut akan membentuk lapisan tipis yang disebut film pelumas, yang berfungsi memisahkan dua permukaan logam agar tidak

saling bersentuhan secara langsung. Ketebalan lapisan ini menentukan jenis pelumasan yang terjadi, seperti *boundary lubrication*, *mixed lubrication*, atau *hydrodynamic lubrication* (Nisbett & Budynas, 2020).

Pada kondisi *hydrodynamic lubrication*, kedua permukaan logam benar-benar terpisah oleh fluida sehingga gesekan yang terjadi sangat kecil. Namun, apabila lapisan pelumas tidak stabil akibat pengaruh tekanan, temperatur, atau viskositas yang tidak sesuai, maka dapat terjadi kontak langsung antar logam berpotensi mempercepat kerusakan komponen (Nisbett & Budynas, 2020). Menurut (Nisbett & Budynas, 2020), Kestabilan lapisan pelumas di pengaruhi oleh viskositas oli, kecepatan gerak permukaan, serta beban yang bekerja. Oleh karena itu, sistem pelumasan harus mampu menjaga kondisi tersebut agar tetap berada dalam kondisi optimal.

2.1.2 Filter Oli dan Mekanisme Filtrasi

Filter oli berfungsi untuk menjaga kebersihan oli dengan cara menyaring partikel kotor yang ikut terbawa dalam aliran pelumas. Kotoran tersebut dapat berasal dari gesekan antara komponen, sisa pembakaran, maupun perubahan sifat kimia oli selama pemakaian.

Kemampuan filter dalam menyaring kotoran sangat bergantung pada karakteristik media filter, seperti ukuran pori, ketebalan, dan struktur bahan. Semakin kecil ukuran pori, maka kemampuan menyaring partikel semakin baik, namun aliran fluida akan menjadi lebih terlambat. Proses penyaringan dalam filter oli tidak hanya terjadi melalui satu cara, melainkan melalui beberapa mekanisme sekaligus, seperti penyaringan langsung (*straining*), penempelan partikel pada media (*interception*), pergerakan acak partikel kecil (*diffusion*), serta pengendapan karena berat partikel (*sedimentation*) (Tien & Ramarao, 2007).



Gambar 2. 2 Mekanisme penyaringan dan parameter kinerja filter oli, diadopsi dari (Tien & Ramarao, 2007) dan (Mott et al., 2015).

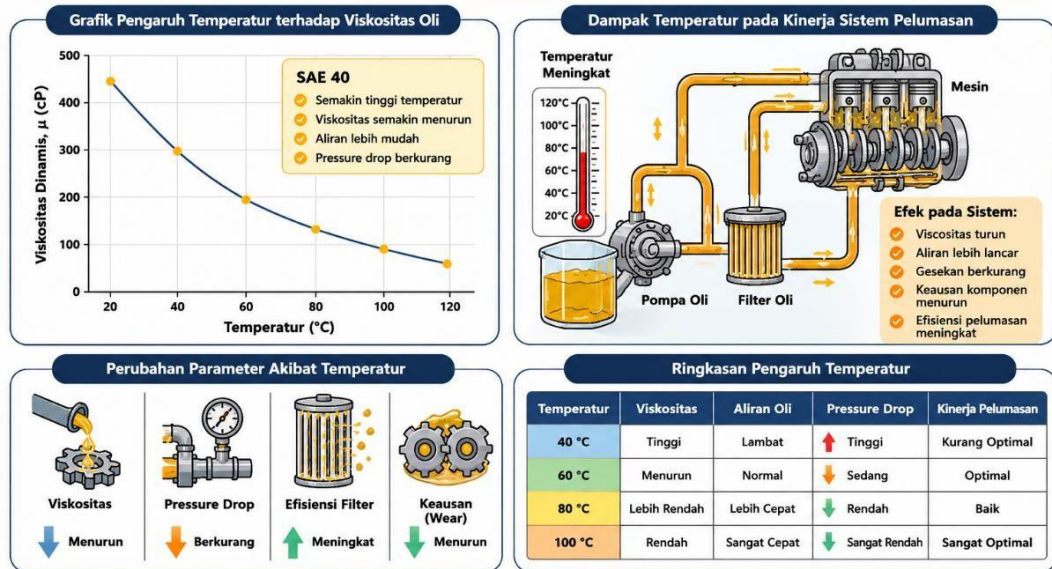
Menurut SAE International, kinerja filter oli dinilai berdasarkan efisiensi penyaringan, kemampuan menahan kotoran, serta penurunan tekanan yang terjadi. Penurunan tekanan menjadi parameter penting karena berpengaruh langsung terhadap aliran oli jika tekanan turun terlalu besar, maka distribusi oli ke komponen mesin bisa terganggu. Dalam sistem fluida, semakin besar kehilangan tekanan, maka semakin besar energi yang di butuhkan untuk mempertahankan aliran (Mott et al., 2015). Oleh karna itu, sistem uji harus mengatur dan mengukur tekanan serta aliran agar hasil pengujian sesuai dengan kondisi sebenarnya terhadap aliran oli. Jika terkanan turun terlalu besar, maka distribusi oli ke komponen mesin.

2.1.3 Karakteristik Fluida dan Pengaruh Temperatur

Oli pelumas memiliki sifat yang mudah berubah terhadap temperatur dan kekentalannya (viskositas). Perubahan viskositas ini akan mempengaruhi kemampuan pelumasan, distribusi aliran, serta kehilangan tekanan pada sistem. Dalam sistem perpipaan, kehilangan tekanan di pengaruhi oleh viskositas fluida, panjang pipa, serta kecepatan aliran (Mott et al., 2015).

Ketika temperatur meningkat, viskositas oli akan menurun sehingga oli menjadi lebih encer. Sebaliknya, Ketika temperatur menurun viskositas meningkat dan membuat aliran menjadi lebih lambat. Selain itu, perubahan viskositas juga mempengaruhi jenis aliran fluida, apakah bersifat laminar atau turbulen, yang di tentukan oleh bilangan *Reynolds* (Çengel & Cimbala, 2018). Oleh karena itu, pengendalian temperatur menjadi sangat penting agar sistem pelumasan tetap bekerja secara optimal selama pengujian.

