

BAB IV

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

4.1 PERHITUNGAN AWAL JUMLAH MASSA AEROSOL

Berdasarkan penjabarkan pada subbab 2.1.2 mengenai properties asap rokok, maka perlu dihitung seberapa besar massa aerosol yang terdapat pada alat *Cigarette Smoke Filter*. Perhitungan didasarkan pada pengujian selama 50 menit pada *Cigarette Smoke Filter* tanpa penambahan filter baik filter udara, karbon aktif, dan *thermal precipitator*. Pengujian menunjukkan bahwa dalam 10 menit dibutuhkan 5,5 batang rokok yang menyala untuk menghasilkan *sidestream smoke*. Jumlah massa awal aerosol yang dihasilkan oleh 5,5 batang rokok dalam 10 menit dapat dihitung dengan menggunakan relasi antara *flow rate* yang dihasilkan oleh satu batang rokok yang menyala serta densitas aerosol. Jumlah massa aerosol yang dihasilkan dalam 10 menit ialah:

$$\text{flow rate} \times \text{densitas aerosol} \times \text{waktu} \dots (4.1)$$
$$5,5 \times 370 \text{ cm}^3 / \text{min} \times 1,43 \cdot 10^{-3} \text{ gram} / \text{cm}^3 \times 10 \text{ min} = 29,1 \text{ gram}$$

Prosentase massa aerosol yang terdapat didalam *Cigarette Smoke Filter* dapat dihitung menggunakan selisih antara jumlah massa yang dihasilkan dengan massa yang tersaring dibandingkan dengan jumlah massa yang dihasilkan. Pada pengujian digunakan kertas saring yang ditempatkan pada bagian *outlet Cigarette Smoke Filter* dan dengan menggunakan *hot wire anemometer* diketahui kecepatan pada bagian *outlet* sebesar 2,6 m/s. Pada kertas saring terdapat penambahan massa tiap pengujian selama 10 menit sehingga penambahan massa total dan penambahan massa rata-rata yang terjadi selama pengujian selama 50 menit dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 4.1 Penambahan massa aerosol pada perhitungan massa awal aerosol

Pengujian	Massa awal	Massa akhir	Penambahan massa
I	0.49	0.51	0.02
II	0.55	0.57	0.02
III	0.53	0.54	0.01
IV	0.55	0.57	0.02
V	0.56	0.6	0.04
Penambahan massa total			0.11*
Penambahan massa rata-rata			0.022*

*dalam gram

Prosentase massa aerosol yang terdapat dalam *Cigarette Smoke Filter* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{\text{Jumlah massa} - \text{Penambahan massa}}{\text{Jumlah massa}} \times 100\% \dots (4.2)$$

Sehingga prosentase massa aerosol yang terdapat dalam *Cigarette Smoke Filter* untuk pengujian selama 50 menit tanpa menggunakan filter sebesar:

$$\frac{145,5 - 0,11}{145,55} \times 100\% = 99,9\%$$

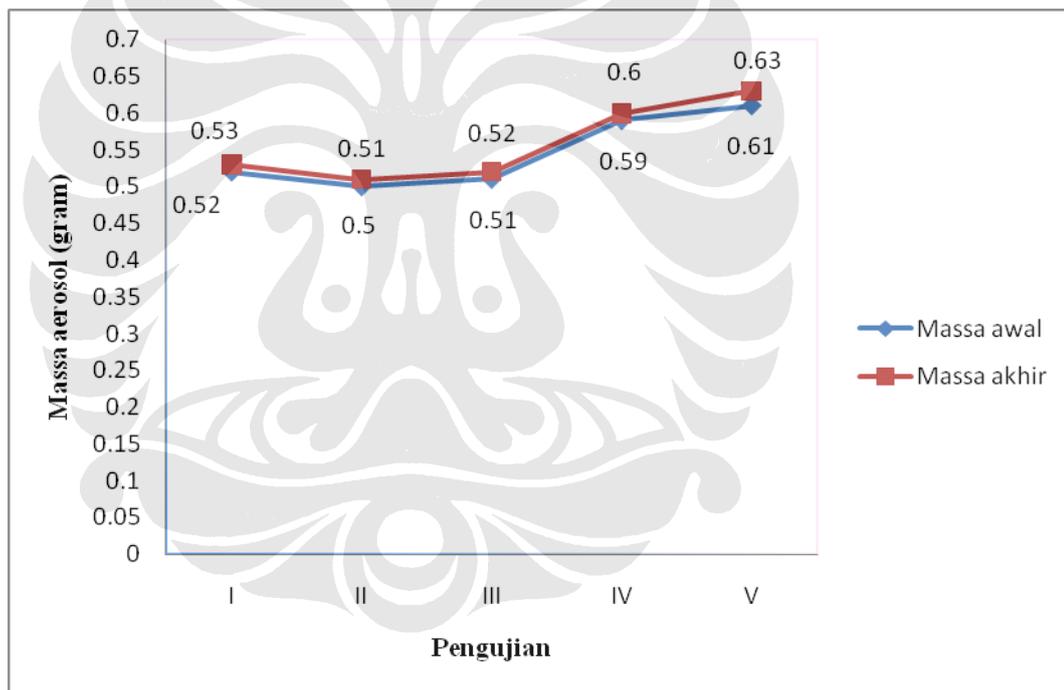
4.2 PENGUJIAN MENGGUNAKAN FILTER UDARA KONVENSIONAL

Pengujian menggunakan filter udara konvensional dilakukan sebanyak 5 kali selama 50 menit sehingga massa aerosol yang dihasilkan pada *Cigarette Smoke Filter* sebanyak 145,5 gram. Pengujian ini ditujukan untuk mengetahui seberapa efektif penggunaan filter udara konvensional sebagai penyaring partikel aerosol. Pada pengujian ini ditempatkan kertas saring pada bagian *outlet Cigarette Smoke Filter*. Sama halnya dengan pengujian sebelumnya bahwa terdapat penambahan massa pada kertas saring selama pengujian, sehingga penambahan massa total dan penambahan massa rata-rata yang terjadi selama 50 menit dapat dilihat pada grafik dan tabel dibawah.

