

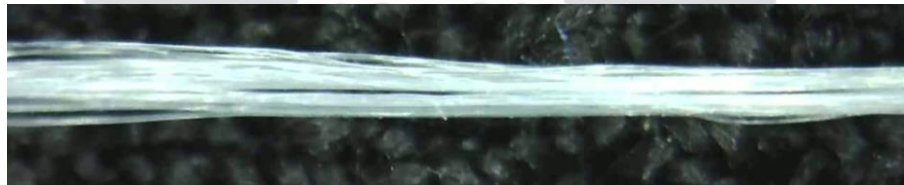
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan disajikan hasil percobaan dan pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini. Hasil pengamatan yang disajikan pada bagian ini meliputi sifat fisik dan struktur kain, hasil pembuatan terowongan angin dan hasil sifat aerodinamika kain.

IV.1 Hasil

IV.1.1 Struktur geometri benang

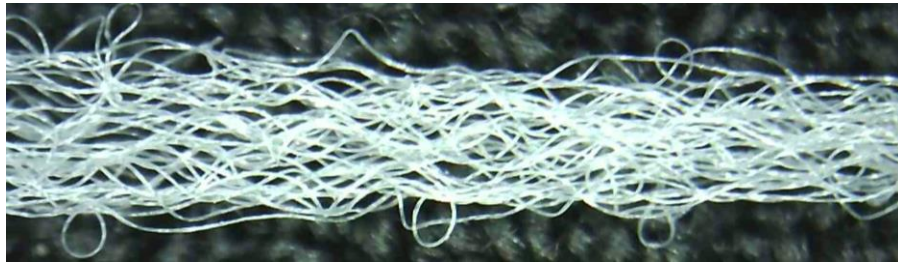
Bardal (2013) menunjukkan bahwa sifat aerodinamika kain dari bahan baku benang spun (memiliki *hairiness/fuzziness*) dan menyebabkan tidak terjadi optimasi pada sifat aerodinamika. Pada penelitian ini, dipelajari sifat aerodinamika atau gaya hambat udara dari bahan baku benang *continuous filament* yang memiliki struktur geometri yang bervariasi serta terdapat *fuzzy* pada benang-benang yang dipakai sebagai bahan baku pada penelitian ini. Gambar IV.1 merupakan gambar struktur geometri mikroskopis ke lima jenis benang yang digunakan pada penelitian ini.



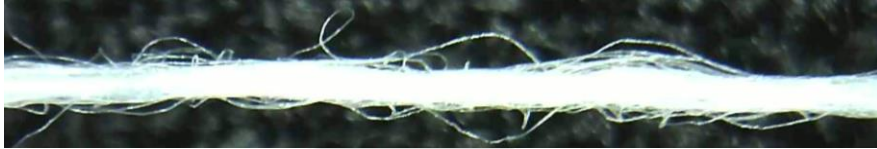
(a)



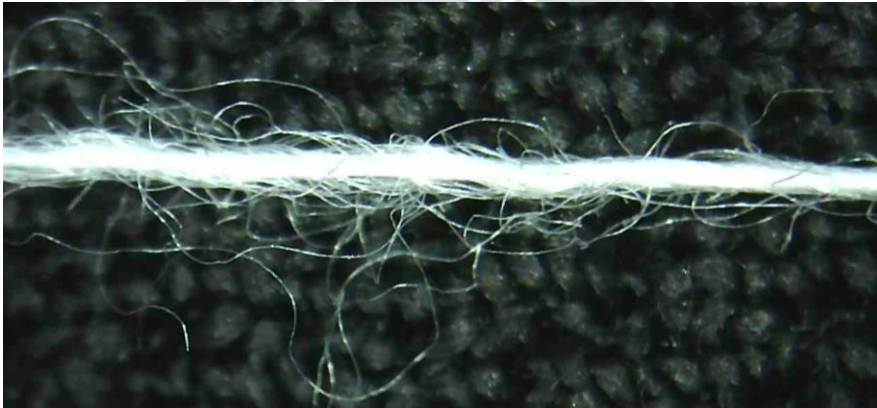
(b)



(c)



(d)