Pengaruh Temperatur terhadap Viskositas Oli dan Kinerja Sistem Pelumasan

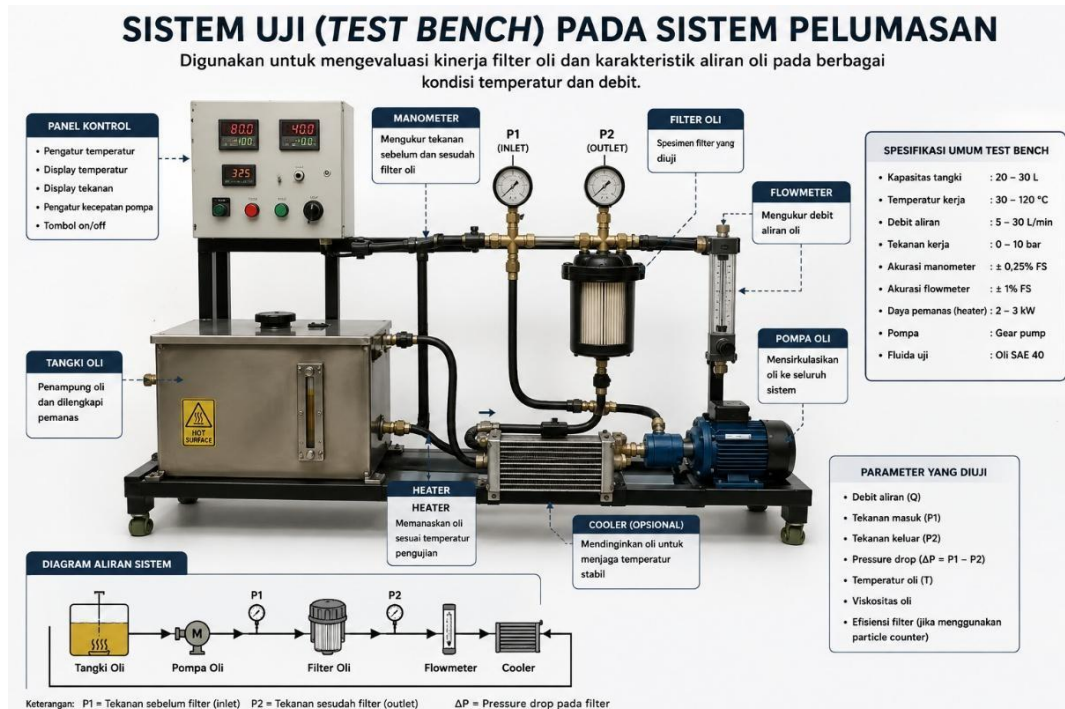


Berdasarkan konsep karakteristik fluida: Mott & Untener (2015); Çengel & Cimbala (2018)

Gambar 2.3 Pengaruh temperatur terhadap viskositas oli, kehilangan tekanan, dan karakteristik aliran fluida, diadopsi (Çengel & Cimbala, 2018) dan (Mott et al., 2015).

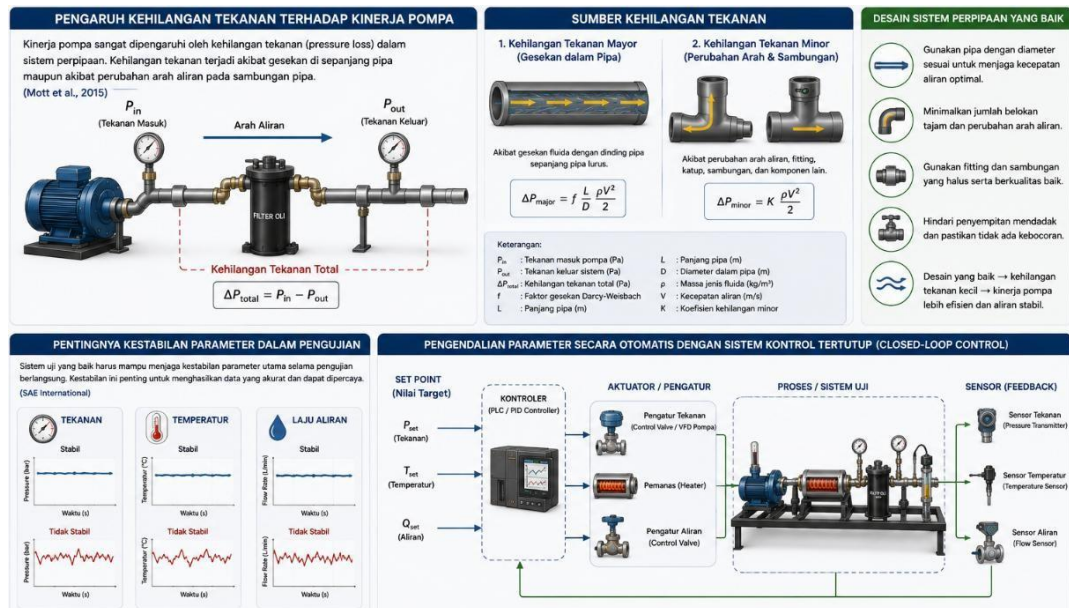
2.1.4 Sistem Uji (Test Bench) pada Sistem Pelumasan

Sistem uji atau *test bench* merupakan alat yang digunakan untuk meniru kondisi kerja suatu sistem dalam lingkungan yang terkontrol, sehingga parameter-parameter penting dapat diukur secara sistematis. Dalam penelitian ini, sistem uji digunakan untuk mensimulasikan kondisi kerja filter oli agar mendekati kondisi yang terjadi pada mesin sebenarnya. Dalam pengujian filter oli, sistem uji harus mampu mengatur beberapa parameter utama seperti tekanan, temperatur, dan laju aliran oli secara bersamaan. Hal ini penting karena ketiga parameter tersebut saling memengaruhi dan menentukan performa sistem pelumasan. Secara umum, sistem uji terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu pompa, pemanas (*Heater*), sensor tekanan dan temperatur, serta jaringan pipa danudukan filter. Pompa berfungsi untuk mengalirkan oli, sedangkan *Heater* digunakan untuk menaikkan temperatur oli agar menyerupai kondisi mesin saat bekerja.



Gambar 2.4 Skema sistem uji (*test bench*) filter oli yang digunakan untuk mensimulasikan kondisi kerja sistem pelumasan melalui pengaturan tekanan, temperatur, dan laju aliran oli secara terkontrol. Diadopsi ((*Handbook of Lubrication and Tribology*, n.d.) dan (Mott et al., 2015))

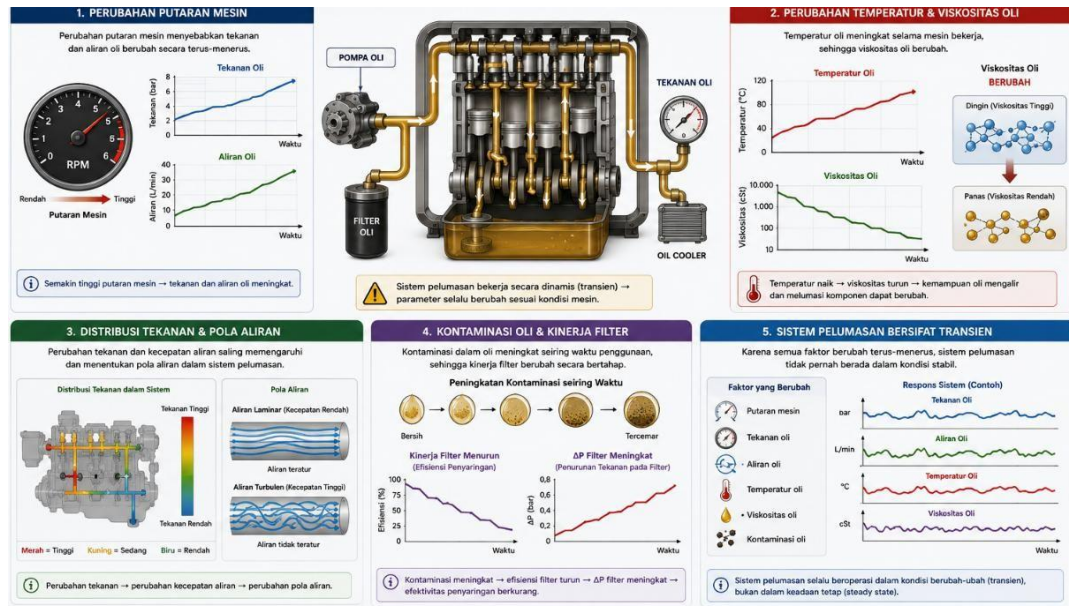
Kinerja pompa dalam sistem ini sangat dipengaruhi oleh kehilangan tekanan dalam sistem perpipaan. Kehilangan tekanan tersebut dapat terjadi akibat gesekan di dalam pipa maupun akibat perubahan arah aliran pada sambungan pipa (Mott et al., 2015). Oleh karena itu, desain sistem perpipaan harus dirancang dengan baik agar aliran tetap stabil. Selain itu, sistem uji yang baik juga harus mampu menjaga kestabilan parameter selama pengujian berlangsung. Menurut SAE International, kestabilan parameter sangat penting untuk menghasilkan data yang akurat dan dapat dipercaya. Pada sistem modern, pengendalian parameter biasanya dilakukan secara otomatis menggunakan sistem kontrol tertutup (*closed-loop control*), sehingga perubahan kondisi dapat langsung dikoreksi oleh sistem.