Tabel 4.2 Penambahan massa aerosol pada pengujian menggunakan filter udara konvensional

Pengujian	Massa awal	Massa akhir	Penambahan massa
I	0.52	0.53	0.01
II	0.5	0.51	0.01
III	0.51	0.52	0.01
IV	0.59	0.6	0.01
V	0.61	0.63	0.02
Penambahan massa total			0.06*
Penambahan massa rata-rata			0.012*

*dalam gram



Gambar 4.1 Grafik pengujian menggunakan filter udara konvensional

Pada tabel dan grafik terlihat penurunan massa aerosol yang tersaring dan ini mengindikasikan bahwa penggunaan filter udara konvensional mampu mengurangi jumlah massa aerosol yang dihasilkan. Berdasarkan perhitungan pada subbab 4.1 mengenai jumlah massa aerosol yang dihasilkan pada pengujian selama 10 menit sebesar 29,1 gram dan jumlah massa aerosol yang dihasilkan pada pengujian selama 50 menit sebesar 145,5 gram. Dengan melakukan asumsi

bahwa massa aerosol yang dihasilkan konstan selama pengujian maka dapat dihitung efisiensi penggunaan filter udara konvensional sebagai komponen penyaring pada *Cigarette Smoke Filter*. Efisiensi penyaringan filter udara konvensional merupakan rasio antara selisih massa yang tersaring pada kertas saring tanpa filter apapun dengan massa yang tersaring pada kertas saring menggunakan filter udara konvensional dibandingkan dengan massa yang tersaring pada kertas saring tanpa menggunakan filter. Sehingga efisiensi penyaringan filter udara konvensional sebesar:

$$\frac{0,11 - 0,06}{0,11} \times 100\% = 45,45\%$$

Penurunan nilai kecepatan merupakan indikator penurunan jumlah massa yang tersaring pada kertas saring. Pada pengujian menggunakan filter udara konvensional diperoleh nilai kecepatan aliran pada bagian *outlet* menggunakan *hot wire anemometer* sebesar 2,1 m/s. Bila dibandingkan dengan kecepatan pada bagian outlet pengujian tanpa menggunakan filter sebesar 2,6 m/s maka terdapat penurunan nilai kecepatan yang diakibatkan oleh halangan berupa filter udara konvensional. Penurunan jumlah massa yang tersaring pada kertas saring dapat dibuktikan dengan menggunakan pendekatan empiris. Berdasarkan penjelasan pada subbab 2.3 mengenai *thermophoresis* disebutkan bahwa gaya-gaya yang bekerja pada partikel gas menggunakan metode transfer momentum Waldmann berupa gaya gesek dan gaya *thermophoresis*. Dengan ketidakhadiran perbedaan temperatur maka gaya yang bekerja murni hanya gaya gesek pada partikel aerosol dan besarnya gaya gesek ditentukan oleh kecepatan relative antara partikel aerosol dan gas. Penurunan kecepatan pada sisi outlet yang merupakan kecepatan relatif menghasilkan gaya gesek yang semakin berkurang untuk mengatasi rintangan sehingga massa yang tersaring pada kertas saring mengalami penurunan karena sebagian massa tersaring pada filter udara konvensional.

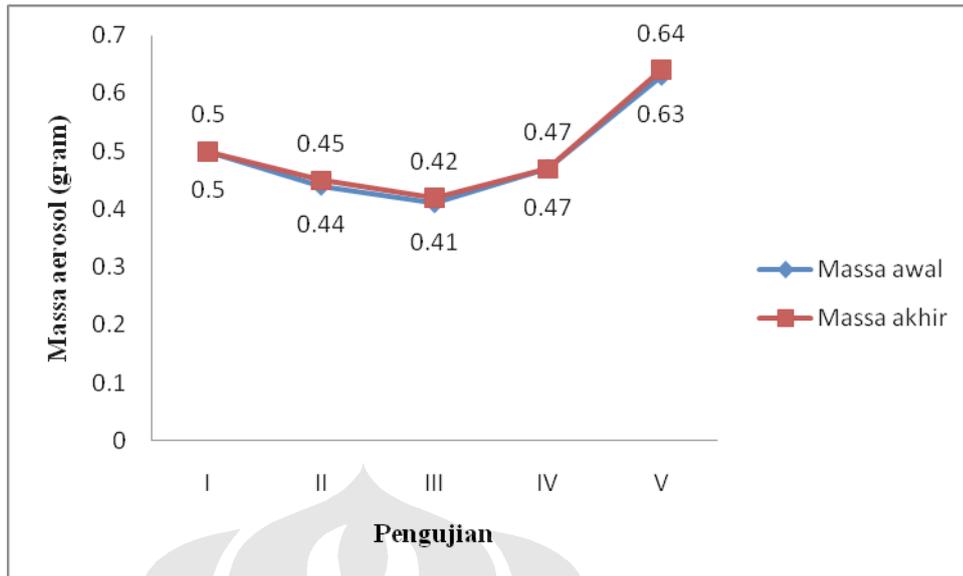
4.3 PENGUJIAN MENGGUNAKAN RANGKAIAN FILTER UDARA KONVENSIONAL DAN KARBON AKTIF HOMOGEN

Pengujian menggunakan rangkaian filter udara konvensional dan karbon aktif homogen ditujukan guna memperoleh efisiensi penyaringan yang lebih baik. Penggunaan filter udara konvensional seperti telah disebutkan sebelumnya memiliki efisiensi penyaringan 45,45%, dan kebanyakan dari partikel aerosol yang tersaring merupakan partikel dengan ukuran besar (1-100 μm). Sedangkan penggunaan filter karbon aktif homogen dengan mesh/sieve sebesar 20 ditujukan untuk menyaring partikel aerosol berukuran kecil dan menghilangkan bau yang dihasilkan dari *sidestream smoke*. Penambahan massa rata-rata dan penambahan massa total yang dihasilkan dari pengujian dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut.

