

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Filter Oli

Filter oli adalah komponen dalam sistem pelumasan mesin yang berfungsi untuk menyaring kotoran atau kontaminan dari oli sebelum oli tersebut dialirkan kembali ke bagian mesin. Kotoran ini bisa berasal dari gesekan antar komponen, debu, maupun sisa pembakaran yang ikut terbawa oleh oli selama mesin bekerja.

Secara sederhana, filter oli bekerja dengan cara mengalirkan oli melalui media berpori, di mana partikel-partikel kotoran akan tertahan di dalam media tersebut. Dengan adanya proses ini, oli yang bersirkulasi tetap dalam kondisi lebih bersih sehingga mampu melumasi komponen mesin secara optimal dan mengurangi risiko keausan.

Selain itu, filter oli juga berperan penting dalam menjaga performa mesin. Jika oli tidak difiltrasi dengan baik, kontaminan dapat menyebabkan penurunan kualitas pelumasan dan mempercepat kerusakan komponen. Oleh karena itu, filter oli menjadi bagian penting dalam menjaga keandalan dan umur pakai mesin (Imamovich et al., 2023).



Gambar 2. 1 Filter Oli
Sumber : Dokumentasi sendiri,2026

2.1.2 Porous Media

Porous media adalah material yang memiliki struktur berongga sehingga fluida dapat mengalir di dalamnya. Dalam sistem filter oli, media ini biasanya berupa serat (fiber) atau kertas khusus yang dirancang untuk menangkap partikel kontaminan. Struktur internal porous media tidak hanya berfungsi sebagai jalur aliran, tetapi juga menentukan bagaimana partikel akan tertahan di dalamnya.

Salah satu parameter penting dalam porous media adalah permeabilitas, yaitu kemampuan media untuk meloloskan fluida. Nilai permeabilitas sangat dipengaruhi oleh ukuran dan keterhubungan pori. Semakin besar dan terhubung pori-porinya, maka aliran fluida akan semakin mudah (Wikipedia contributors, 2026).



Gambar 2. 2 Porous Media
Sumber : Dokumentasi Sendiri,2026

2.1.3 Geometri Porous Media

Geometri porous media mencakup bentuk, ukuran, dan distribusi pori dalam suatu material filter. Dalam praktiknya, struktur ini tidak selalu seragam, melainkan cenderung acak dan kompleks.

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa mikrostruktur porous media sangat berpengaruh terhadap performa filtrasi, termasuk distribusi aliran dan kemampuan menangkap partikel. Struktur yang heterogen dapat menyebabkan variasi jalur aliran fluida, sehingga memengaruhi efektivitas penangkapan partikel di dalam media (Printsypar et al., 2019).

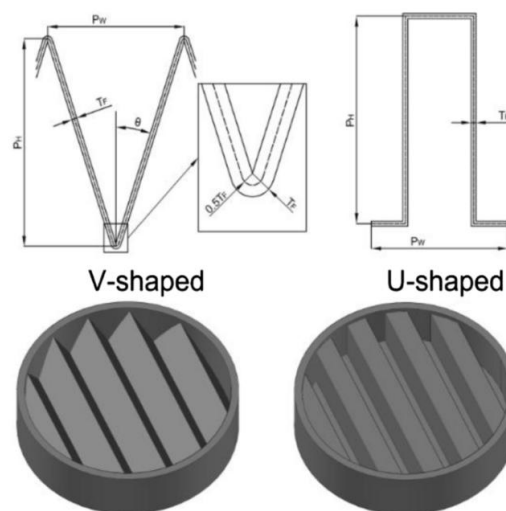
Media filter oli umumnya dibuat dalam bentuk lipatan untuk memperbesar luas area filtrasi. Bentuk lipatan tersebut sangat mempengaruhi distribusi aliran fluida dan kapasitas penahanan partikel (Bosch, 2019).

Geometri lipatan meliputi tinggi lipatan, jarak antar lipatan, sudut lipatan, jumlah lipatan, serta bentuk profil lipatan. Parameter tersebut menentukan luas permukaan filtrasi dan pola distribusi aliran fluida di dalam filter (Ken Sutherland, 2008).

Bentuk lipatan yang umum digunakan yaitu bentuk V dan bentuk U. Lipatan berbentuk V memiliki sudut yang lebih tajam sehingga jumlah lipatan dalam satu ruang dapat lebih banyak. Kondisi ini meningkatkan luas permukaan filtrasi, namun dapat menyebabkan distribusi aliran menjadi tidak merata apabila jarak antar lipatan terlalu rapat (Teng et al., 2022).

Sementara itu, lipatan berbentuk U memiliki ruang aliran yang lebih terbuka sehingga distribusi fluida cenderung lebih stabil. Akan tetapi, luas permukaan filtrasi yang dihasilkan biasanya lebih kecil dibandingkan bentuk V pada dimensi filter yang sama (Teng et al., 2022).

Desain geometri lipatan yang baik harus mampu menjaga keseimbangan antara luas area filtrasi, distribusi aliran, kapasitas penahanan partikel, dan pressure drop. Jika jarak antar lipatan terlalu sempit, maka sebagian area media dapat mengalami dead zone atau stagnasi aliran yang menyebabkan penumpukan partikel lebih cepat pada area tertentu (Ken Sutherland, 2008).