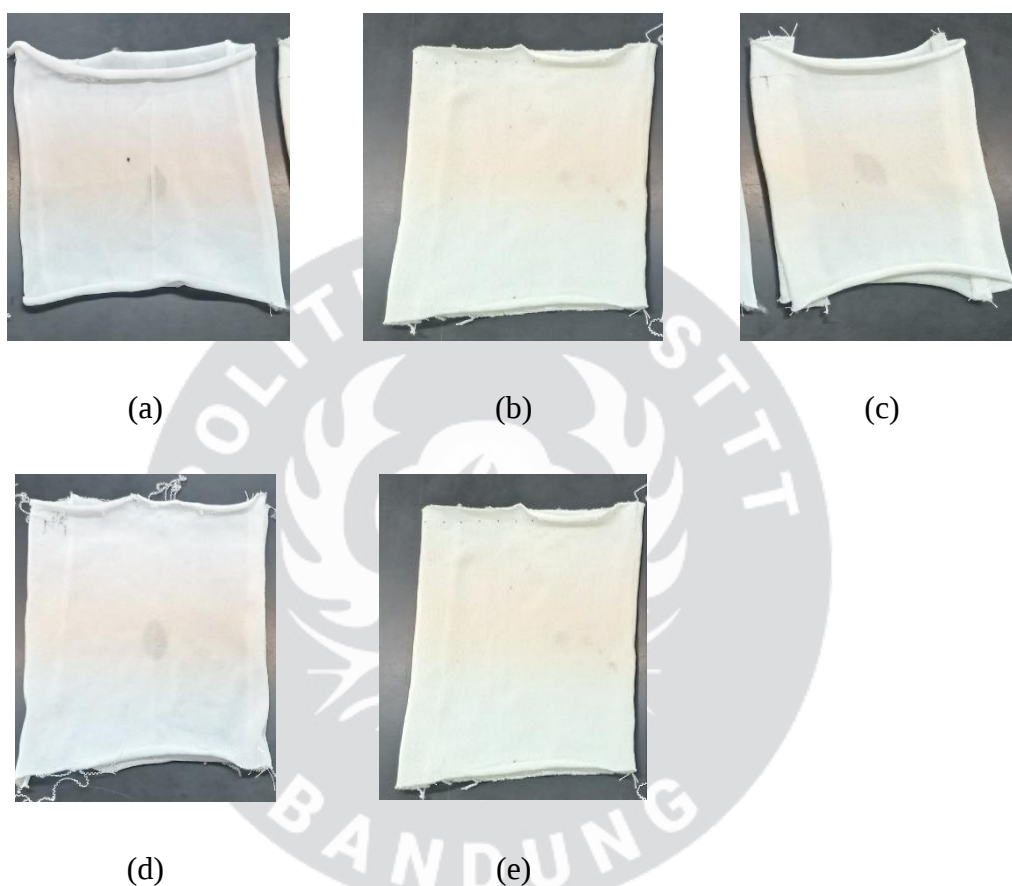
(e)

Gambar IV. 1 Citra benang yang ditangkap menggunakan mikroskop digital dengan pembesaran yang sama (a) *Fully Oriented Yarn*; (b) *Drawn Textured Yarn*; (c) *Textured Twisted Yarn*; (d) *Airjet Textured Yarn*; (e) *Spun Yarn*

Gambar IV.1 menunjukkan bahwa struktur geometri dari setiap jenis benang berbeda-beda. Melalui Gambar IV.1 *fuzzy* kita dapat melihat bahwa bentuk *fuzzy* dari benang spun dan benang *continuous* filamen berbeda, *fuzzy* dari benang spun merupakan serat yang keluar dari badan benang, dimana serat tersebut putus (tidak menyambung) atau yang biasa disebut *hairiness*. Sedangkan *fuzzy* dari benang *continuous* filamen merupakan serat yang keluar dari badan benang namun serat tersebut menyambung/*continue* terus menerus atau biasa disebut *close loop* atau *wild filament*.

IV.1.2 Sifat fisik kain

Hasil uji sifat fisik kain contoh uji yang dibuat terdapat pada tabel IV.1 halaman IV-6. Detail data pengujian untuk ketebalan, porositas optik, *fuzz level* dan tinggi relatif *fuzzy*, masing-masing dapat dilihat pada Lampiran A.