Tabel 4.3 Penambahan massa aerosol pada pengujian menggunakan rangkaian filter udara konvensional dan karbon aktif homogen

Pengujian	Massa awal	Massa akhir	Penambahan massa
I	0.5	0.5	0
II	0.44	0.45	0.01
III	0.41	0.42	0.01
IV	0.47	0.47	0
V	0.63	0.64	0.01
Penambahan massa total			0.03*
Penambahan massa rata-rata			0.006*

*dalam gram



Gambar 4.2 Grafik pengujian menggunakan rangkaian filter udara konvensional dan karbon aktif homogen

Berdasarkan tabel dan grafik pengujian menggunakan rangkaian filter udara konvensional dan karbon aktif homogen terdapat penurunan massa aerosol yang tersaring pada kertas saring dibandingkan dengan tanpa menggunakan filter dan menggunakan filter udara konvensional. Hal ini menandakan bahwa penggunaan rangkaian filter udara konvensional dan karbon aktif homogen efektif menyaring partikel aerosol yang dihasilkan dari *sidestream smoke*. Dengan menggunakan selisih antara massa aerosol yang tersaring tanpa menggunakan filter dan menggunakan rangkaian filter udara konvensional dengan karbon aktif homogen lalu dibandingkan dengan massa aerosol yang tersaring tanpa menggunakan filter maka didapatkan efisiensi penyaringan. Efisiensi penyaringan yang dihasilkan oleh rangkaian filter udara konvensional dan karbon aktif homogen sebesar:

$$\frac{0,11 - 0,03}{0,11} \times 100\% = 72,72\%$$

Sedangkan efisiensi karbon aktif homogen dapat dihitung menggunakan selisih massa yang tersaring pada filter udara konvensional dengan massa yang tersaring pada kertas saring pengujian menggunakan rangkaian filter udara konvensional

dan karbon aktif homogen dibandingkan massa yang tersaring pada filter udara konvensional. Efisiensi penyaringan yang dihasilkan karbon aktif homogen:

$$\frac{0,05 - 0,03}{0,05} \times 100\% = 40\%$$

Pada pengujian menggunakan rangkaian filter udara konvensional dan karbon aktif homogen terjadi penurunan kecepatan pada sisi outlet yang mengindikasikan terjadinya penurunan massa aerosol yang tersaring pada kertas saring. Kecepatan yang terukur menggunakan *hot wire anemometer* sebesar 1,2 m/s dan bila dibandingkan dengan pengujian tanpa filter (2,6m/s) serta menggunakan filter udara konvensional (2,1m/s) maka terjadi penurunan kecepatan. Penurunan kecepatan diakibatkan oleh rangkaian filter yang berperan sebagai halangan yang mengakibatkan dibutuhkan gaya gesek yang cukup besar untuk mengatasi halangan tersebut. Gaya gesek yang dihasilkan memiliki korelasi dengan kecepatan relatif yang merupakan kecepatan yang terukur pada *hot wire anemometer*. Karena kecepatan yang terukur pada *hot wire anemometer* lebih rendah dibandingkan pengujian sebelumnya maka gaya gesek yang dihasilkan tidak cukup untuk mengatasi halangan tersebut mengakibatkan massa aerosol yang tersaring pada kertas saring mengalami penurunan.

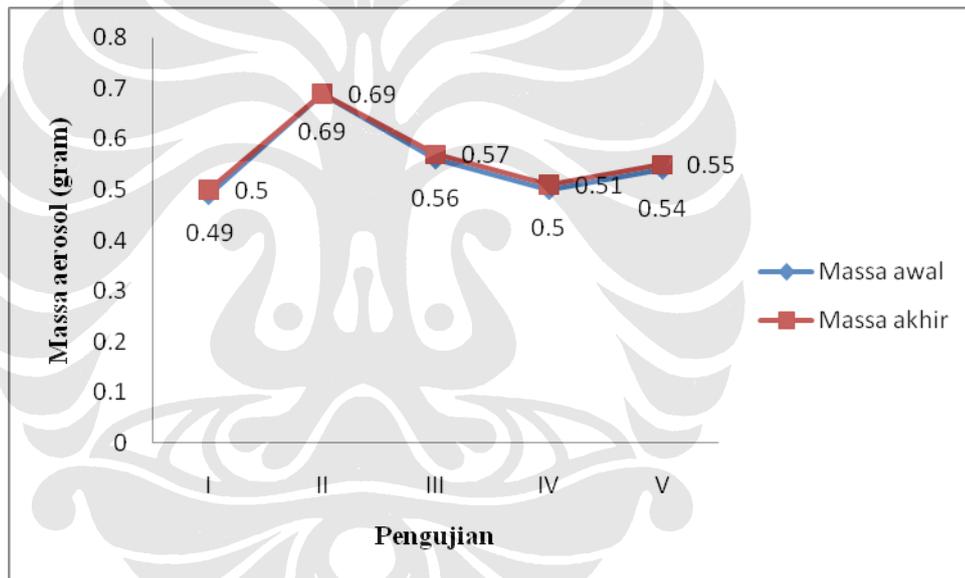
4.4 PENGUJIAN MENGGUNAKAN RANGKAIAN FILTER UDARA KONVENSIONAL DAN KARBON AKTIF TANPA PENCETAKAN

Pengujian menggunakan rangkaian filter udara konvensional dan karbon aktif tanpa pencetakan ditujukan untuk mengetahui efisiensi penyaringan yang dihasilkan dan membandingkan penggunaan variasi karbon aktif terhadap efisiensi penyaringan pada rangkaian. Sama halnya dengan pengujian sebelumnya bahwa efisiensi yang dihasilkan merupakan rasio antara selisih massa yang tersaring tanpa menggunakan filter dengan massa yang tersaring menggunakan filter dibandingkan massa yang tersaring tanpa menggunakan filter. Sedangkan penggunaan filter karbon aktif tanpa pencetakan merupakan salah satu variasi yang dilakukan untuk mengetahui karbon aktif yang menghasilkan efisiensi penyaringan terbaik. Penambahan massa total dan rata-rata yang terjadi pada kertas saring selama pengujian dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut.