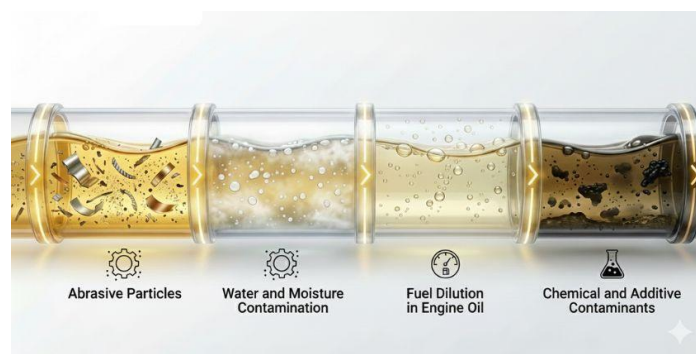
Gambar 2. 3 Bentuk Lipatan Porous Media (Teng et al., 2022)

2.1.4 Kontaminan Partikel Padat

Kontaminan partikel padat merupakan partikel asing yang terdapat di dalam oli dan dapat memengaruhi kinerja sistem pelumasan. Partikel ini umumnya berasal dari hasil gesekan antar komponen mesin, debu dari lingkungan luar, sisa pembakaran, maupun serpihan logam akibat keausan komponen selama mesin beroperasi (Ratiu et al., 2021). Keberadaan partikel padat dalam oli dapat menyebabkan penurunan kualitas pelumasan dan meningkatkan risiko kerusakan komponen mesin. Partikel yang berukuran besar dapat mempercepat keausan permukaan komponen, sedangkan partikel berukuran kecil dapat masuk ke celah sempit dan menyebabkan abrasi secara terus-menerus (Spikes, 2004).

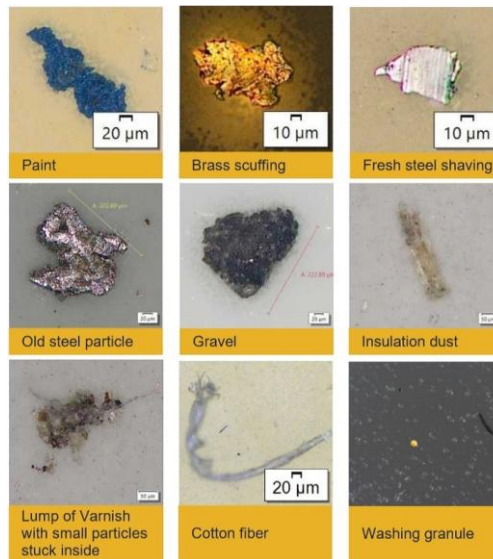
Dalam proses filtrasi, ukuran dan konsentrasi partikel sangat memengaruhi performa filter oli. Partikel dengan ukuran yang lebih besar dari pori media filter akan langsung tertahan pada permukaan media. Sementara itu, partikel yang lebih kecil dapat masuk ke dalam struktur porous media dan tertahan secara bertahap melalui mekanisme difusi, intersepsi, dan inersia (Tien & Ramarao, 2007). Selain memengaruhi efisiensi filtrasi, akumulasi partikel padat juga dapat menyebabkan penyumbatan (*clogging*) pada media filter. Semakin banyak partikel yang tertahan, maka hambatan aliran akan meningkat dan menyebabkan nilai *pressure drop* menjadi lebih besar. Jika kondisi ini terus berlangsung, performa filter akan menurun dan aliran oli menuju komponen mesin dapat terganggu (Hermia, 1982).

Oleh karena itu, pengendalian kontaminan partikel padat menjadi hal yang penting dalam sistem pelumasan. Penggunaan media filter dengan karakteristik porous media yang sesuai dapat membantu meningkatkan efisiensi penyaringan sekaligus mengurangi risiko penyumbatan selama proses filtrasi berlangsung.



Gambar 2. 4 Type Kontaminan pada oli

<https://shieldoils.com/wp-content/uploads/2025/12/Types-of-Motor-Oil-Contaminants.jpg>



Gambar 2. 5 Contoh kontaminasi partikel pada filter oli

https://evidentscientific.com/en/insights/media_174ccc2ed51997ed19a21c1be3d60cdf9f10b4c21.jpg?width=2000&format=webply&optimize=medium

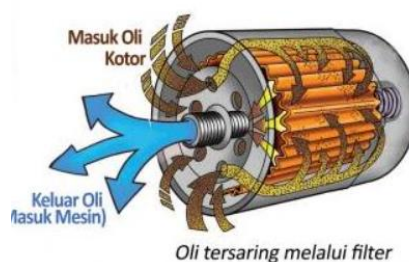
2.1.5 Mekanisme Filterisasi

Pada filter oli, proses filtrasi umumnya terjadi melalui mekanisme *depth filtration*, yaitu partikel tidak hanya tertahan di permukaan, tetapi juga di dalam struktur media filter. *Depth filtration* merupakan metode filtrasi di mana partikel ditangkap di seluruh ketebalan media, bukan hanya di permukaan. Metode ini cocok digunakan untuk fluida dengan kandungan partikel tinggi, seperti oli mesin (Wikipedia contributors, 2026).

