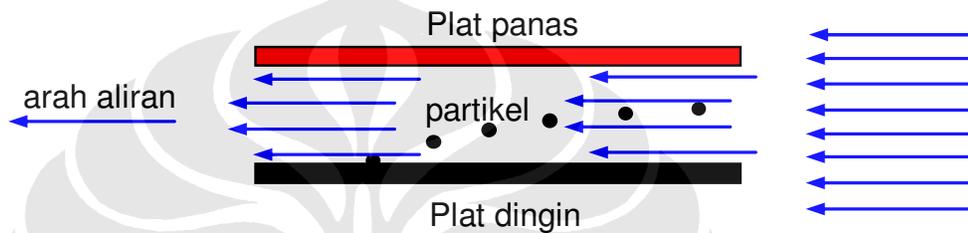


BAB III

SISTEM PENGUJIAN

3.1 KONDISI BATAS (*BOUNDARY CONDITION*)

Sebelum memulai penelitian, terlebih dahulu ditentukan kondisi batas yang akan digunakan. Diasumsikan kondisi smoke yang mengalir pada gradien temperatur dengan kecepatan yang sangat rendah, yaitu 0,01 m/s, 0,05 m/s, dan 0,1 m/s.



Gambar 3.1 Simulasi pergerakan thermophoresis

Beberapa kondisi aliran yang terdapat pada penelitian ini antara lain :

1. *Steady* (tunak), yaitu tidak ada perubahan kecepatan pada saat perubahan

$$\text{waktu } \left(\frac{\delta u}{\delta t} \right) = 0$$

2. Aliran laminar, partikel-partikel fluida bergerak dalam kondisi seragam.
3. Aliran inkompresibel, volume fluida sama di sembarang titik. Hal tersebut berarti tidak terjadi perubahan massa jenis fluida.
4. Fasa aliran adalah fasa tunggal (*single phase*), pada aliran fluida tidak terjadi perubahan fasa baik dari liquid ke gas ataupun gas ke liquid.
5. Aliran fluida homogen, fluida hanya terdiri dari satu jenis yaitu smoke.

Setelah jenis aliran yang akan digunakan selesai didefinisikan, maka selanjutnya menentukan sifat fisik dari fluida udara. Pada Tabel 3.1 dijelaskan mengenai sifat fisik udara sebagai fluida, maksudnya adalah udara pada suhu 27°C (300 K) dan ketinggian di atas permukaan laut.

Tabel 3.1 Sifat fisik udara untuk simulasi

No	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
1	Massa jenis	ρ	1.183	Kg/m ³
2	Suhu udara	T	300	K
3	Viskositas	μ	1.853e-05	N.s/m ²
4	Konduktivitas Thermal	k	0.02614	W/m.K
5	Koefisien Tekanan	Cp	1003	J/kg.K

Sumber : *Essential Eng Information & Data, Mc Graw-Hill, 1991*

3.1.1 Partikel Smoke

Penentuan partikel dilihat dari kehidupan sehari-hari yang paling mendekati dan mudah untuk didapatkan. Dalam penelitian ini menggunakan partikel *smoke (tobacco smoke)*, karena partikel jenis aerosol ini cukup banyak dan mudah untuk didapatkan. Adapun spesifikasi dari partikel uji sebagai berikut :

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Jenis Aerosol	<i>Smoke</i>	
2	Nama Aerosol	<i>Tobacco Smoke</i>	
3	Diameter partikel	0,01 ~ 1	Mm
4	<i>Density</i>	1,1	g/cm ³
5	<i>Molecular mass</i>	162,23	g/mol
6	<i>Boiling point</i>	247	°C

3.1.2 Volume Smoke

Dalam penelitian ini digunakan smoke dengan *volume full* pada box penampung. Ketika volume smoke berkurang karena dikeluarkan melalui test section maka untuk menjaga volume smoke agar tetap full dimasukkan smoke sesuai kondisi. Proses memasukkan smoke yaitu dengan cara manual.