Tabel 4.4 Penambahan massa aerosol pada pengujian menggunakan rangkaian filter udara konvensional dan filter karbon aktif tanpa pencetakan

Pengujian	Massa awal	Massa akhir	Penambahan massa
I	0.49	0.5	0.01
II	0.69	0.69	0
III	0.56	0.57	0.01
IV	0.5	0.51	0.01
V	0.54	0.55	0.01
Penambahan massa total			0.04*
Penambahan massa rata-rata			0.008*

*dalam gram



Gambar 4.3 Grafik pengujian menggunakan rangkaian filter udara konvensional dan filter karbon aktif tanpa pencetakan

Berdasarkan tabel dan grafik pengujian menggunakan rangkaian filter udara konvensional dan karbon aktif tanpa pencetakan terdapat penurunan pada penambahan massa total dan penambahan massa rata-rata dibandingkan tanpa menggunakan filter dan menggunakan filter udara konvensional. Efisiensi penyaringan yang dihasilkan oleh rangkaian filter udara konvensional dengan karbon aktif tanpa pencetakan dapat dihitung menggunakan perbandingan antara

selisih massa yang tersaring tanpa filter dengan massa yang tersaring menggunakan rangkaian filter udara konvensional serta karbon aktif tanpa pencetakan dibandingkan massa yang tersaring tanpa penggunaan filter. Sehingga efisiensi penyaringan pada rangkaian filter udara konvensional dan karbon aktif tanpa pencetakan yang dihasilkan sebesar:

$$\frac{0,11 - 0,04}{0,11} \times 100\% = 63,63\%$$

Efisiensi penyaringan karbon aktif tanpa pencetakan sebesar:

$$\frac{0,05 - 0,04}{0,05} \times 100\% = 20\%$$

Pada pengujian menggunakan rangkaian filter udara konvensional dan karbon aktif tanpa pencetakan terdapat kenaikan pada penambahan massa total dan penambahan massa rata-rata dibandingkan menggunakan rangkaian filter udara konvensional dan karbon aktif homogen. Kenaikan pada penambahan massa total dan penambahan massa rata-rata disebabkan oleh penggunaan karbon aktif tanpa pencetakan. Karbon aktif tanpa pencetakan menghasilkan pori-pori yang kurang rapat dibandingkan dengan karbon aktif homogen sehingga terdapat sejumlah massa aerosol yang tidak terserap oleh pori-pori karbon. Pori-pori yang kurang rapat cenderung memiliki ikatan antar atom karbon yang lemah mengakibatkan kemampuan untuk menahan partikel aerosol yang terserap berkurang sehingga partikel aerosol mudah untuk melalui pori-pori karbon aktif tanpa pencetakan. Penggunaan filter karbon aktif tanpa pencetakan menghasilkan peningkatan kecepatan pada sisi outlet sebesar 0,1m/s dibandingkan dengan karbon aktif homogen sehingga filter karbon aktif tanpa pencetakan menghasilkan gaya gesek yang sedikit lebih besar dibandingkan karbon aktif homogen. Peningkatan kecepatan mengakibatkan sejumlah kecil massa aerosol dapat melalui halangan tersebut.

4.5 PENGUJIAN MENGGUNAKAN RANGKAIN FILTER UDARA KONVENSIONAL DAN KARBON AKTIF HETEROGEN (BERLAPIS)

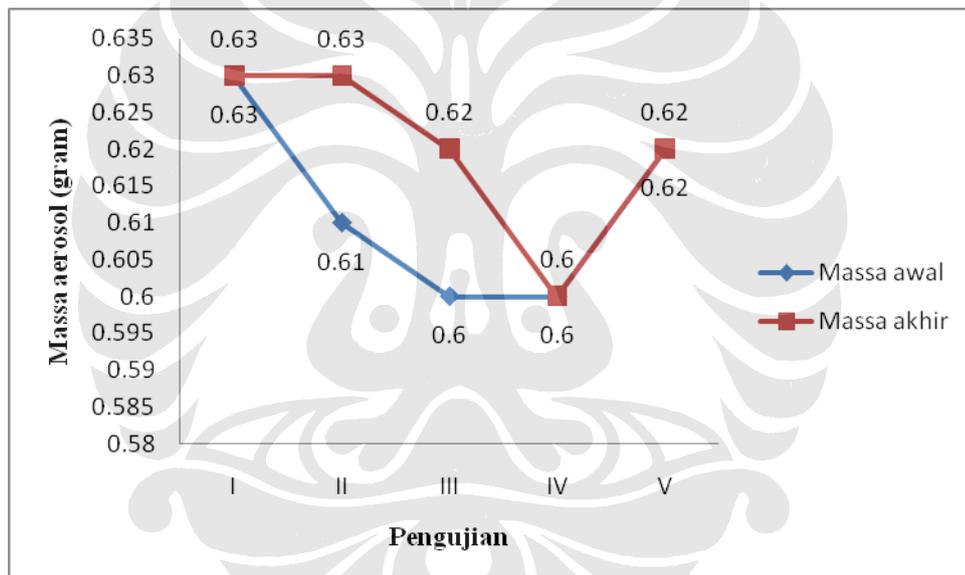
Pengujian menggunakan rangkaian filter udara konvensional dan karbon aktif heterogen (berlapis) bertujuan untuk mengetahui efisiensi penyaringan yang dihasilkan dan penggunaan variasi karbon aktif yang menghasilkan kemampuan penyaringan terbaik. Efisiensi penyaringan merupakan perbandingan antara selisih massa yang tersaring tanpa menggunakan filter dengan massa yang tersaring menggunakan rangkaian filter udara konvensional serta karbon aktif heterogen (berlapis) dibandingkan massa yang tersaring tanpa menggunakan filter. Dengan membandingkan efisiensi yang dihasilkan pada rangkaian filter menggunakan filter udara konvensional dan berbagai variasi penggunaan karbon aktif seperti karbon aktif homogen, karbon aktif tanpa pencetakan, dan karbon aktif heterogen (berlapis) maka diketahui karbon aktif yang memiliki kemampuan penyaringan terbaik.