Gambar 2.5 Pengaruh kehilangan tekanan pada sistem perpipaan terhadap kinerja pompa. Diadopsi (Engineering_Tribology, n.d.)

2.1.5 Kondisi Operasi Nyata pada Sistem Pelumasan

Dalam kondisi sebenarnya, sistem pelumasan tidak bekerja dalam keadaan tetap, melainkan selalu mengalami perubahan sesuai dengan kondisi mesin. Perubahan perputaran mesin menyebabkan tekanan dan aliran oli juga ikut berubah secara terus-menerus. Selain itu, temperatur oli akan meningkat selama mesin bekerja, sehingga viskositas oli berubah. Perubahan viskositas ini akan memengaruhi kemampuan oli dalam mengalir dan melumasi komponen mesin secara optimal. Perubahan kondisi ini juga berdampak pada distribusi tekanan dalam sistem pelumasan. Dalam sistem fluida, perubahan tekanan dan kecepatan aliran akan saling memengaruhi dan menentukan pola aliran yang terjadi. Selain faktor temperatur dan tekanan, kontaminasi dalam oli juga akan meningkat seiring waktu penggunaan. Hal ini menyebabkan kinerja filter berubah secara bertahap dan dapat memengaruhi efektivitas penyaringan.



Gambar 2.6 Kondisi dinamis (*transien*) pada sistem pelumasan. Di adopsi(Engineering_Tribology, n.d.)

Karena kondisi ini bersifat dinamis, maka sistem pelumasan tidak pernah benar-benar berada dalam kondisi stabil, melainkan selalu berada dalam kondisi berubah-ubah (*transien*).

2.1.6 Perancangan dan Fabrikasi Sistem Uji

Perencanaan sistem uji merupakan proses untuk Menyusun dan menggabungkan berbagai komponen menjadi satu alat yang dapat bekerja dengan baik. Tahapan perancangan meliputi identifikasi kebutuhan, pembuatan konsep, pemilihan komponen, analisis teknis, serta proses pembuatan dan perakitan. Dalam sistem fluida, desain perpipaan harus memperhatikan kehilangan tekanan agar aliran tetap efisien dan tidak membebani sistem. Menurut (Groover, 2015) proses pembuatan harus memperhatikan kekuatan material, ketelitian ukuran, serta kemudahan dalam proses perakitan.



Gambar 2.7 Tahapan perancangan sistem uji (*test bench*) filter oli. (Mott et al., 2015) dan (Çengel & Cimbala, 2018)

2.1.7 Sensor dan Instrumentasi Pengukuran

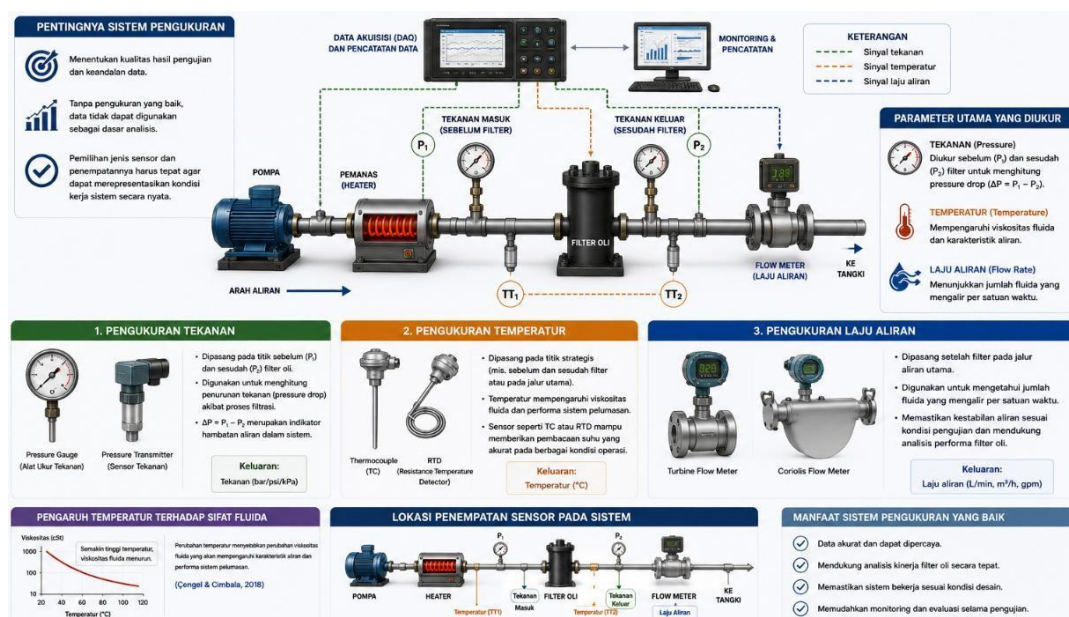
Sensor dan instrumentasi pengukuran merupakan bagian yang sangat penting dalam sistem uji filter oli karena berfungsi untuk memperoleh data yang diperlukan selama proses pengujian berlangsung. Keberadaan sistem pengukuran ini tidak hanya sebagai pelengkap, tetapi menjadi komponen utama yang menentukan kualitas hasil penujian. Tanpa adanya sistem pengukuran yang baik, maka data yang dihasilkan tidak dapat digunakan sebagai dasar analisis yang akurat. Oleh karena itu, pemilihan jenis sensor serta penempatannya dalam sistem harus dilakukan secara tepat agar mampu mempresentasikan kondisi kerja sistem secara nyata.

Dalam sistem uji filter oli, parameter utama yang perlu diukur meliputi tekanan, temperatur, dan laju aliran fluida. Pengukuran tekanan dilakukan menggunakan alat ukur seperti *pressure gauge* atau sensor tekanan yang dipasang pada titik-titik tertentu dalam sistem, khususnya sebelum dan sesudah filter oli. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui besarnya penurunan tekanan (*pressure drop*) yang terjadi akibat proses filtrasi. Nilai *pressure drop* merupakan parameter penting karena berkaitan langsung dengan hambatan aliran dalam sistem fluida.

Selain tekanan, temperatur fluida juga merupakan parameter yang sangat penting untuk diukur. Temperatur memiliki pengaruh langsung terhadap viskositas

fluida, yang pada akhirnya akan memengaruhi karakteristik aliran dan performa sistem pelumasan. Pengukuran temperatur umumnya dilakukan menggunakan sensor seperti *thermocouple* atau *resistance temperature detector* (RTD) yang mampu memberikan pembacaan suhu secara akurat dalam berbagai kondisi operasi. Pengaruh temperatur terhadap sifat fluida telah dijelaskan secara luas dalam kajian mekanika fluida, di mana perubahan temperatur akan menyebabkan perubahan viskositas dan karakteristik aliran (Çengel & Cimbala, 2018).