Ketika dialirkan melalui test section, kepekatan dipengaruhi oleh kecepatan fan dalam menghisap smoke. Kepekatan smoke semakin jelas apabila volume smoke penuh pada box penampung dengan kecepatan yang

rendah, sedangkan pada kecepatan tinggi maka akan didapatkan kepekatan yang kurang jelas.

3.1.3 Kecepatan (*Velocity*)

Kecepatan yang digunakan dalam penelitian ini ada 3 tingkatan, yaitu 0,01 m/s, 0,05 m/s, dan 0,1 m/s. Ketiga kecepatan itu relatif cukup rendah, maksudnya untuk disesuaikan dengan kondisi udara pada umumnya, di samping untuk mendapatkan data berupa gambar yang cukup jelas.

Untuk menentukan batasan-batasan kondisi pada penelitian ini, ditentukan beberapa hal yang dianggap penting dan berpengaruh, antara lain :

1. Perhitungan panjang *inlet test section*

Renault Number :

$$Re = \frac{\rho \times v \times d}{\mu} \quad \text{untuk bentuk penampang} \quad \begin{array}{c} \circ \\ \updownarrow \\ \epsilon \end{array} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$Re = \frac{\rho \times v \times 2 \times a \times b}{\mu \times (a + b)} \quad \text{untuk bentuk penampang} \quad \begin{array}{c} \epsilon \\ \square \\ l \end{array} \dots\dots\dots (3.2)$$

ρ = Densitas udara [kg/m³]

v = Kecepatan udara [m/s]

a = Lebar Plat [m]

b = Tinggi Plat [m]

μ = Viskositas dinamik [kg/m.s]

Data tersedia :

$$\rho = 1.177 \text{ kg/m}^3$$

$$v = 0.1 \text{ m/s}$$

$$a = 20 \text{ mm} = 0.02 \text{ m}$$

$$b = 5 \text{ mm} = 0.005 \text{ m}$$

$$\mu = 1.85 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$$

$$\text{Re} = \frac{1.177 \times 0.1 \times 2 \times 0.02 \times 0.005}{1.85 \times 10^{-5} \times (0.002 + 0.005)}$$

$$\text{Re} = 50.89 \text{ (Laminer)}$$

Panjang *Inlet* untuk *Test Section* untuk mencapai daerah berkembang penuh (*fully develop region*):

$$\left(\frac{X}{D}\right)_{lam} = 0.05 \times \text{Re}$$

X = Panjang inlet

D = Luasan bidang inlet

$$D = \frac{2 \times a \times b}{2 \times (a + b)}$$

$$D = \frac{2 \times 0.02 \times 0.005}{2 \times (0.02 + 0.005)}$$

$$D = 0.004 \text{ m}$$

$$\left(\frac{X}{0.004}\right)_{lam} = 0.05 \times 50.89$$

$$\left(\frac{X}{0.004}\right)_{lam} = 2.545$$

$$X = 0.010 \text{ m} = 10 \text{ mm}$$

Jadi, panjang inlet minimum yang dibutuhkan adalah 10mm

Tabel di bawah menunjukkan variasi perbedaan panjang inlet dengan variasi kecepatan udara.

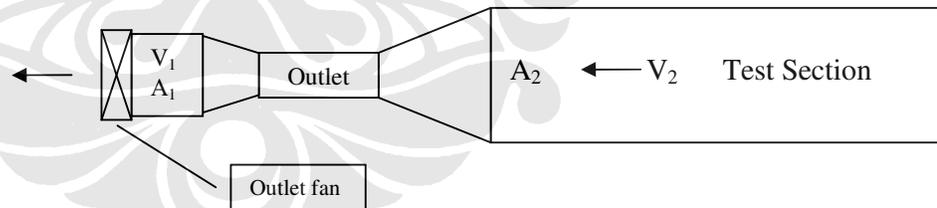
Tabel 3.2 Tabel variasi *entrance length*