Efisiensi penyaringan yang dihasilkan pada rangkaian filter udara konvensional dan karbon aktif dapat dihitung menggunakan persamaan efisiensi yang telah digunakan pada pengujian sebelumnya. Berdasarkan persamaan efisiensi maka dibutuhkan penambahan massa total yang terjadi pada kertas saring selama pengujian menggunakan rangkaian filter udara konvensional dan karbon aktif heterogen (berlapis). Penambahan massa total dan penambahan massa rata-rata selama pengujian menggunakan rangkaian filter udara konvensional dan karbon aktif heterogen (berlapis) disajikan pada tabel dan grafik berikut.

Tabel 4.5 Penambahan massa aerosol pada pengujian menggunakan rangkaian filter udara konvensional dan filter karbon aktif heterogen

Pengujian	Massa awal	Massa akhir	Penambahan massa
I	0.63	0.63	0
II	0.61	0.63	0.02
III	0.6	0.62	0.02
IV	0.6	0.6	0
V	0.62	0.62	0
Penambahan massa total			0.04*
Penambahan massa rata-rata			0.008*

*dalam gram



Gambar 4.4 Grafik pengujian menggunakan rangkain filter udara konvensional dan filter karbon aktif heterogen

Sehingga efisiensi penyaringan yang dihasilkan pada pengujian menggunakan rangkaian filter udara konvensional dan karbon aktif heterogen (berlapis) sebesar:

$$\frac{0,11 - 0,04}{0,11} \times 100\% = 63,63\%$$

Sedangkan efisiensi karbon aktif heterogen yang dihasilkan sebesar:

$$\frac{0,05 - 0,04}{0,05} \times 100\% = 20\%$$

Penggunaan karbon aktif heterogen (berlapis) menghasilkan penambahan massa total yang sama dengan karbon aktif tanpa pencetakan dan kenaikan penambahan massa bila dibandingkan dengan karbon aktif homogen. Kenaikan penambahan massa disebabkan ukuran pori-pori pada karbon aktif heterogen berbeda-beda karena penyusun karbon aktif heterogen terdiri dari karbon aktif dengan mesh/sieve yang berbeda. Karbon aktif yang digunakan sebagai penyusun pada karbon aktif heterogen terdiri dari karbon aktif dengan mesh 16 untuk lapisan pertama, mesh 18 untuk lapisan kedua, dan mesh 20 untuk lapisan ketiga. Perbedaan ukuran pori-pori menghasilkan kemampuan penyerapan yang berbeda pada karbon aktif heterogen, semakin kecil ukuran pori-pori maka energi potensial untuk penyerapan semakin besar. Sedangkan kecepatan aliran pada *outlet* terukur sebesar 1,4 m/s sehingga gaya gesek yang ditimbulkan pada partikel aerosol tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap kenaikan penambahan massa yang tersaring karena penambahan massa yang tersaring sama jumlahnya dengan menggunakan karbon aktif tanpa pencetakan (1,3 m/s).