Pengukuran laju aliran fluida juga menjadi bagian penting dalam sistem uji, karena berkaitan dengan kestabilan aliran selama proses pengujian berlangsung. Flow meter digunakan untuk mengetahui jumlah fluida yang mengalir dalam sistem dalam satuan waktu tertentu. Data ini diperlukan untuk memastikan bahwa sistem bekerja sesuai dengan kondisi yang telah dirancang serta untuk mendukung analisis terhadap performa filter oli.



Gambar 2.8 Sistem sensor dan instrumentasi pada sistem uji filter oli untuk pengukuran tekanan, temperatur, dan laju aliran fluida. Di adopsi (Handbook_of_Lubrication_and_Tribology, n.d.)

Dalam penerapannya, sensor yang digunakan harus memiliki tingkat akurasi yang baik serta mampu bekerja pada kondisi tekanan dan temperatur yang sesuai dengan sistem pelumasan. Selain itu, proses kalibrasi juga perlu dilakukan untuk memastikan bahwa data yang diperoleh tetap akurat dan dapat dipercaya. Dalam sistem teknik, keakuratan pengukuran sangat menentukan kualitas hasil pengujian,

sehingga sistem instrumentasi harus dirancang secara terintegrasi dengan sistem uji secara keseluruhan.

Dalam kaitannya dengan penelitian ini, penggunaan sensor dan instrumentasi tidak hanya berfungsi sebagai alat ukur, tetapi juga sebagai bagian penting dari sistem uji yang digunakan untuk mengevaluasi performa filter oli. Dengan adanya sistem pengukuran yang baik, maka data yang dihasilkan dapat digunakan sebagai dasar dalam analisis kinerja filter serta validasi terhadap sistem uji yang telah dirancang.

2.1.8 Persamaan Bernoulli

Persamaan Bernoulli merupakan salah satu persamaan dasar dalam mekanika fluida yang digunakan untuk menganalisa hubungan antara tekanan, kecepatan aliran, dan energi potensial fluida pada suatu sistem aliran. Persamaan ini dikembangkan berprinsip kekekalan energi pada fluida ideal yang mengalir secara tunak (*steady flow*), tidak termampatkan (*incompressible*), dan tanpa kehilangan energi akibat gesekan (Çengel & Cimbala, 2018).

Persamaan Bernoulli dapat dituliskan sebagai berikut :

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 + H_L \quad 2-1$$

Keterangan :

P = tekanan fluida (P_a)

ρ = massa jenis fluida ($\frac{kg}{m^3}$)

v = kecepatan aliran fluida ($\frac{m}{s}$)

g = percepatan gravitasi ($\frac{m}{s^2}$)

h = elevasi fluida terhadap titik acuan (m)

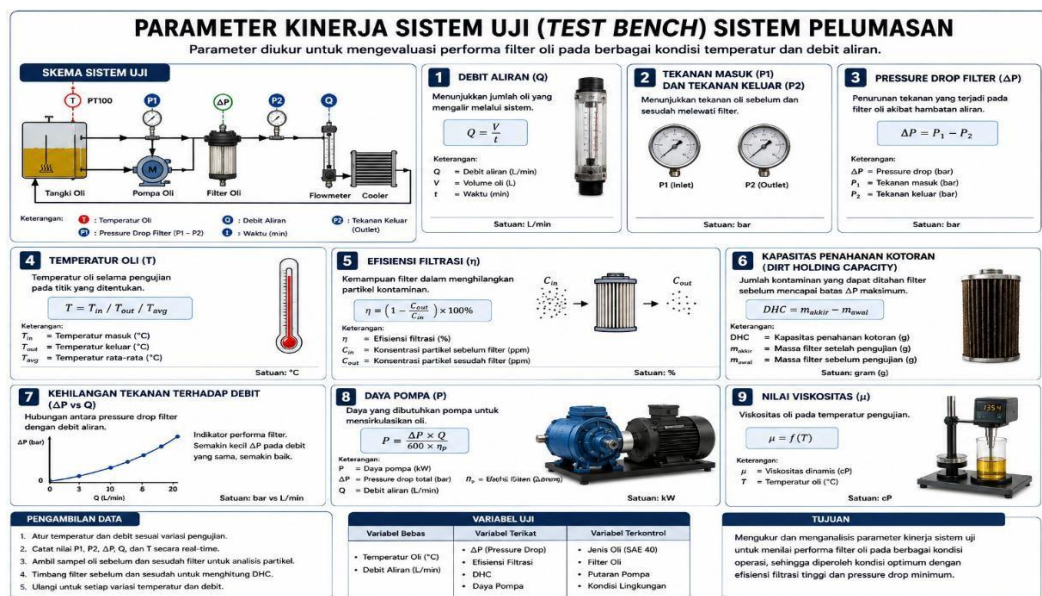
Pada persamaan tersebut, suku P menunjukkan energi tekanan, suku $\frac{1}{2}\rho v^2$ menunjukkan energi kinetik akibat percepatan aliran, dan suku ρgh menunjukkan energi potensial akibat perbedaan ketinggian fluida. Menurut (Mott et al., 2015), perubahan luas penampang saluran atau adanya hambatan aliran akan memengaruhi distribusi tekanan dan kecepatan fluida pada sistem perpipaan.

Dalam sistem uji filter oli, persamaan Bernoulli digunakan untuk menganalisis perubahan tekanan dan kecepatan aliran oli sebelum dan sesudah

melewati filter. Ketika oli melewati media filter, terjadi hambatan aliran yang menyebabkan penurunan tekanan (*pressure drop*). Nilai *pressure drop* tersebut dapat digunakan untuk mengevaluasi performa filter oli dan karakteristik aliran pada sistem uji.

2.1.9 Parameter Kinerja Sistem Uji

Parameter kinerja merupakan indikator yang digunakan untuk menilai apakah sistem uji yang dirancang mampu bekerja sesuai dengan tujuan penelitian. Parameter ini juga berfungsi sebagai dasar dalam mengevaluasi performa filter oli pada kondisi operasi yang disimulasikan dalam sistem uji. Oleh karena itu, penentuan parameter kinerja harus dilakukan secara tepat agar hasil pengujian dapat memberikan informasi yang relevan dan dapat dipertanggungjawabkan. Salah satu parameter utama dalam sistem uji filter oli adalah penurunan tekanan (*pressure drop*), yaitu selisih tekanan fluida sebelum dan sesudah melewati filter oli. Parameter ini menunjukkan besarnya hambatan aliran yang terjadi pada media filter. Semakin besar nilai *pressure drop*, maka semakin besar hambatan yang terjadi dalam sistem filtrasi. Dalam sistem fluida, penurunan tekanan dipengaruhi oleh kecepatan aliran, viskositas fluida, serta karakteristik media yang dilalui oleh fluida.



Gambar 2.9 Parameter kinerja pada sistem uji filter oli meliputi *pressure drop*, debit aliran, temperatur fluida. Di adopsi (Handbook_of_Lubrication_and_Tribology, n.d.)