Secara umum, mekanisme filtrasi meliputi:

1. *Straining* → partikel besar langsung tertahan
2. *Intersepsi* → partikel menempel pada dinding pori
3. *Difusi* → partikel kecil bergerak acak dan tertangkap
4. *Inersia* → partikel tidak mengikuti aliran dan menabrak media

Kombinasi mekanisme ini menentukan kinerja filter secara keseluruhan.



Gambar 2. 6 Mekanisme Filtrasi

(<https://img.autofun.co.id/file/ca15f0150e7c4ce98d3b26e00200e96e.jpg>)

2.1.6 Debit Aliran

Debit aliran merupakan volume fluida yang mengalir melalui suatu penampang dalam satuan waktu tertentu. Pada sistem filtrasi oli, debit aliran digunakan untuk mengetahui jumlah oli yang melewati media filter selama proses pengujian berlangsung. Nilai debit memengaruhi distribusi aliran, pressure drop, dan performa filtrasi pada media filter (Yunus A. Çengel & John M. Cimbala, 2018).

$$Q = \frac{V}{t} \quad 2-1$$

Keterangan :

Q = debit aliran (m³/s)

V = kecepatan aliran (m/s)

t = Waktu

2.1.7 Luas Penampang Pipa

Luas penampang pipa merupakan area yang dilalui fluida di dalam pipa. Luas penampang memengaruhi debit dan kecepatan aliran fluida pada sistem perpipaan (Fox et al., 2015).

Untuk pipa berbentuk lingkaran, luas penampang dihitung menggunakan persamaan:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad 2-2$$

Keterangan :

A = luas penampang pipa (m²)

D = diameter dalam pipa (m)

2.1.8 Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran merupakan jarak yang ditempuh fluida dalam satuan waktu tertentu. Kecepatan aliran memengaruhi karakteristik aliran, bilangan Reynolds, dan rugi tekanan pada sistem filtrasi (Bruce R. Munson et al., 2012).

Kecepatan aliran dihitung menggunakan persamaan:

$$v = \frac{Q}{A} \quad 2-3$$

Keterangan :

V = kecepatan aliran (m/s)

Q = debit aliran (m³/s)

A = luas penampang (m²)

2.1.9 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds digunakan untuk menentukan jenis aliran fluida, apakah termasuk aliran laminar, transisi, atau turbulen. Dalam porous media, aliran laminar lebih sesuai dianalisis menggunakan hukum Darcy (Frank M. White, 2011).

Bilangan Reynolds dihitung menggunakan persamaan:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad 2-4$$

Keterangan :

Re = bilangan *Reynolds*

ρ = densitas fluida (kg/m³)

V = kecepatan aliran (m/s)

D = diameter pipa (m)

μ = viskositas dinamis fluida (Pa.s)

Kriteria aliran :

$Re < 2300 \rightarrow$ Laminar

$2300 < Re < 4000 \rightarrow$ Transisi

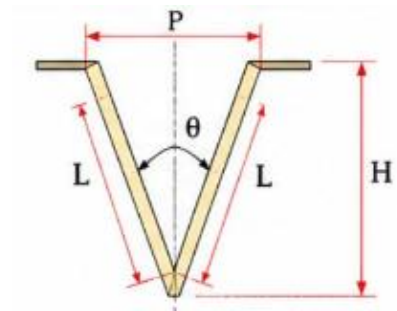
$Re > 4000 \rightarrow$ Turbulen

2.1.10 Pengaruh Jumlah Pleat

Geometri pleat memiliki pengaruh langsung terhadap luas permukaan filtrasi, distribusi aliran fluida, dan karakteristik penyumbatan media filter. Pada penelitian ini digunakan dua bentuk pleat, yaitu *V-pleat* dan *U-pleat*. (Teng et al., 2022)

V-pleat memiliki karakteristik sudut tajam sehingga mampu meningkatkan luas permukaan filtrasi secara signifikan. Sementara itu, *U-pleat* memiliki bentuk lengkung yang menghasilkan distribusi aliran lebih stabil dan hambatan aliran lebih rendah. (Teng et al., 2023)

A. Perhitungan Geometri V-pleat



Gambar 2. 7 V-Pleat

a. Keliling Lingkaran Porous media

$$K = \pi D \quad 2-5$$

Keterangan :

K = Keliling Porous Media (cm)

$$\pi = 3,14$$

D = Diameter filter (cm)

b. Panjang sisi Pleat

$$l = \frac{p}{2 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad 2-6$$

Keterangan :