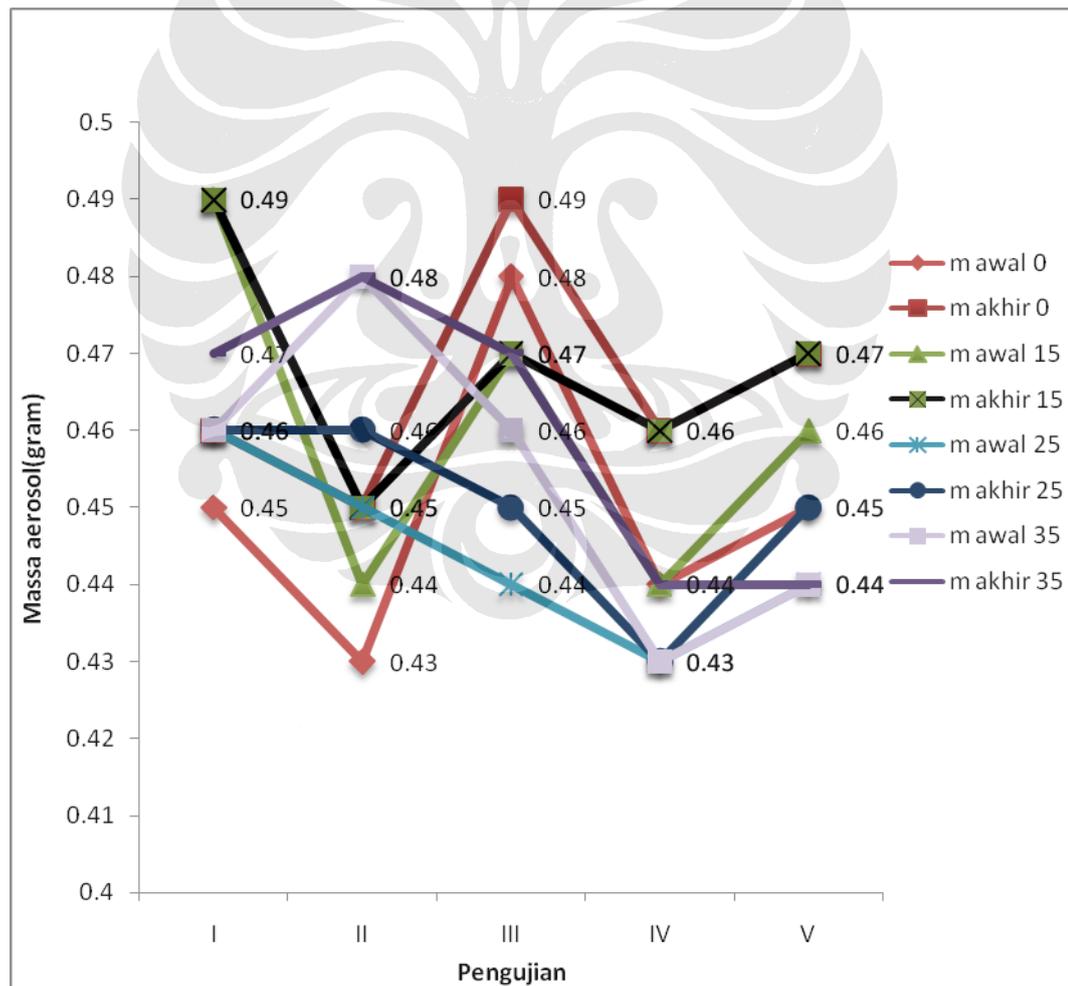
4. 6 PENGUJIAN MENGGUNAKAN *THERMAL PRECIPITATOR*

Pengujian menggunakan *thermal precipitator* ditujukan guna mengetahui seberapa efisien penggunaan *thermal precipitator* sebagai filter dengan memanfaatkan perbedaan temperatur pada sisi panas dan dingin *thermal precipitator*. Perbedaan temperatur pada sisi panas dan dingin divariasikan sebanyak empat buah yakni 0°C, 15°C, 25°C, dan 35°C dengan temperatur yang terukur pada sisi pelat dingin sebesar 27,8°C. Pengujian dilakukan menggunakan *thermal precipitator* tanpa rangkaian filter lainnya seperti filter udara konvensional dan karbon aktif berbagai variasi. Efisiensi penyaringan yang diperoleh merupakan rasio antara selisih massa yang tersaring pada kertas saring tanpa menggunakan filter apapun dengan massa yang tersaring menggunakan *thermal precipitator* pada perbedaan temperature 0°C, 15°C, 25°C, dan 35°C. Berikut merupakan tabel dan grafik yang memuat data mengenai penambahan massa total dan penambahan massa rata-rata pada variasi pengujian.

Tabel 4.6 Penambahan massa aerosol pada pengujian menggunakan *thermal precipitator*

Delta Pengujian	0°C		15°C		25°C		35°C	
	m awal	m akhir						
I	0.45	0.46	0.49	0.49	0.46	0.46	0.46	0.47
II	0.43	0.45	0.44	0.45	0.45	0.46	0.48	0.48
III	0.48	0.49	0.47	0.47	0.44	0.45	0.46	0.47
IV	0.44	0.46	0.44	0.46	0.43	0.43	0.43	0.44
V	0.45	0.47	0.46	0.47	0.44	0.45	0.44	0.44
Penambahan m total	0.08*		0.04*		0.03*		0.03*	
Penambahan m rata-rata	0.016		0.008		0.006		0.006	

*dalam gram



Gambar 4.5 Grafik pengujian menggunakan *thermal precipitator*

Efisiensi penyaringan dengan menggunakan *thermal precipitator* merupakan pengaruh perbedaan temperatur antara sisi panas dan dingin yang menghasilkan penyerapan/penarikan partikel aerosol pada sisi pelat dingin dengan jumlah yang besar. Semakin besar jumlah partikel aerosol yang tertarik pada sisi dingin menandakan bahwa pada perbedaan temperatur tersebut menghasilkan efisiensi penyaringan yang besar. Dengan membandingkan selisih massa total antara pengujian tanpa filter dengan pengujian menggunakan *thermal precipitator* pada $\Delta T = 0^\circ\text{C}$ dan ΔT lainnya (15°C , 25°C , dan 35°C) maka didapatkan perbedaan temperatur yang menghasilkan efisiensi penyaringan terbaik. Berikut efisiensi penyaringan yang dihasilkan untuk perbedaan temperatur 0°C , 15°C , 25°C , dan 35°C :

- Efisiensi penyaringan untuk $\Delta T = 0^\circ\text{C}$

$$\frac{0,11 - 0,08}{0,11} \times 100\% = 27,27\%$$
- Efisiensi penyaringan untuk $\Delta T = 15^\circ\text{C}$

$$\frac{0,11 - 0,04}{0,11} \times 100\% = 63,63\%$$
- Efisiensi penyaringan untuk $\Delta T = 25^\circ\text{C}$

$$\frac{0,11 - 0,03}{0,11} \times 100\% = 72,72\%$$
- Efisiensi penyaringan untuk $\Delta T = 35^\circ\text{C}$

$$\frac{0,11 - 0,03}{0,11} \times 100\% = 72,72\%$$

Efisiensi penyaringan terbaik terdapat pada perbedaan temperature 25°C dan 35°C dengan efisiensi penyaringan sebesar $72,72\%$. Untuk menarik partikel pada sisi pelat dingin dibutuhkan gaya *thermophoresis* yang dihasilkan oleh perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin *thermal precipitator*. Berdasarkan penjabaran pada subbab 2.3 mengenai *thermophoresis* disebutkan bahwa *driving force* untuk gaya *thermophoresis* ialah perbedaan temperatur bila semua variabel lainnya konstan. Gaya *thermophoresis* yang dihasilkan untuk perbedaan temperatur 35°C secara teori lebih besar dibandingkan perbedaan

temperature 25°C akan tetapi pada perbedaan temperatur 35°C terjadi perpindahan panas antara sisi pelat panas dengan sisi pelat dingin secara konveksi yang menyebabkan sisi dingin menjadi sedikit lebih panas sehingga gaya *thermophoresis* yang dibangkitkan besarnya hampir sama dengan gaya yang dihasilkan untuk perbedan temperature 25°C.