Gambar IV. 2 Kain contoh uji (a) Nylon Fully Oriented; (b) Nylon Drawn Textured; (c) Nylon Textured Twisted; (d) Nylon Airjet Textured; (e) Polyester Spun

Pengujian ketebalan kain contoh uji penting dilakukan pada penelitian ini dikarenakan akan mempengaruhi nilai luas rujukan pada pengujian gaya hambat udara, sebagaimana diketahui bahwa luas rujukan merupakan salah satu variabel yang sangat berpengaruh terhadap gaya hambat udara. Berikut merupakan gambar pengujian ketebalan kain.



Gambar IV. 3 Pengujian ketebalan kain

Pengujian porositas optik dilakukan sebagai parameter penting pada pengujian ini, nilai porositas optik menggambarkan persentase pori-pori pada kain contoh uji dan bisa menggambarkan persentase tekstil yang menutupi model uji pada pengujian sifat aerodinamika. Penyeragaman porositas dari berbagai kain contoh uji, diharapkan dapat memperlihatkan pengaruhnya pada kain contoh uji terhadap gaya hambat udara yang dihasilkan. Berikut merupakan gambar pengujian porositas optik.



Gambar IV. 4 Pengujian porositas optik

Pengujian *fuzz level* dilakukan untuk mengetahui derajat serat yang keluar dari permukaan kain baik berupa *hairiness*, maupun *close loop – wild filament*. Parameter ini penting sebagaimana Bardal (2013) pada penelitiannya mengungkapkan bahwa kain yang memiliki *fuzzy* (*hairiness* – karena menggunakan bahan baku benang spun) tidak mengoptimasi nilai gaya hambat udara, dan tidak terjadi penurunan nilai konstanta *drag*. Sehingga penting untuk diketahui derajat *fuzzy* kain dan tinggi relatif *fuzzy* dalam rangka untuk mengetahui pengaruhnya terhadap gaya hambat udara. Berikut merupakan gambar pengujian *fuzziness*.



Gambar IV. 5 Pengujian *fuzziness*

Tabel IV. 1 Sifat fisik kain sampel

No	Sampel	Ketebalan (mm) <i>*n</i> = 5	Porositas optik (%) <i>*n</i> = 20	<i>Fuzzy</i> <i>level</i> (mm) <i>*n</i> = 3	Tinggi relatif <i>fuzzy</i> (mm) <i>*n</i> = 3
1	Nylon Fully Oriented Fabric	0.418	16.61	0.36	0
2	Nylon Drawn Textured Fabric	0.489	16.93	64.6	0.06
3	Nylon Textured Twisted Fabric	0.450	16.25	40.62	0.04
4	Nylon Airjet Textured Fabric	0.428	17.18	30.77	0.03
5	Polyester Spun Fabric	0.509	17.29	127.6	0.12

Dalam rangka untuk menguji kesamaan rata-rata pada kain sampel nomor 1-5, maka telah dilakukan uji ANOVA yang tentu saja sudah memenuhi syarat dilakukannya uji ANOVA, yaitu data berdistribusi normal dan homogen. Hasil uji normalitas dan homogenitas data ke lima sampel uji dapat dilihat pada Lampiran A. Berikut merupakan hasil uji ANOVA porositas optik dari 5 sampel (Tabel IV.2).

Tabel IV. 2 Hasil uji Anova terhadap porositas optik

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	14.628	4	3.657	1.973	.105
Within Groups	176.054	95	1.853		
Total	190.682	99			

Dasar pengambilan keputusan :

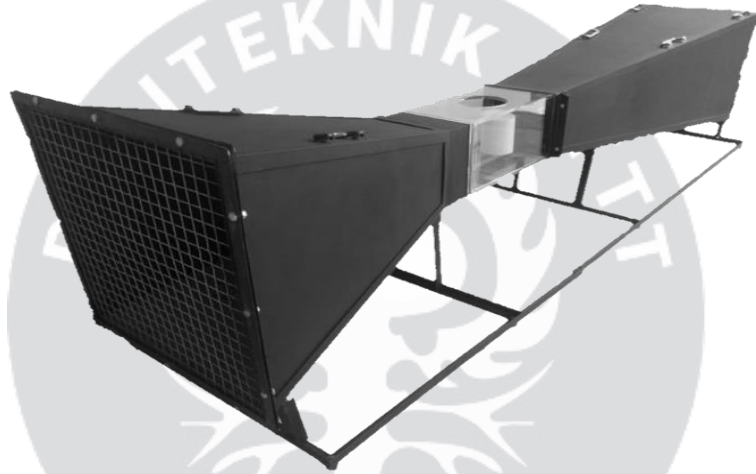
Jika nilai sig. > 0.05 maka tidak ada perbedaan varians data