ρ (kg/m^3)	v (m/s)	μ (kg/m.s)	a (m)	b (m)	Re	D (m)	x (m)	x (mm)
1.177	0.01	0.0000185	0.02	0.005	5.090	0.004	0.001	1.0
1.177	0.05	0.0000185	0.02	0.005	25.449	0.004	0.005	5.1
1.177	0.1	0.0000185	0.02	0.005	50.897	0.004	0.010	10.2
1.177	0.5	0.0000185	0.02	0.005	254.486	0.004	0.051	50.9
1.177	1	0.0000185	0.02	0.005	508.973	0.004	0.102	101.8

Kecepatan udara yang akan digunakan adalah 0.01, 0.05 dan 0.1 m/s, berdasarkan tabel perhitungan diatas maka ditetapkan panjang inlet agar mencapai aliran laminer adalah 150mm.

2. Penentuan kecepatan partikel di dalam *test section*.

Karena partikel sangat kecil dan tersuspensi dalam aliran udara, maka kecepatan partikel diasumsikan sama dengan kecepatan udara, sehingga yang diukur adalah kecepatan udara dengan menggunakan *hotwire anemometer*.



Gambar 3.2 Skema posisi fan

V_1 = Kecepatan udara sebelum fan (m/s)

A_1 = Luas area outlet (m^2)

V_2 = Kecepatan udara di dalam Test Section (m/s)

A_2 = Luas area test section (m^2)

Kecepatan udara sebelum melewati *exhaust fan* diukur dengan menggunakan *hotwire anemometer*, kecepatan putaran fan diatur dengan menggunakan adaptor (mengubah arus listrik AC menjadi DC) yang memiliki variasi tegangan mulai dari 2.58 sampai 27.7 Volt.

Berikut tabel pengukuran kecepatan udara dengan menggunakan *hotwire anemometer*.

Tabel 3.3 Tabel Pengukuran Kecepatan Udara

Voltage	\tilde{V}_1 (m/s)
2.58 - 3.08	0.1
3.09 - 3.80	0.2
3.81 - 5.40	0.3
5.41 - 7.04	0.4
7.05 - 9.08	0.5
9.09 - 12.13	0.6
12.14 - 16.55	0.7
16.56 - 18.37	0.8
18.38 - 27.7	0.9

Maka dengan menggunakan rumus perbandingan :

$$A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2$$

Didapat kecepatan test section yang diinginkan dengan data sebagai berikut :

Tabel 3.4 Tabel Kecepatan yang digunakan

Voltage	V_1 (m/s) (Fan)	V_2 (m/s) (Test Section)
9.1	0.0025	0.01231
9.4	0.01	0.04924
9.8	0.02	0.09848

3.2 KONDISI SEBELUM PENGUJIAN

Sebelum melakukan uji coba yang sesungguhnya terlebih dahulu dilakukan pengujian tanpa heater, hanya simulasi menggunakan partikel smoke dan dicoba apakah bisa melewati test section seperti yang diharapkan ataukah masih belum mencapai kondisi yang diinginkan. Apabila kondisi yang diinginkan belum tercapai, maka dilakukan perbaikan secara kontinyu sampai didapatkan kondisi yang ideal.

Dalam penelitian alat uji ditemui beberapa kendala sehingga kondisi yang diinginkan tidak dapat tercapai, antara lain.

3.2.1 *Flow smoke partikel*

Aliran *smoke* yang melewati *test section* tidak didapatkan aliran seperti yang diinginkan karena terlalu cepat diakibatkan oleh tekanan yang cukup besar dari box penampung yang diberi udara bertekanan. Hasilnya aliran smoke terlalu cepat dan menyebar sehingga diperkirakan akan menyulitkan dalam proses analisa.