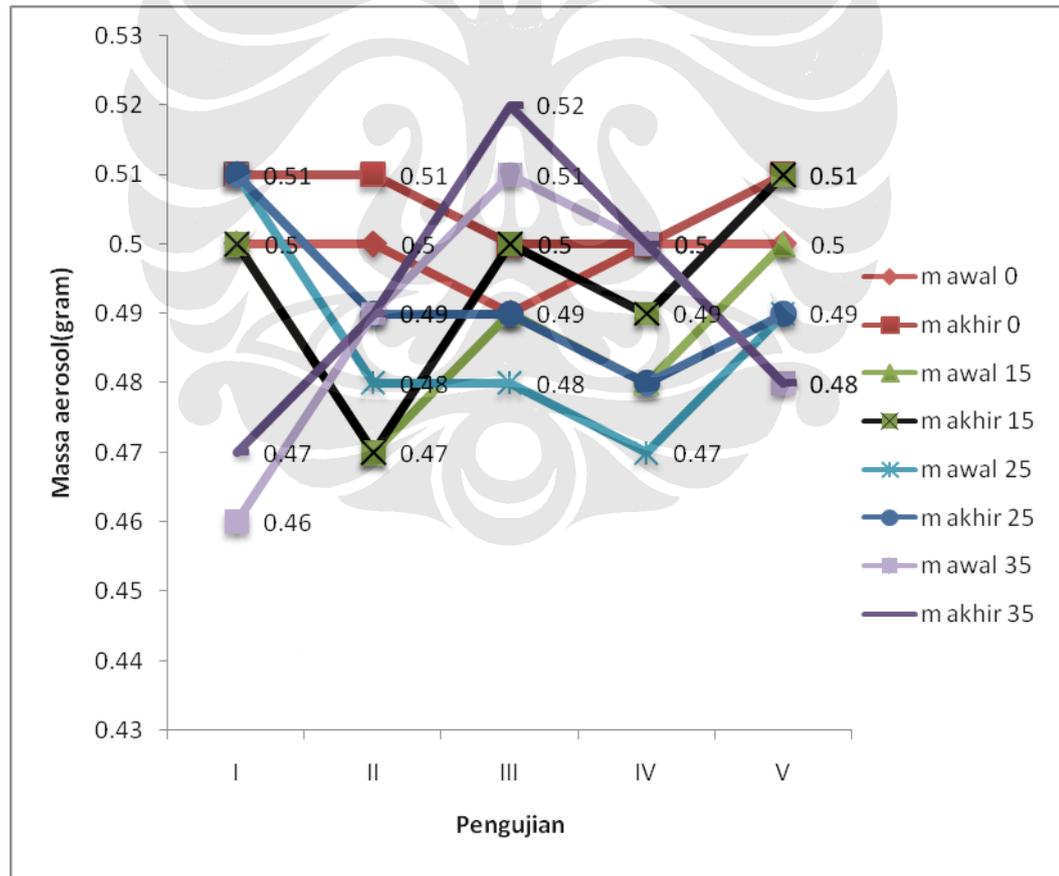
4.7 PENGUJIAN MENGGUNAKAN RANGKAIN FILTER UDARA KONVENSIONAL, KARBON AKTIF HOMOGEN, DAN *THERMAL PRECIPITATOR*

Pengujian menggunakan rangkaian filter udara konvensional, karbon aktif homogen, dan *thermal precipitator* ditujukan untuk mengetahui efisiensi penyaringan yang dihasilkan dari rangkaian tersebut. Dengan mengabungkan ketiga filter diatas diharapkan massa partikel yang tersaring pada kertas saring berkurang. Filter udara konvensional digunakan untuk menyaring partikel aerosol berukuran besar (1-100 μm), karbon aktif dengan pori-pori yang seragam dalam ukuran diharapkan mampu meningkatkan penyaringan partikel dengan ukuran sesuai dengan pori-pori dan menghilangkan bau yang dihasilkan dari *sidestream smoke*, dan *thermal precipitator* ditujukan untuk menyaring partikel aerosol berukuran kecil (0,001-5 μm). Variasi yang dilakukan pada pengujian ini tidak melibatkan penggunaan karbon aktif lainnya dikarenakan karbon homogen memberikan efisiensi terbaik dan variasi yang dilakukan hanya pada perbedaan temperatur sisi pelat panas dan sisi pelat dingin sebanyak empat buah yakni 0°C, 15°C, 25°C, dan 35°C dengan sisi pelat dingin yang terukur sebesar 27,8°C. Berikut grafik dan tabel yang memuat data penambahan massa total dan penambahan massa rata-rata selama pengujian.