Selain *pressure drop*, debit aliran fluida juga merupakan parameter penting yang harus diperhatikan dalam sistem uji. Debit aliran menunjukkan jumlah fluida yang mengalir dalam satuan waktu dan dapat digunakan untuk mengetahui kestabilan sistem selama pengujian berlangsung. Debit aliran berkaitan langsung dengan kecepatan fluida dan luas penampang aliran, sehingga perubahan pada kedua parameter tersebut akan memengaruhi nilai debit.

Temperatur fluida juga menjadi parameter penting karena memiliki pengaruh langsung terhadap viskositas oli. Perubahan viskositas akan memengaruhi karakteristik aliran serta performa sistem pelumasan dan filtrasi. Oleh karena itu, pengendalian temperatur menjadi hal yang sangat penting agar kondisi pengujian dapat mendekati kondisi operasi nyata pada mesin (Çengel & Cimbala, 2018). Selain parameter utama tersebut, kestabilan sistem juga menjadi faktor penting dalam menilai kinerja sistem uji. Sistem yang baik harus mampu mempertahankan kondisi tekanan, temperatur, dan aliran dalam rentang yang relatif stabil selama proses pengujian berlangsung. Ketidakstabilan sistem dapat menyebabkan hasil pengujian menjadi tidak konsisten dan sulit untuk dianalisis secara akurat.

2.1.10 Pompa

Pompa merupakan suatu alat mekanis yang digunakan untuk memindahkan fluida dari satu tempat ke tempat lain dengan cara meningkatkan energi fluida dalam bentuk tekanan maupun kecepatan aliran. Energi mekanik yang berasal dari motor penggerak diubah menjadi energi hidrolik sehingga fluida dapat mengalir melalui sistem perpipaan. Pada sistem pelumasan otomotif, pompa memiliki fungsi utama untuk mensirkulasikan oli menuju komponen mesin yang membutuhkan pelumasan dan pendinginan.

Pada penelitian fabrikasi sistem uji filter oli ini, pompa digunakan sebagai komponen utama untuk mensirkulasikan oli pada sistem sirkulasi tertutup. Fluida dialirkan dari tangki *reservoir* menuju filter oli kemudian kembali lagi menuju *reservoir* secara kontinu. Sirkulasi tersebut bertujuan untuk mensimulasikan kondisi operasi nyata sistem pelumasan mesin otomotif sehingga pengujian *pressure drop* filter dapat dilakukan pada kondisi mendekati keadaan sebenarnya.

Menurut *Pump Handbook*, pompa merupakan perangkat yang berfungsi untuk memindahkan fluida dengan cara meningkatkan energi fluida melalui

konversi energi mekanik menjadi energi hidrolik.

2.1.10.1 Prinsip kerja pompa

Prinsip kerja pompa secara umum yaitu mengubah energi mekanik dari motor penggerak menjadi energi fluida. Energi tersebut digunakan untuk meningkatkan tekanan dan laju aliran fluida sehingga fluida dapat mengalir di dalam sistem perpipaan. Pada sistem aliran tertutup, pompa juga berfungsi untuk mengatasi kerugian energi akibat gesekan fluida dengan dinding pipa, sambungan, katup, dan komponen lainnya.

Debit aliran fluida dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Q = Av \quad 2-2$$

Keterangan:

Q = Debit aliran (m^3 / s)

A = Luas penampang aliran (m^2)

v = Kecepatan aliran fluida (m / s)

Sedangkan *head* pompa dapat di hitung menggunakan persamaan:

$$H = \frac{P}{\rho g} \quad 2-3$$

Keterangan:

H = *Head* pompa (m)

p = Tekanan fluida (Pa)

ρ = Massa jenis fluida ($kg \neq m^3$)

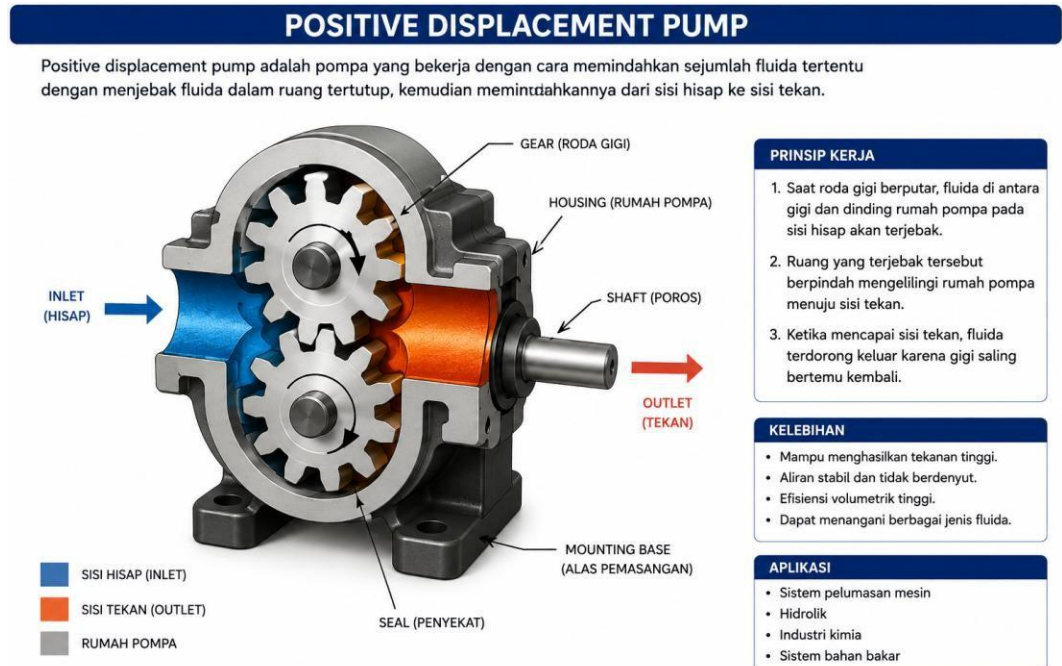
g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

2.1.10.2 Jenis-jenis pompa

Secara umum pompa dibedakan menjadi dua kelompok utama yaitu *positive displacement pump* dan *dynamic pump*.

1. Positive Displacement Pump

Positive displacement pump bekerja dengan cara menjebak fluida di dalam suatu ruang kemudian memindahkannya menuju sisi keluaran pompa. Pompa jenis ini menghasilkan debit yang relatif konstan dan umumnya digunakan pada fluida dengan viskositas tinggi. Contoh *positive displacement pump* antara lain *gear pump*, *piston pump*, dan *screw pump*.



Gambar 2.10 *Positive Displacement Pump*. Di adopsi oleh (*Pump Handbook*, n.d.)

2. *Dynamic Pump*

Dynamic pump bekerja dengan cara meningkatkan energi kinetik fluida menggunakan impeller yang berputar. Energi kinetik tersebut kemudian diubah menjadi energi tekanan pada sisi keluaran pompa. Salah satu jenis *dynamic pump* yang paling umum digunakan adalah pompa sentrifugal. Pada penelitian ini digunakan pompa sentrifugal karena mampu menghasilkan aliran kontinu serta memiliki konstruksi yang sederhana dan biaya operasional yang relatif lebih ekonomis dibandingkan jenis pompa lainnya.



Gambar 3.0 *Dynamic pump* di adopsi oleh (*Pump Handbook*, n.d.)

3. Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal merupakan jenis pompa dinamis yang bekerja menggunakan gaya sentrifugal akibat putaran impeller. Fluida masuk melalui sisi suction menuju bagian tengah impeller, kemudian terdorong ke arah luar akibat putaran impeller sehingga energi kinetik fluida meningkat. Energi kinetik tersebut selanjutnya diubah menjadi energi tekanan pada casing pompa sebelum fluida keluar melalui sisi discharge.



Gambar 3.1 pompa centrifugal di adopsi oleh (*Pump_Handbook*, n.d.)

Prinsip kerja pompa sentrifugal dimulai ketika motor penggerak memutar poros dan impeller. Putaran impeller menyebabkan fluida mengalami percepatan radial sehingga fluida mengalir menuju sisi keluaran pompa dengan tekanan yang lebih tinggi. Proses tersebut berlangsung secara kontinu selama pompa beroperasi.

Pompa sentrifugal terdiri dari beberapa komponen utama yaitu:

1. *Impeller*
2. *Casing pompa*
3. *Shaft*
4. *Suction nozzle*
5. *Discharge nozzle*
6. *Bearing*
7. *Mechanical seal*

Pada penelitian ini, pompa sentrifugal digunakan untuk mensirkulasikan oli SAE 15 W 40 pada sistem pengujian filter oli tipe *spin-on* dengan sistem sirkulasi tertutup. Pemilihan pompa sentrifugal didasarkan pada kemampuannya menghasilkan aliran kontinu sehingga sesuai digunakan untuk simulasi sistem pelumasan mesin otomotif. Selain itu, pompa

sentrifugal memiliki konstruksi sederhana, mudah dalam perawatan, dan lebih ekonomis dibandingkan pompa displacement positif.

Daya hidrolik pompa dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$P = \rho g Q H \quad 2-4$$

Keterangan:

P = daya pompa (W)

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Q = debit aliran (m^3/s)

H = head pompa (m)

Karakteristik utama pompa sentrifugal antara lain mampu menghasilkan debit aliran kontinu, memiliki kapasitas aliran yang cukup besar, konstruksi sederhana, serta perawatan yang relatif mudah. Namun, performa pompa sentrifugal dapat menurun pada fluida dengan viskositas sangat tinggi karena meningkatnya kerugian gesek di dalam sistem.

2.1.11 Head Losses pada Aliran Internal (Internal Flow)

Aliran internal merupakan aliran fluida yang terjadi di dalam saluran tertutup seperti pipa, elbow, valve, dan komponen sistem perpipaan lainnya. Pada sistem perpipaan, fluida mengalami gesekan dengan dinding pipa sehingga menyebabkan terjadinya penurunan energi aliran. Penurunan energi tersebut dikenal sebagai *Head losses*.

Pada sistem uji filter oli, *Head losses* terjadi akibat gesekan fluida dengan dinding pipa, sambungan pipa, katup, serta media filter oli. Besarnya kerugian energi tersebut mempengaruhi tekanan dan debit aliran fluida di dalam sistem sirkulasi tertutup. Oleh karena itu, analisis *Head losses* diperlukan untuk mengetahui karakteristik aliran fluida selama proses pengujian filter oli berlangsung.

Menurut (*Fundamentals_of_Fluid_Mechanics_7th_Edit (2), n.d.*), kerugian energi pada sistem perpipaan menjadi *major losses* dan *minor losses*.

2.1.11.1 Major Losses

Major losses merupakan kerugian energi yang disebabkan oleh gesekan

fluida dengan dinding pipa sepanjang aliran berlangsung. Besarnya *major losses* dipengaruhi oleh panjang pipa, diameter pipa, kekasaran permukaan pipa, kecepatan aliran, dan jenis aliran fluida.

Perhitungan major losses dapat menggunakan persamaan *Darcy-weisbach* sebagai berikut:

$$hf = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad 2-5$$

Keterangan:

hf = Head losses mayor (m)

f = faktor gesekan Darcy

L = panjang pipa (m)

D = diameter dalam pipa (m)

V = kecepatan aliran fluida ($\frac{m}{s}$)

g = percepatan gravitasi ($\frac{m}{s^2}$)

Nilai faktor gesekan Darcy dipengaruhi oleh jenis aliran fluida yang di tentukan menggunakan bilangan Reynolds.

Bilangan Reynolds dapat di hitung menggunakan persamaan:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad 2-6$$

Keterangan :

Re = bilangan reynolds

ρ = massa jenis fluida ($\frac{Kg}{m^3}$)

D = diameter dalam pipa (m)

V = kecepatan aliran fluida ($\frac{m}{s}$)

μ = viskositas dinamis fluida (Pa. s)

Karakteristik aliran berdasarkan bilangan reynolds di bedakan menjadi:

1. Aliran laminar jika $Re < 2300$
2. Aliran transisi jika $2300 < Re < 4000$
3. Aliran turbulen jika $Re > 4000$

Untuk aliran laminar, faktor gesekan dapat di hitung menggunakan persamaan:

$$f = \frac{64}{Re} \quad 2-7$$

Sedangkan pada aliran turbulen, nilai faktor gesekan di pengaruhi oleh kekasaran relatif pipa dan umumnya diperoleh menggunakan diagram *moody* atau persamaan empiris.

$$f = \frac{0,3164}{Re} \quad 2-8$$

2.1.11.2 Minor Losses

Minor losses merupakan kerugian energi yang terjadi akibat adanya komponen tambahan pada sistem perpipaan seperti elbow, valve, sambungan pipa, penyempitan penampang, pembesaran penampang, serta filter oli. Kerugian energi ini akibat perubahan aliran maupun perubahan kecepatan fluida.

Minor losses dapat di hitung menggunakan persamaan:

$$H_m = K \frac{v^2}{2g} \quad 2-9$$

Keterangan:

H_m = Head losses minor (m)

K = koefisien kerugian

v = kecepatan aliran fluida ($\frac{m}{s}$)

g = percepatan gravitasi ($\frac{m}{s^2}$)

Nilai koefisien kerugian (K) dipengaruhi oleh jenis komponen perpipaan yang digunakan. Semakin besar nilai K , maka semakin besar kerugian energi yang terjadi pada sistem.

Pada sistem uji filter oli, minor losses dapat terjadi pada :

1. Elbow pipa
2. Valve
3. Sambungan pipa
4. Flow meter
5. Filter oli *spin-on*

Filter oli juga menyebabkan penurunan tekanan akibat tahanan aliran fluida pada media filter. Penurunan tekanan tersebut di sebut *pressure drop filter*.

2.1.11.3 Total Head losses

Total *Head losses* pada sistem perpipaan merupakan penjumlahan antara *major losses* dan *minor losses*.

Persamaan total *Head losses* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$H_L = h_f + h_m \quad 3-0$$

Keterangan :

H_L = total *Head losses*

(m) h_f = *major losses*

(m) h_m = *minor losses*

(m)

Besaran total *Head losses* akan mempengaruhi tekanan aliran dan kebutuhan head pompa pada sistem pengujian. Semakin besar kerugian energi yang terjadi, maka semakin besar energi yang harus di berikan pompa untuk mempertahankan debit aliran fluida.

2.11.1.4 Head Losses pada Sistem Uji Filter Oli

Pada penelitian ini, sistem pengujian menggunakan sistem sirkulasi tertutup dengan fluida berupa oli SAE 15W-40. Fluida di alirkan menggunakan pompa sentrifugal melalui rangkaian perpipaan, flow meter, *pressure gauge*, serta filter oli tipe *spin-on*.