$p = pitch$

$\theta =$ sudut yang dihunakan

c. Luas Total Pleated Porous Media

$$A = \frac{\pi D_p H}{\sin 1/2 \alpha} \quad 2-7$$

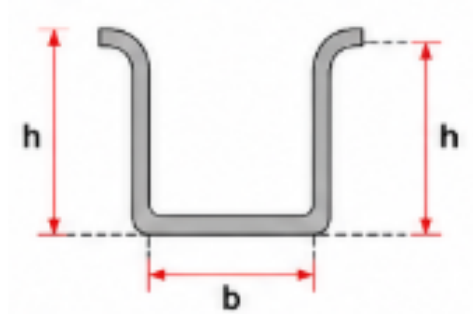
Keterangan :

A = luas total permukaan filter

$D_p =$ Diameter Rata-rata

H = tinggi filter

B. Perhitungan Geometri U-Pleat



Gambar 2. 8 U-Pleat

a. Pitch Pleat

$$P = \frac{\pi D}{N} \quad 2-8$$

Keterangan :

P = *pitch pleat* (cm)

D = diameter filter (cm)

N = jumlah *pleat*

b. Panjang satu Pleat Porous Media

$$L = 2l + c \quad 2-9$$

Keterangan :

L = panjang satu *pleat*

h = tinggi sisi *pleat*

b = lebar bawah *pleat*

c. Luas total Porous Media

$$A = \frac{2\pi D_p h_p H}{p} \quad 2-10$$

Keterangan :

A = luas total permukaan Porous media

D_p = Diameter Rata-rata

h_p = tinggi satu *pleat*

H = tinggi filter

p = Pitch Lipatan

2.1.11 Pressure Drop

Hukum Darcy merupakan persamaan dasar yang digunakan untuk menjelaskan aliran fluida melalui media berpori (*porous media*), seperti tanah, batuan, kertas filter, maupun media filter oli. Hukum ini pertama kali diperkenalkan oleh Henry Darcy pada tahun 1856 melalui percobaan aliran air pada media pasir (Brown, 2002).

Secara umum, hukum Darcy menyatakan bahwa laju aliran fluida yang melewati media berpori berbanding lurus dengan perbedaan tekanan, luas penampang aliran, dan permeabilitas media, serta berbanding terbalik dengan viskositas fluida dan ketebalan media.

$$\Delta P = \frac{\mu L Q}{k A} \quad 2-11$$

Keterangan :

k = Permeabilitas media berpori (m^2)

ΔP = Perbedaan tekanan masuk dan keluar (Pa)

μ = Viskositas fluida (Pa.s)

L = Ketebalan media filter (m)

Q = *debit aliran* (m^3/s)

A = *Luas Porous media*

2.1.12 Pressure Drop Akibat Lapisan Cake

Selama proses penyaringan berlangsung, partikel-partikel kontaminan yang terbawa oleh aliran fluida akan terperangkap pada permukaan maupun di dalam pori-pori media filter. Seiring bertambahnya waktu operasi, partikel yang tertahan tersebut akan membentuk lapisan endapan yang dikenal sebagai filter *cake*. Terbentuknya lapisan ini menyebabkan jalur aliran fluida menjadi semakin sempit sehingga hambatan aliran meningkat. Akibatnya, nilai pressure drop pada filter

akan terus bertambah seiring dengan meningkatnya jumlah partikel yang terakumulasi pada media filtrasi (Harmkar et al., 2021).

Karakteristik lapisan filter cake yang terbentuk sangat dipengaruhi oleh sifat fisik partikel penyusunnya. Beberapa faktor yang berperan antara lain ukuran partikel, massa jenis partikel, tingkat porositas lapisan endapan, serta pola penyusunan partikel selama proses deposisi berlangsung. Perbedaan karakteristik tersebut akan menghasilkan tingkat hambatan aliran yang berbeda pada setiap kondisi filtrasi. Untuk menggambarkan besarnya resistansi yang dihasilkan oleh lapisan *cake*, digunakan parameter yang disebut *specific cake resistance* (α). Nilai *specific cake resistance* dapat diperkirakan menggunakan pendekatan persamaan Kozeny-Carman yang menghubungkan karakteristik media berpori dengan resistansi aliran fluida melalui lapisan partikel (Harmkar et al., 2021).

$$\alpha = \frac{180(1 - \varepsilon)}{\rho_p d_p^2 \varepsilon^3} \quad 2-12$$

α = specific cake resistance (m/kg)

ε = porositas lapisan cake

ρ_p = densitas partikel kontaminan (kg/m³)

d_p = diameter partikel kontaminan (m)

Setelah nilai *specific cake resistance* ditentukan, parameter tersebut digunakan untuk memperkirakan peningkatan hambatan aliran akibat penumpukan partikel pada media filter. Penumpukan partikel tersebut membentuk lapisan cake yang menyebabkan terjadinya kenaikan *pressure drop* selama proses penyaringan berlangsung. Besarnya *pressure drop* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\Delta P_{cake} = \frac{\mu Q a W}{A^2} \quad 2-13$$

ΔP_{cake} = pressure drop akibat lapisan cake (Pa)

μ = viskositas dinamis fluida (Pa.s)

Q = debit aliran fluida (m³/s)

- A = luas efektif media filter (m^2)
 W = massa kontaminan yang tertahan pada media filter (kg)
 α = *specific cake resistance* (m/kg)

Pada proses filtrasi, fluida yang melewati media filter akan mengalami penurunan tekanan akibat adanya hambatan aliran pada struktur media berpori. Selain itu, partikel kontaminan yang tertahan secara bertahap akan membentuk lapisan *cake* di permukaan media filter. Lapisan tersebut menambah resistansi aliran sehingga menyebabkan peningkatan *pressure drop*. Dengan demikian, nilai *pressure drop* total merupakan kombinasi dari hambatan media filter bersih dan hambatan yang ditimbulkan oleh lapisan *cake* yang terbentuk selama proses filtrasi.