Tabel 4.7 Penambahan massa aerosol menggunakan rangkaian filter udara konvensional, karbon aktif homogen, dan *thermal precipitator*

Delta Pengujian	0°C		15°C		25°C		35°C	
	m awal	m akhir						
I	0.5	0.51	0.5	0.5	0.51	0.51	0.46	0.47
II	0.5	0.51	0.47	0.47	0.48	0.49	0.49	0.49
III	0.49	0.5	0.49	0.5	0.48	0.49	0.51	0.52
IV	0.5	0.5	0.48	0.49	0.47	0.48	0.5	0.5
V	0.5	0.51	0.5	0.51	0.49	0.49	0.48	0.48
Penambahan m total	0.04*		0.03*		0.03*		0.02*	
Penambahan m rata-rata	0.008		0.006		0.006		0.004	

*dalam gram



Gambar 4.6 Grafik pengujian menggunakan rangkaian filter udara konvensional, karbon aktif homogen, dan *thermal precipitator*

Berdasarkan tabel dan grafik pengujian maka efisiensi penyaringan dapat dihitung untuk variasi perbedaan temperatur 0°C, 15°C, 25°C, dan 35°C. Efisiensi penyaringan yang dihasilkan dipengaruhi oleh gaya gesek yang dibutuhkan untuk mengatasi halangan berupa rangkaian filter udara konvensional dan karbon aktif homogen dan gaya *thermophoresis* yang dihasilkan dari perbedaan temperatur sisi panas dan dingin pada *thermal precipitator*. Efisiensi penyaringan yang dihasilkan merupakan rasio selisih massa yang tersaring pada pengujian tanpa dengan massa yang tersaring menggunakan rangkaian filter udara konvensional, karbon aktif homogen, dan *thermal precipitator* pada perbedaan temperature 0°C, 15°C, 25°C, dan 35°C dibandingkan dengan massa yang tersaring pada pengujian tanpa menggunakan filter. Efisiensi penyaringan untuk rangkaian filter udara konvensional, karbon aktif homogen, dan *thermal precipitator* pada perbedaan temperature 0°C 15°C, 25°C, dan 35°C sebagai berikut:

- Efisiensi penyaringan untuk $\Delta T = 0^\circ\text{C}$

$$\frac{0,11 - 0,04}{0,11} \times 100\% = 63,63\%$$
- Efisiensi penyaringan untuk $\Delta T = 15^\circ\text{C}$

$$\frac{0,11 - 0,03}{0,11} \times 100\% = 72,72\%$$
- Efisiensi penyaringan untuk $\Delta T = 25^\circ\text{C}$

$$\frac{0,11 - 0,03}{0,11} \times 100\% = 72,72\%$$
- Efisiensi penyaringan untuk $\Delta T = 35^\circ\text{C}$

$$\frac{0,11 - 0,02}{0,11} \times 100\% = 81,81\%$$

Besarnya efisiensi yang dihasilkan pada pengujian menggunakan rangkaian filter udara konvensional, karbon aktif homogen, dan *thermal precipitator* ditentukan gaya gesek dan gaya *thermophoresis* yang bekerja pada partikel aerosol. Kecepatan aliran yang terukur pada *hot wire anemometer* pada bagian outlet rangkaian filter udara konvensional dan karbon aktif sebesar 0,3 m/s menghasilkan gaya gesek yang sangat kecil. Berdasarkan persamaan 2.1 untuk menghasilkan gaya konstan yang bekerja pada partikel aerosol jika gaya gesek

bernilai kecil maka gaya *thermophoresis* memberikan pengaruh yang dominan. Pernyataan ini dapat dilihat saat perbedaan temperatur pada *thermal precipitator* bernilai 0°C baik pada pengujian 4.6 dan 4.7. Pada pengujian 4.7 ketika tidak terdapat gaya *thermophoresis* maka gaya gesek berperan besar, pada pengujian ini terdapat penghalang berupa rangkaian filter udara konvensional dan karbon aktif homogen sehingga gaya gesek berperan untuk melewati halangan dan menyebabkan penurunan massa yang tersaring pada kertas saring. Sedangkan pada percobaan 4.6 tidak terdapat penghalang berupa rangkaian filter udara konvensional dan karbon aktif homogen sehingga jumlah massa yang tersaring pada kertas saring jumlahnya lebih besar dibandingkan pengujian 4.7. Gaya gesek akan berkurang seiring bertambahnya gaya *thermophoresis* yang dibangkitkan oleh perbedaan temperatur, pada percobaan 4.6 untuk perbedaan temperatur 15°C jumlah massa yang tersaring pada *thermal precipitator* sebanyak 0,07 gram sedangkan untuk pengujian 4.7 jumlah massa yang tersaring pada rangkaian filter udara konvensional dan karbon aktif homogen sebanyak 0,01 gram. Jumlah massa yang tersaring pada rangkaian filter udara konvensional dan karbon aktif homogen pada pengujian 4.3 sebanyak 0,08 gram, hal ini menunjukkan bahwa gaya *thermophoresis* memberikan pengaruh dominan pada penyaringan partikel aerosol dibandingkan gaya gesek. Hal tersebut juga berlaku pada pengujian dengan perbedaan temperatur 35°C pada *thermal precipitator* menggunakan rangkaian filter udara konvensional dan karbon aktif. Sedangkan perbedaan temperatur 25°C memberikan gaya *thermophoresis* optimal karena jumlah massa yang tersaring tidak terpengaruh oleh gaya gesek.

Tabel 4.8 Perbandingan variasi rangkaian, penggunaan karbon aktif, dan *thermal precipitator* terhadap efisiensi penyaringan yang dihasilkan

Rangkaian	Komponen								η (%)
	Filter udara konvensional	Karbon aktif			Thermal precipitator (°C)				
		Homogen	Unpressed	Berlapis	0	15	25	35	
I	✓								45,45
II	✓	✓							72,72
III	✓		✓						63,63
IV	✓			✓					63,63
V	1				✓				27,27
	2					✓			63,63
	3						✓		72,72
	4							✓	72,72
VI	1	✓	✓		✓				63,63
	2	✓	✓			✓			63,63
	3	✓	✓				✓		72,72
	4	✓	✓					✓	81,81