Selama proses pengujian, fluida mengalami kerugian energi akibat gesekan dengan dinding pipa dan komponen perpipaan lainnya. Selain itu, media filter oli juga memberikan tahanan aliran yang menyebabkan terjadinya *pressure drop* antara sisi inlet dan outlet filter. Analisis *Head losses* di perlukan untuk mengetahui karakteristik fluida pada sistem pengujian sehingga kondisi operasi sistem dapat mendekati kondisi nyata pada sistem pelumasan mesin otomotif.

2.1.12 Alat Ukur Debit Fluida (Flow Meter)

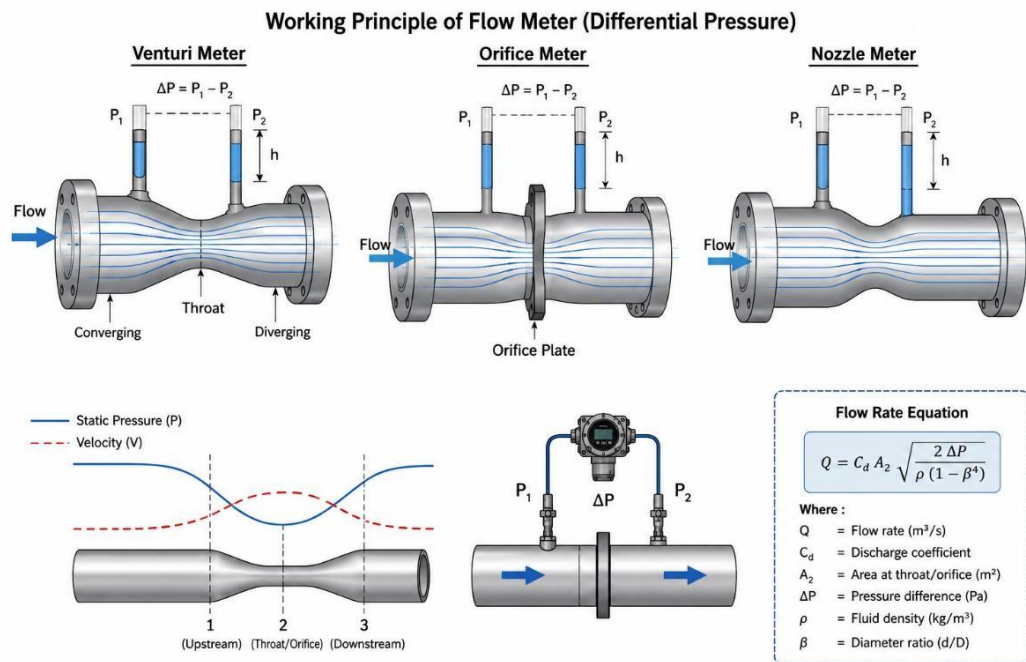
Pengukuran debit fluida merupakan salah satu parameter penting dalam sistem perpipaan karena digunakan untuk mengetahui jumlah fluida yang dapat mengalir pada suatu penampang dalam suatu waktu tertentu. Pada sistem pengujian filter oli, pengukuran debit di perlukan untuk mengetahui karakteristik aliran oli selama proses pengujian berlangsung serta untuk memastikan sistem bekerja mendekati kondisi operasi nyata pada sistem pelumasan mesin otomotif. Menurut (*Fundamentals_of_Fluid_Mechanics_7th_Edit*, n.d.), debit aliran merupakan volume fluida yang melewati suatu penampang dalam satuan waktu tertentu. Pada sistem perpipaan, pengukuran debit digunakan untuk mengetahui karakteristik aliran fluida yang terjadi selama sistem beroperasi.



Gambar 3.2 Flow meter diadopsi dari
(*Fundamentals_of_Fluid_Mechanics_7th_Edit*, n.d.)

2.1.12.1 Prinsip Kerja Flow Meter

Prinsip kerja flow meter bergantung pada jenis alat ukur yang di gunakan. Secara umum, flow meter bekerja dengan mengukur perubahan karakteristik aliran fluida seperti kecepatan aliran, tekanan, atau volume fluida yang melewati suatu penampang. Pada sistem pengujian filter oli, flow meter digunakan untuk mengetahui besarnya debit aliran oli yang bersirkulasi di dalam sistem. Data debit aliran tersebut digunakan untuk menganalisis karakteristik aliran fluida dan pengaruh *pressure drop* pada filter oli.



Gambar 3.3 Prinsip kerja flow meter diadopsi dari
(*Fundamentals of Fluid Mechanics 7th Edit*, n.d.)

Hubungan antara debit dan kecepatan aliran menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan fluida akan menyebabkan debit aliran meningkat. Debit aliran yang terlalu tinggi juga dapat meningkatkan *Head losses* dan *pressure drop* pada sistem perpipaan.

2.1.12.2 Peletakan Flow Meter

Berdasarkan standar ISO 5167, pemasangan flow meter harus dilakukan pada bagian pipa lurus untuk menghasilkan profil aliran yang stabil dan mengurangi turbulensi akibat fitting maupun elbow pipa. Standar tersebut merekomendasikan adanya panjang pipa lurus pada sisi *upstream* dan *downstream* flow meter agar hasil pengukuran lebih akurat.

Secara umum, pemasangan flow meter memerlukan:

1. Panjang pipa lurus sebelum flow meter (*upstream*)
2. Panjang pipa lurus sesudah flow meter (*downstream*)

Panjang pipa lurus tersebut bertujuan untuk menghasilkan profil aliran yang lebih stabil dan mengurangi turbulensi. Pada penelitian ini, flow meter di pasang sebelum filter oli pada jalur perpipaan utama sehingga debit aliran fluida dapat dimonitor secara kontinu selama proses pengujian berlangsung.

2.1.13 Pressure Gauge

Pressure gauge merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur tekanan fluida pada sistem perpipaan. Alat ukur ini bekerja dengan mendeteksi gaya tekanan fluida kemudian mengubahnya menjadi pembacaan skala tekanan. Penelitian ini digunakan *pressure gauge* analog sebagai alat ukur tekanan fluida pada sistem pengujian oli. *Pressure gauge* analog dipilih karena memiliki konstruksi sederhana, mudah di gunakan, serta mampu memberikan pembacaan tekanan secara langsung selama sistem beroperasi.

Menurut *American Society of Mechanical Engineers*, *pressure gauge* banyak digunakan pada sistem perpipaan industri dan sistem fluida karena memiliki tingkat keandalan yang baik untuk pengukuran tekanan operasional.

Tekanan pada fluida pada sistem perpipaan di pengaruhi oleh beberapa factor lain:

1. debit aliran fluida
2. kecepatan aliran
3. *Head losses*
4. hambatan aliran pada filter
5. temperature fluida

Perubahan tekanan pada sistem pengujian dapat di gunakan untuk mengetahui karakteristik aliran dan besarnya hambatan yang terjadi pada filter oli.

12.1.13.1 Peletakan Pressure Gauge

Peletakan *pressure gauge* pada sistem perpipaan harus mempertimbangkan lokasi pengukuran agar data tekanan dapat di peroleh mempresentasikan kondisi aliran fluida secara akurat. Berdasarkan *standart International Organization For Standartdization ISO 4548* yang membahas metode pengujian *fwll-flow lubricating oil filter*, pengukuran *pressure drop* filter dilakukan dengan cara mengukur tekanan pada sisi inlet dan outlet filter.