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{clean} + \Delta P_{cake} \quad 2-14$$

ΔP_{total} = pressure drop total pada filter (Pa)

ΔP_{clean} = pressure drop media filter bersih (kPa)

ΔP_{cake} = pressure drop akibat lapisan cake (kPa)

2.1.13 Faktor Penyumbatan (*Clogging Factor*)

Penyumbatan merupakan fenomena utama yang membatasi umur pakai filter. Proses ini terjadi ketika partikel mulai mengisi dan menutup pori-pori media filter.

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa penyumbatan sangat dipengaruhi oleh interaksi antara ukuran partikel, ukuran pori, dan konsentrasi partikel dalam fluida. Jika ukuran partikel lebih besar dari pori, maka penyumbatan terjadi secara cepat. Namun jika lebih kecil, prosesnya berlangsung bertahap melalui akumulasi di dalam pori (Sorrentino et al., 2025).

Selain itu, penyumbatan juga menyebabkan penurunan permeabilitas media, yang pada akhirnya menghambat aliran fluida dan menurunkan performa filter (Eker et al., n.d.; Penn et al., 2017; Suhaib & Bhunia, 2023).

Hubungan penyumbatan terhadap pressure drop dapat diperkirakan menggunakan persamaan :

$$CF = \frac{\Delta P_{clog}}{\Delta P_{clean}} \quad 2-15$$

Keterangan :

CF = Clogging Factor

ΔP_{Clog} = Pressure Drop clog

ΔP_{Clean} = Pressure drop clean

2.1.14 Efisiensi Filtrasi

Efisiensi filtrasi menunjukkan seberapa baik filter mampu menangkap partikel dari fluida. Nilai ini biasanya dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti ukuran partikel, kecepatan aliran, temperatur, dan karakteristik media filter. Penelitian eksperimental terbaru menunjukkan bahwa perubahan kondisi operasi, seperti temperatur dan laju aliran, dapat memengaruhi efisiensi filtrasi. Misalnya, peningkatan temperatur dapat menyebabkan ukuran partikel menjadi lebih kecil sehingga lebih sulit ditangkap oleh filter (H. Li et al., 2025).

Selain itu, peningkatan laju aliran dalam kondisi tertentu justru dapat meningkatkan efisiensi filtrasi karena memperbesar kemungkinan interaksi antara partikel dan media filter. Rumus yang umum dipakai untuk menghitung efisiensi filtrasi adalah:

$$\eta = \frac{C_{in}-C_{out}}{C_{in}} \times 100\% \quad 2-16$$

Keterangan:

η = Efisiensi filtrasi (%)

C_{in} = Konsentrasi partikel sebelum melewati filter (*inlet*)

C_{out} = Konsentrasi partikel setelah melewati filter (*outlet*)

2.1.15 Viskositas

Temperatur merupakan salah satu faktor yang sangat memengaruhi karakteristik aliran oli pada sistem pelumasan. Perubahan temperatur dapat menyebabkan perubahan viskositas dan massa jenis oli sehingga memengaruhi kemampuan aliran fluida saat melewati media filter (*porous media*) (Spikes, 2004).

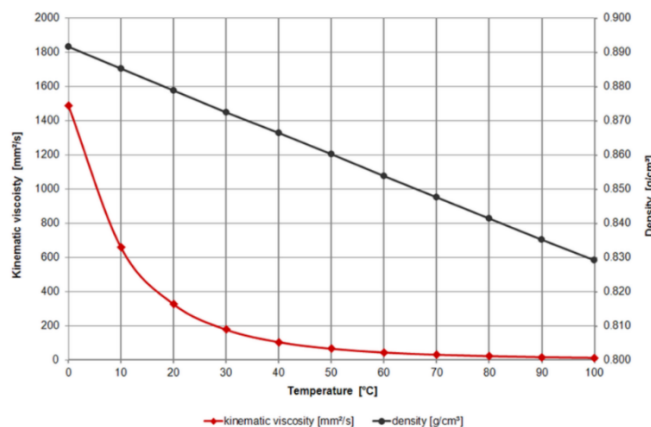
Berdasarkan grafik hubungan temperatur terhadap sifat oli, terlihat bahwa kenaikan temperatur menyebabkan viskositas kinematik oli menurun secara signifikan. Pada temperatur rendah, oli memiliki viskositas yang tinggi sehingga fluida menjadi lebih kental dan sulit mengalir. Sebaliknya, pada temperatur tinggi

viskositas oli menurun sehingga aliran fluida menjadi lebih mudah melewati media filter (Bosch, 2019).