Jika nilai sig. < 0.05 maka terdapat perbedaan varians data

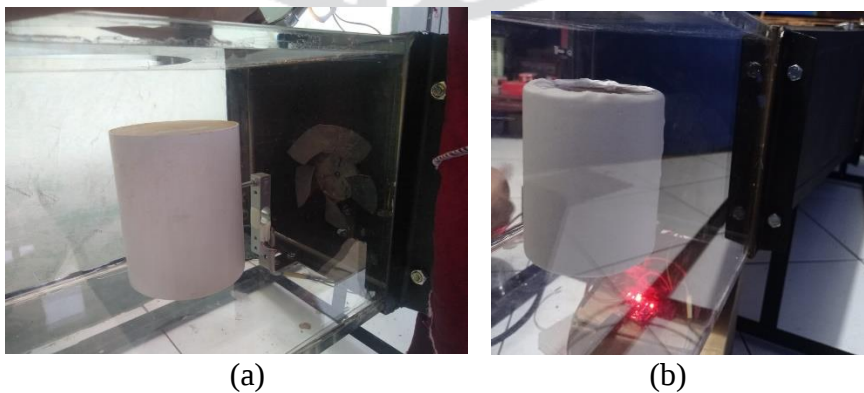
Pada tabel IV.2, nilai sig. lebih besar dari 0.05, maka varians data dari sampel kain nomor 1-5 tidak berbeda secara signifikan.

IV.1.3 Hasil pembuatan terowongan angin

Pada penelitian ini telah dibuat terowongan angin sebagai alat pengujian gaya hambat udara untuk kain contoh uji yang telah dibuat. Berikut merupakan gambar hasil pembuatan terowongan angin serta gambar model uji tanpa kain dan dengan kain pada *test section*.



Gambar IV. 6 Terowongan angin



Gambar IV. 7 Model uji (a) tanpa kain; (b) dengan kain

Terowongan angin merupakan sebuah alat penguji gaya hambat udara, dimana gaya hambat udara akan direkam menggunakan *loadcell sensor*, gaya hambat udara terekam akibat adanya dorongan pada model uji akibat adanya hisapan angin oleh kipas penghisap dan kecepatan udara yang bergerak akan direkam menggunakan *anemometer fan*, sehingga *loadcell sensor* dan *anemometer* yang merupakan parameter kunci harus terkalibrasi. Kalibrasi *loadcell sensor* sebagai pengukur gaya hambat udara dapat dilihat pada gambar IV.8.



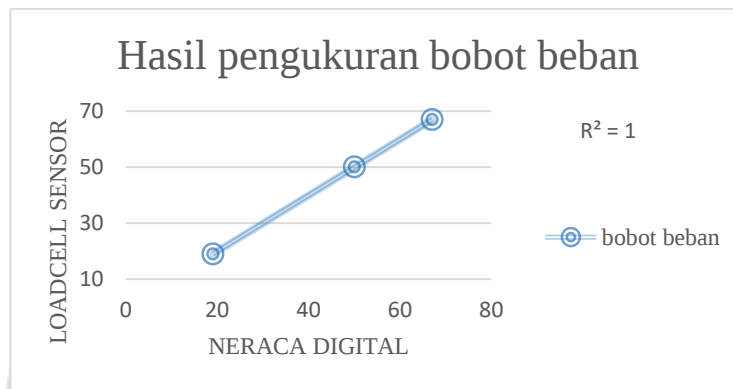
Gambar IV. 8 Proses kalibrasi loadcell sensor; (a) Hasil penimbangan bobot beban dengan menggunakan perangkat timbangan neraca digital; (b) bobot beban pada loadcell sensor

Proses kalibrasi dilakukan dengan menggunakan sebuah objek, kemudian objek tersebut ditempatkan pada neraca digital dan pada *loadcell sensor*. Hasil proses kalibrasi terdapat pada Tabel IV.3.