Untuk mengatasinya dibuatkan *blower* (semacam *exhaust fan*) dengan asumsi sepanjang proses berada dalam keadaan *vacuum* (tidak terdapat kebocoran). Sehingga smoke bisa terhisap sempurna. Hasilnya, karena fan yang digunakan cukup kecil maka tidak dapat menghisap smoke seperti yang diharapkan. Oleh karena itu perlu penggantian fan dengan yang diameternya lebih besar dan daya hisapnya lebih kuat, tetapi bisa beroperasi juga pada kecepatan rendah.

Untuk sementara penggantian fan bisa menghisap smoke lebih baik, tetapi hasil alirannya tidak seperti yang diharapkan, maka solusinya dengan membalik box penampung dengan kondisi *outlet* lebih rendah dibanding posisi *inlet*. Hasil yang didapatkan dengan membalik posisi box penampung dianggap sudah cukup untuk mendapatkan data yang diinginkan, tetapi kecepatan aliran masih lebih besar dari yang diharapkan, oleh karena itu untuk mengurangi kecepatan aliran, posisi fan diatur agar kecepatannya didapatkan 0,01 m/s, 0,05 m/s dan 0,1 m/s.

3.2.2 *Volume Smoke*

Pada pengaturan *volume smoke* digunakan kepekatan yang full, maksudnya adalah jumlah asap yang ada di dalam box penampung memenuhi volume box penampung. Pada saat awal pengujian, asap dimasukkan ke dalam kotak penampung hingga penuh, jika secara *visual* terlihat kondisi kotak penampung sudah penuh dengan asap maka kondisi tersebut adalah kondisi full dan siap untuk disalurkan pada *test section*. Setelah dilakukan pengujian pertama, kondisi kotak penampungan akan berkurang. Untuk menjaga agar volume box penampung tetap full, maka dimasukkan asap secara manual. Kondisi ini dipertahankan agar *volume smoke* yang didapatkan stabil.

3.2.3 *Temperatur*

Pada pengujian ini digunakan *heater* model plat untuk mengatur perbedaan temperatur antara kedua plat, untuk percobaan pertama *heater* dipasang pada plat bagian atas sehingga plat bagian atas akan memanaskan namun plat bagian bawah tidak ada pemanasan. Pada percobaan kedua *heater* dipasang di bawah, sehingga temperatur pelat bawah lebih panas dibanding pelat atas. Pengaturan panas dari *heater* ini digunakan *voltage regulator* yang mengatur jumlah tegangan yang masuk ke dalam *heater*, semakin tinggi tegangannya maka semakin tinggi panas yang dihasilkan *heater* tersebut. Selain itu juga digunakan *thermocouple* dan *infra red thermometer* untuk memantau kondisi suhu *heater*.

Tetapi pada aktualnya pelat yang tidak dipasang *heater* juga terpengaruh pelat panas, sehingga temperatur pelat yang tidak dipasang *heater* ikut naik. Oleh karena itu untuk mendapatkan kondisi pengujian yang diharapkan, dipasang kipas angin untuk mendinginkan pelat yang tidak dipasang *heater*.

3.3 SETTING ALAT THERMAL PRECIPITATOR

Sebelum pengambilan data perlu dipersiapkan beberapa hal sehingga dalam proses pengambilan data bisa akurat.