Selain viskositas, massa jenis (*density*) oli juga mengalami penurunan seiring meningkatnya temperatur. Namun, penurunan massa jenis cenderung lebih kecil dibandingkan penurunan viskositas. Penurunan massa jenis terjadi karena molekul fluida mengalami pemuaian sehingga jarak antar molekul menjadi lebih renggang (Fox et al., 2015).

Dalam sistem filtrasi, viskositas oli sangat berpengaruh terhadap *pressure drop* dan proses penyumbatan (*clogging*). Oli dengan viskositas tinggi akan menghasilkan hambatan aliran yang lebih besar ketika melewati *porous media* sehingga nilai *pressure drop* meningkat. Kondisi ini dapat mempercepat terjadinya akumulasi partikel pada media filter (Bear, 1972).

Sebaliknya, pada temperatur tinggi aliran oli menjadi lebih lancar karena viskositas fluida menurun. Hal tersebut menyebabkan resistansi aliran pada media filter menjadi lebih kecil sehingga *pressure drop* cenderung menurun. Oleh karena itu, temperatur pengujian perlu dikontrol agar hasil analisis efisiensi filtrasi dan faktor penyumbatan dapat diperoleh secara konsisten.



Gambar 2. 9 Oli Mesin SAE 15W-40 - viskositas kinematik dan densitas pada berbagai suhu

<https://wiki.anton-paar.com/en/engine-oil/>

Suhu [°C]	Viskositas Dinamis [mPa.s]	Viskositas Kinetik [mm²/s]	Kepadatan [g/cm³]
0	1328.0	1489.4	0,8916
10	582,95	658,60	0,8851
20	287,23	326,87	0,8787
30	155,31	178.01	0,8725
40	91.057	105.10	0,8663
50	57.172	66.464	0,8602
60	38.071	44.585	0,8539
70	26.576	31.350	0,8477
80	19.358	23.006	0,8414
90	14.588	17.467	0,8352
100	11.316	13.648	0,8291

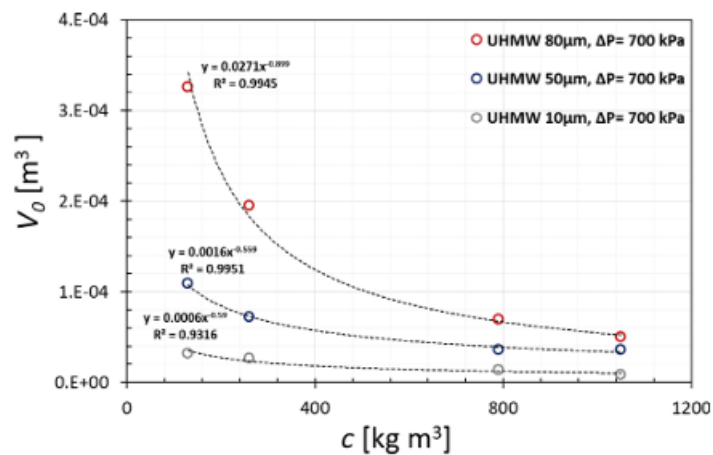
Tabel 2. 1 Tabel viskositas kinematik dan densitas pada berbagai suhu
<https://wiki.anton-paar.com/en/engine-oil/>

2.2 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas tentang porous media, filtrasi, serta fenomena penyumbatan yang terjadi di dalam media filter. Hasil-hasil penelitian ini menjadi dasar penting dalam memahami hubungan antara geometri media berpori dengan performa filtrasi.

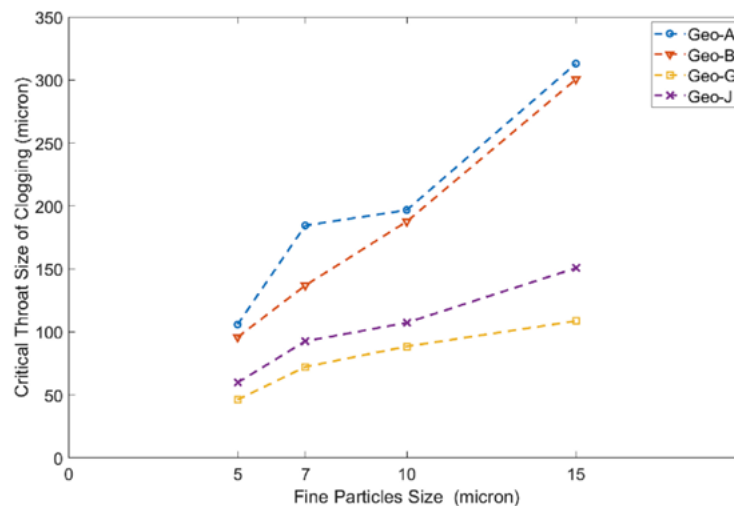
Penelitian yang dilakukan oleh (Printsypar et al., 2019) mengkaji pengaruh mikrostruktur *porous media* terhadap proses filtrasi. Dalam penelitian tersebut, ditunjukkan bahwa struktur internal media yang tidak seragam dapat menyebabkan distribusi aliran fluida menjadi tidak merata. Hal ini berdampak langsung pada efisiensi penangkapan partikel, di mana beberapa area media bekerja lebih efektif dibandingkan area lainnya. Temuan ini menegaskan bahwa geometri *porous media* memiliki peran penting dalam menentukan performa filtrasi secara keseluruhan.