Pada penelitian ini, *pressure gauge* dipasang pada dua titik pengukuran yaitu:

1. Sebelum filter oli
2. Sesudah filter oli

Penempatan tersebut bertujuan untuk mengetahui selisih tekana fluida yang terjadi

akibat hambatan aliran pada media filter oli. Selisih tekanan tersebut digunakan sebagai parameter *pressure drop* filter selama proses pengujian berlangsung. Menurut ISO 4548, posisi pengukuran tekanan harus di pasang sedekat mungkin dengan sisi inlet dan outlet filter untuk meminimalkan pengaruh kerugian tekanan tambahan akibat panjang pipa dan fitting.

2.1.14 Thermocouple Tipe K

Thermocouple merupakan sensor temperature yang bekerja berdasarkan efek seebeck, yaitu timbulnya tegangan listrik akibat perbedaan temperatur pada dua jenis logam yang berbeda. Tegangan listrik tersebut kemudian di konversi menjadi nilai temperature.

Pada penelitian ini diunakan *thermocouple* tipe K sebagai sensor temperature fluida pada sistem pengujian filter oli. *Thermocouple* tipe K dipilih karena memiliki rentang pengukuran yang luas, sensitifitas yang baik, serta mampu digunakan pada temperature tinggi.



Gambar 3.4 Thermocouple tipe K di adopsi dari (*Thermocouples*, n.d.)

Menurut *International Electrotechnical Commission* (IEC) 60584, *thermocouple* tipe K terdiri dari pasangan logam chromel dan alumel yang mapu bekerja pada rentang temperatur hingga 200°C hingga 1260°C.

Thermocouple tipe K memiliki beberapa kelebihan, antara lain:

1. Rentang temperature luas
2. respon pengukuran cepat
3. konstruksi sederhana
4. tahan terhadap temperature tinggi

5. biaya relatif ekonomis

Pada sistem pengujian ini, *thermocouple* di pasang pada jalur aliran fluida untuk memonitor temperature oli selama proses pengujian berlangsung.

2.1.15 Thermocontrol

Thermocontrol merupakan perangkat pengendali temperature yang di gunakan untuk mempertahankan temperature fluida sesuai nilai yang diinginkan. Sistem ini bekerja dengan membaca sinyal temperature dari *thermocouple* kemudian mengontrol kerja *Heater* secara otomatis. Menurut (*Modern_Control_Engineering*, n.d.) sistem kontrol temperature di gunakan untuk menjaga kestabilan temperature pada suatu sistem termal sehingga kondisi operasi dapat di pertahankan sesuai kebutuhan pengujian.



Gambar 3.5 Thermocontrol di adopsi dari (*Fundamentals_of_Process_Control*, n.d.)

Pada penelitian ini, *thermocontrol* digunakan untuk menjaga temperature oli pada kondisi tertentu agar mendekati temperature operasi sistem pelumasan mesin otomotif. Ketika temperature fluida berada di bawah nilai set point, *thermocontrol* akan mengaktifkan *Heater*. Sebaliknya, Ketika temperature telah mencapai nilai yang di tentukan, *Heater* akan di matikan secara otomatis.

2.1.16 Heater

Heater merupakan perangkat pemanas yang di gunakan untuk meningkatkan temperature fluida pada sistem pengujian. Emerge listrik pada *Heater* diubah menjadi energi panas yang kemudian di transfer ke fluida.

Pada penelitian ini, *Heater* di gunakan untuk memanaskan oli SAE 15W 40 hingga mencapai temperature operasi yang di inginkan. Pemanasan fluida

diperlukan karena viskositas oli sangat dipengaruhi oleh temperature. Pada temperature rendah, oli memiliki viskositas lebih tinggi sehingga aliran fluida lebih besar hambatannya.



Gambar 3.6 Heater di adopsi oleh (Fundamentals_of_Engineering_Thermodynamics, n.d.)

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa performa sistem pelumasan dan filtrasi sangat dipengaruhi oleh karakteristik fluida dan kondisi operasi. Berbagai studi menekankan pentingnya pendekatan eksperimental berbasis sistem uji untuk memahami perilaku sistem secara lebih mendalam. Hal ini menunjukkan bahwa pengembangan sistem uji yang mampu mensimulasikan kondisi nyata merupakan langkah penting dalam menghasilkan data yang valid dan aplikatif.

Penelitian mengenai sistem filtrasi oli dan sistem uji pelumasan telah banyak dilakukan, baik dalam bentuk pengembangan alat uji maupun analisis performa filter. Salah satu penelitian yang relevan dilakukan oleh (Lubomír et al., 2021) yang membahas perancangan *laboratory test equipment* untuk pengujian filter oli otomotif. Penelitian tersebut menjelaskan bahwa sistem uji dirancang untuk memonitor efisiensi filter oli serta mengevaluasi kondisi oli pelumas pada berbagai kondisi operasi. Sistem yang dikembangkan menggunakan dua jalur sirkulasi fluida dengan sensor tekanan dan temperatur untuk mensimulasikan kondisi kerja sistem pelumasan secara lebih realistis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan sistem uji laboratorium mampu memberikan pengukuran yang lebih aman dan terkontrol dibandingkan pengujian langsung pada mesin kendaraan.

Penelitian lain dilakukan oleh (Torres et al., 2023) yang mengembangkan *test bench* untuk sistem pelumasan pada transmisi mekanik. Penelitian tersebut menggunakan sistem sirkulasi oli dengan pengaturan debit aliran dan temperatur

untuk menganalisis pengaruh injeksi oli terhadap karakteristik pelumasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter seperti debit aliran, temperatur, dan posisi injeksi memiliki pengaruh terhadap performa sistem pelumasan. Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem uji berbasis sirkulasi fluida mampu digunakan untuk mensimulasikan kondisi operasi pelumasan secara lebih fleksibel dan terkontrol.

Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh (Zhang et al., 2023) membahas pemisahan partikel mikro pada oli pelumas menggunakan sistem filtrasi berbasis *mini hydrocyclone*. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa kontaminasi partikel dalam oli pelumas memiliki pengaruh besar terhadap kualitas pelumasan dan umur komponen mesin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem filtrasi yang baik mampu mengurangi jumlah partikel kontaminan secara signifikan sehingga kualitas oli dapat dipertahankan lebih lama.

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu tersebut, dapat diketahui bahwa penelitian mengenai sistem pelumasan dan filtrasi oli telah banyak dilakukan, terutama pada aspek performa filter dan karakteristik aliran fluida. Namun, penelitian mengenai rancang bangun sistem uji filter oli yang mampu mensimulasikan kondisi operasi nyata pada mesin otomotif masih perlu dikembangkan, khususnya pada sistem uji yang mampu mengontrol parameter tekanan, temperatur, dan debit aliran secara terintegrasi.

Dalam penelitian ini, sistem uji dirancang dengan pendekatan fabrikasi dan simulasi kondisi operasi nyata, sehingga diharapkan mampu menghasilkan sistem pengujian yang lebih representatif terhadap kondisi kerja mesin sebenarnya. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berfokus pada pengujian filter oli, tetapi juga pada pengembangan sistem uji yang dapat digunakan sebagai media evaluasi performa filter oli secara lebih akurat dan terkontrol.