3.3.1 Pemasangan (*assembly unit*)

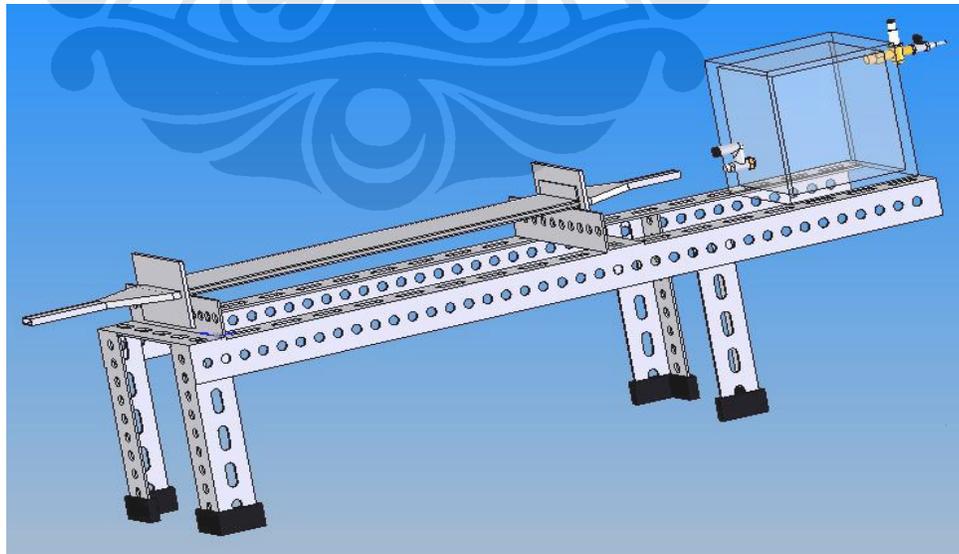
Proses ini merupakan awal dari pembuatan alat *thermal precipitator*. Box penampung yang sudah jadi dipasangkan pada rangka siku, demikian juga dengan *test section* dan *heater* merupakan satu kesatuan dalam suatu rangkaian.

3.3.2 Pemasangan perlengkapan

Perlengkapan yang harus dipasang pada *thermal precipitator* antara lain :

- a. Lampu halogen
- b. Camera
- c. Multi meter
- d. Voltage Regulator dan Heater
- e. Voltage Adaptor dan Fan
- f. Thermometer control dan Thermocouple

Berikut adalah contoh desain dan alat uji *thermal precipitator* yang didesain dan dibuat oleh peneliti lain.



Gambar 3.3 Desain thermal precipitator



Gambar 3.4 Thermal Precipitator

Setelah semua bagian terpasang dengan baik, maka perlu dilakukan pengecekan ulang untuk memastikan semua sambungan ataupun perlengkapan elektronik terhubung dengan baik. Langkah-langkah pengujian meliputi :

1. Menyalakan sumber listrik dan memastikan semua bisa berfungsi dengan baik.
2. Masukkan asap rokok (smoke) melalui *inlet valve* pada box penampung, pastikan *outlet valve* terbuka. Karena apabila valve outlet tertutup maka akan kesulitan ketika memasukkan asap rokok. Hal ini disebabkan box penampung tertutup rapat sehingga tidak ada udara yang keluar sebagai kompensasi dari asap rokok yang dimasukkan. Dalam pengambilan data, dibutuhkan kondisi volume box penampung terisi penuh oleh asap.
3. Setting temperatur heater dengan menghubungkannya pada *voltage regulator*. Atur berapa temperatur yang diinginkan dengan memutar tuas, terdapat beberapa nilai voltage yang diawali dari 25 ~ 250 dan nilai tiap skala adalah 5 volt. Pengaturan temperatur dilakukan secara bertahap dengan memutar tiap 25 skala sampai didapatkan temperatur yang diinginkan. Kenaikan temperatur ini dilakukan bertahap agar material pelat maupun kaca yang berada di sampingnya tidak

mendapatkan perubahan temperatur secara mendadak, dikhawatirkan bisa menyebabkan kaca pecah. Perbedaan temperatur antara pelat atas dan pelat bawah yang diinginkan adalah sebesar 50° , 100° , dan 150° , tetapi karena jarak pelat atas (panas) dan pelat bawah (dingin) cukup dekat (5 cm), maka untuk mencapai gradien temperatur 50° cukup susah. Sehingga disesuaikan dengan kondisi alat uji, maka diambil gradien temperatur 0° , 10° , dan 20° .