Selanjutnya, penelitian oleh (Sorrentino et al., 2025) berfokus pada mekanisme penyumbatan (*clogging*) dalam media filter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hubungan antara ukuran partikel dan ukuran pori sangat menentukan pola penyumbatan yang terjadi. Jika ukuran partikel mendekati ukuran pori, maka penyumbatan akan terjadi lebih cepat dan signifikan. Sebaliknya, jika partikel jauh lebih kecil, maka penyumbatan berlangsung secara bertahap melalui akumulasi di dalam media.



Gambar 2. 10 Pengaruh ukuran pori media filter dan konsentrasi partikel terhadap volume (Sorrentino et al., 2025)

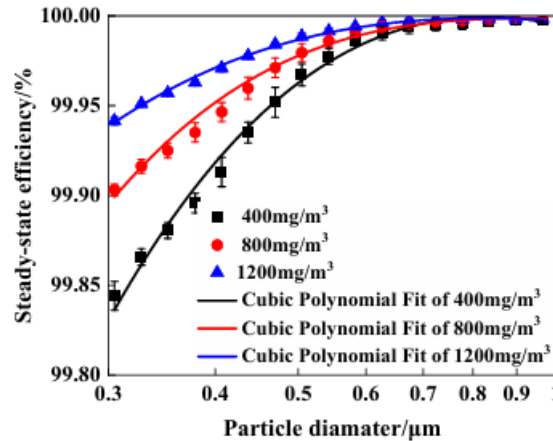
Penelitian lain oleh (Elrahmani et al., 2023) meneliti dinamika penurunan permeabilitas akibat penyumbatan dalam *porous media*. Hasilnya menunjukkan bahwa peningkatan jumlah partikel yang tertahan di dalam media secara langsung menyebabkan penurunan kemampuan aliran fluida. Kondisi ini berhubungan erat dengan peningkatan *pressure drop*, yang menjadi indikator utama menurunnya performa filter.



Gambar 2. 11 Hubungan parameter geometri porous media terhadap penurunan permeabilitas (Permeability Reduction) pada berbagai ukuran partikel halus (Elrahmani et al., 2023)

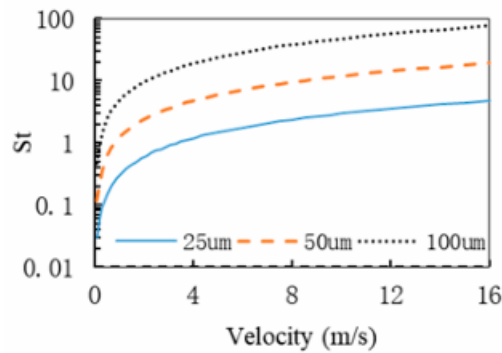
Selain itu, penelitian oleh (H. Li et al., 2025) secara khusus mengkaji efisiensi filtrasi pada filter oli. Penelitian ini menunjukkan bahwa parameter operasional seperti temperatur dan laju aliran memiliki pengaruh terhadap efisiensi

penyaringan. Dalam kondisi tertentu, perubahan temperatur dapat memengaruhi karakteristik partikel sehingga memengaruhi kemampuan filter dalam menangkap kontaminan.



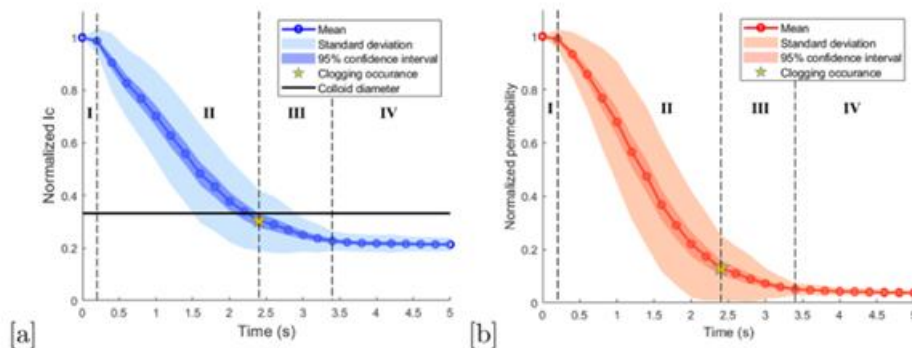
Gambar 2. 12 Pengaruh konsentrasi aerosol terhadap efisiensi filtrasi keadaan tunak (steady-state filtration efficiency) pada elemen filter (H. Li et al., 2025)

Sementara itu, penelitian oleh (Chen et al., 2025) membahas pergerakan partikel dalam filter oli menggunakan pendekatan numerik. Hasilnya menunjukkan bahwa distribusi aliran dan interaksi partikel dengan media filter sangat dipengaruhi oleh struktur *porous media*. Hal ini memperkuat bahwa desain geometri media filter menjadi faktor kunci dalam meningkatkan performa filtrasi. Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa geometri *porous media* memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi filtrasi, distribusi aliran, serta proses penyumbatan. Namun, sebagian besar penelitian masih menggunakan pendekatan simulasi atau analisis teoritis. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan pendekatan eksperimental untuk memberikan gambaran yang lebih nyata mengenai hubungan antara geometri porous media dengan efisiensi filtrasi dan faktor penyumbatan pada filter oli.