4. Setting kecepatan fan dengan menghubungkannya pada adaptor DC, dari perhitungan didapatkan :

Volt	V Fan (m/s)	V Test Section (m/s)
9,8	0,02	0,1
9,4	0,01	0,05
9,1	0,0025	0,01

Untuk pengambilan data pertama disetting 9,8 volt, setelah semua pengambilan data selesai dilanjutkan dengan 9,4 volt dan terakhir pengambilan data 9,1 volt.

5. Setting posisi kamera agar bisa mengambil foto dengan maksimal, agar kamera tidak goyang dalam pengambilan data, maka untuk menjaga posisinya stabil dibutuhkan tripod sebagai penyangga kamera.
6. Setting pencahayaan untuk didapatkan gambar yang bagus, cukup terang dan tidak menyilaukan. Lampu halogen yang dipasang jangan langsung berhadapan dengan posisi kamera melainkan agak menjauh sehingga test section dapat difoto dengan jelas.

3.4. TEKNIK PENGUJIAN

Pengujian dilakukan secara bertahap dimulai dari posisi heater di atas agar pengambilan data lebih mudah. Diawali dengan pengambilan data pada kondisi normal (tidak mendapatkan perlakuan panas) pada suhu ruangan sekitar 27° . Untuk setting kecepatan dibagi menjadi 3 yaitu 0,1 m/s, 0,05 m/s dan 0,01 m/s. Pada tiap kecepatan dibagi lagi menjadi 3 gradien temperatur yaitu 0° , 10° dan 20° .

Pada tiap gradien temperatur diambil datanya untuk mengetahui jarak penurunan dan waktu yang dibutuhkan partikel untuk mengalami gaya thermophoresis. Format pengambilan data adalah sebagai berikut :

Tabel 3.5 Format pengambilan data untuk heater di bawah

Heater Di bawah					
Sample	ΔT	Volume	Kecepatan (m/s)	Kenaikan (cm)	Waktu (dtk)
1	10	Full	0,1		
2	10	Full	0,1		
3	10	Full	0,1		
4	10	Full	0,1		
5	10	Full	0,1		
6	10	Full	0,1		
7	10	Full	0,1		
8	10	Full	0,1		
9	10	Full	0,1		
10	10	Full	0,1		
1	10	Full	0,05		
2	10	Full	0,05		
3	10	Full	0,05		
4	10	Full	0,05		
5	10	Full	0,05		
6	10	Full	0,05		
7	10	Full	0,05		
8	10	Full	0,05		
9	10	Full	0,05		
10	10	Full	0,05		
1	10	Full	0,01		
2	10	Full	0,01		
3	10	Full	0,01		
4	10	Full	0,01		
5	10	Full	0,01		
6	10	Full	0,01		
7	10	Full	0,01		
8	10	Full	0,01		
9	10	Full	0,01		
10	10	Full	0,01		

Tabel 3.6 Format pengambilan data untuk heater di atas

Heater Di atas					
Sample	ΔT	Volume	Kecepatan (m/s)	Penurunan (cm)	Waktu (dtk)
1	10	Full	0,1		
2	10	Full	0,1		
3	10	Full	0,1		
4	10	Full	0,1		
5	10	Full	0,1		
6	10	Full	0,1		
7	10	Full	0,1		
8	10	Full	0,1		
9	10	Full	0,1		
10	10	Full	0,1		
1	10	Full	0,05		
2	10	Full	0,05		
3	10	Full	0,05		
4	10	Full	0,05		
5	10	Full	0,05		
6	10	Full	0,05		
7	10	Full	0,05		
8	10	Full	0,05		
9	10	Full	0,05		
10	10	Full	0,05		
1	10	Full	0,01		
2	10	Full	0,01		
3	10	Full	0,01		
4	10	Full	0,01		
5	10	Full	0,01		
6	10	Full	0,01		
7	10	Full	0,01		
8	10	Full	0,01		
9	10	Full	0,01		
10	10	Full	0,01		