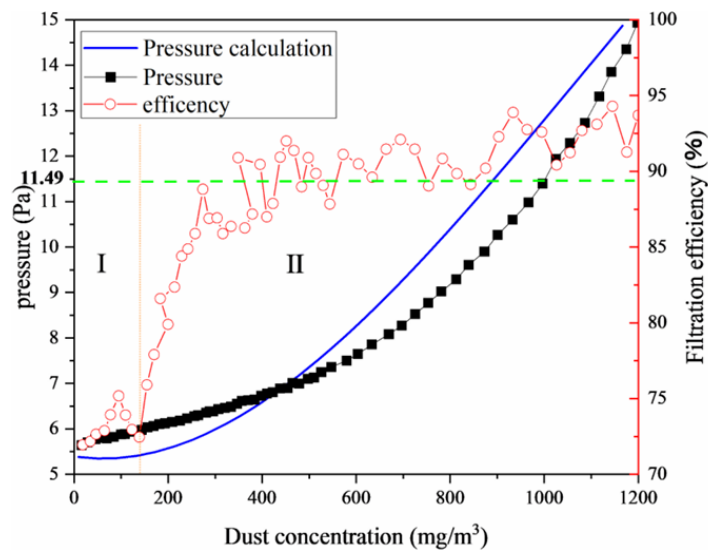
Gambar 2. 13 Pengaruh temperatur oli terhadap efisiensi filtrasi partikel pada filter oli hidrolis (Chen et al., 2025)

Penelitian lain yang dilakukan oleh (Liu et al., 2024) membahas mekanisme penyumbatan pada porous media menggunakan pendekatan simulasi berbasis CFD-DEM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses *clogging* tidak terjadi secara langsung, melainkan melalui beberapa tahapan, mulai dari penangkapan partikel awal hingga terbentuknya penyumbatan yang signifikan di dalam pori. Selain itu, geometri pori terbukti sangat berpengaruh terhadap lokasi dan kecepatan terjadinya penyumbatan.



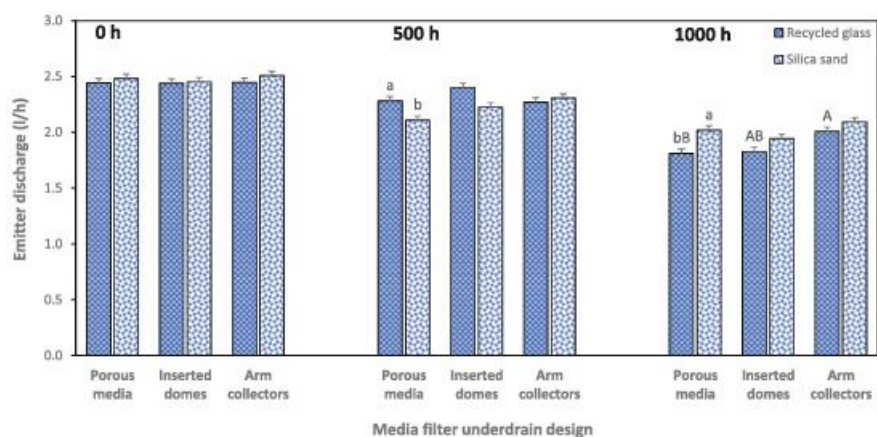
Gambar 2. 14 Evolusi proses penyumbatan (*clogging*) berdasarkan perubahan diameter kritis (critical diameter) dan permeabilitas ternormalisasi pada media berpori (Liu et al., 2024)

Selanjutnya, penelitian oleh (Y. Li et al., 2025) mengkaji pengaruh struktur serat dan kerapatan media terhadap efisiensi filtrasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin rapat struktur media (pori semakin kecil), maka efisiensi filtrasi meningkat. Namun, kondisi ini juga menyebabkan peningkatan *pressure drop* serta mempercepat terjadinya penyumbatan, terutama pada kecepatan aliran yang tinggi.



Gambar 2. 15 Perubahan pressure drop dan efisiensi filtrasi selama proses dust loading pada media filter berserat (Y. Li et al., 2025)

Selain itu, penelitian oleh (Duran-Ros et al., 2022) meneliti pengaruh jenis media filter terhadap tingkat penyumbatan dalam sistem filtrasi. Hasilnya menunjukkan bahwa jenis material dan konfigurasi media sangat memengaruhi performa filtrasi serta umur pakai filter. Variasi media filter dapat menghasilkan perbedaan signifikan pada efisiensi penyaringan dan kecenderungan terjadinya *clogging*.



Gambar 2. 16 Pengaruh waktu operasi terhadap penurunan debit emitter pada berbagai media filter dan desain underdrain akibat proses *clogging* (Duran-Ros et al., 2022)