Tabel IV. 3 Hasil kalibrasi *loadcell sensor* dengan variasi bobot beban

neraca digital (gram)	sensor <i>loadcell</i> (gram)
19.10	19.00
50.10	50.00
67.11	67.00

Pada tabel IV.3 telah dilakukan proses kalibrasi dengan tujuan agar dapat menampilkan hasil pengukuran gaya yang sesuai dengan gaya rill yang terjadi pada terowongan angin. Hasil pengukuran beban dengan menggunakan neraca digital dan dengan menggunakan *loadcell sensor* diuji dengan menggunakan analisa regresi dengan menunjukkan nilai koefisien determinasi (R^2) dan koefisien korelasinya (R) (Gambar IV.8).



Gambar IV. 9 Kurva regresi hasil pengukuran bobot beban sebagai proses kalibrasi *loadcell sensor*

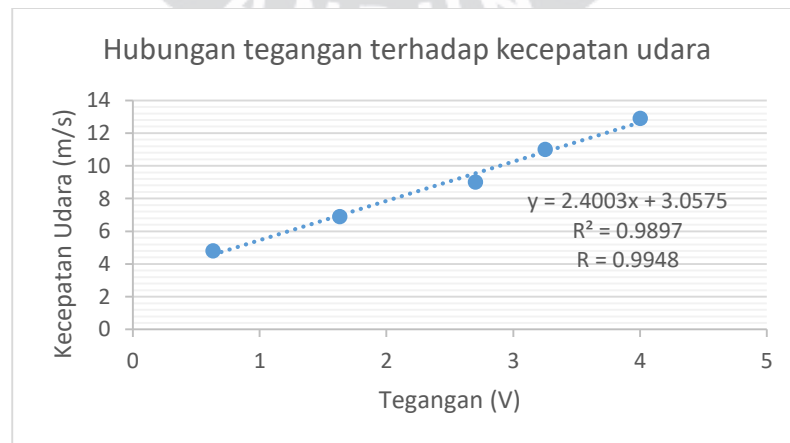
Koefisien determinasi pada intinya mengukur seberapa jauh kemampuan model dalam menerangkan variasi variabel dependen. Nilai koefisien determinasi adalah antara nol dan satu. Nilai R^2 yang kecil berarti kemampuan variable-variabel independen dalam menjelaskan variasi variabel dependen amat terbatas. Nilai yang mendekati satu berarti variabel-variabel independen memberikan hampir semua informasi yang dibutuhkan untuk memprediksi variasi variabel dependen. Gambar IV.9 memperlihatkan nilai koefisien determinasi sebesar 1, menunjukkan bahwa 100% model dapat menggambarkan data. Koefisien korelasi (R) menunjukkan keeratan hubungan linear antara dua variabel. Koefisien korelasi dapat dicari melalui akar dari R^2 . Nilai koefisien korelasi bernilai 1, Sehingga korelasi antara variabel penimbangan bobot menggunakan neraca digital dan menggunakan *loadcell* memiliki korelasi yang sempurna (Jonathan S, 2006).

Parameter kunci kedua pada terowongan angin adalah anemometer sebagai alat pengukur kecepatan angin. Anemometer fan pada terowongan angin ini memberikan nilai pengukuran voltase, semakin kencang kipas anemometer bergerak, maka anemometer memberikan nilai voltase yang lebih tinggi. Untuk mengetahui kecepatan angin riil yang diukur, anemometer fan ini dihubungkan dengan anemometer yang menunjukkan nilai kecepatan udara dalam m/s. Tabel IV.4 merupakan hasil pengukuran hubungan voltase dengan kecepatan udara (m/s). Hasil dari pengukuran hubungan voltage dengan kecepatan angin ini kemudian dianalisa secara regresi dengan memperlihatkan nilai koefisien determinasi dan koefisien korelasinya.

Tabel IV. 4 Hubungan tegangan (voltage) dengan kecepatan udara (m/s)

Tegangan (Voltage)	Kecepatan udara (m/s)
0,63	4,80
1,63	6,90
2,70	9,00
3,25	11,00
4,00	12,90

Hubungan tegangan (voltage) dengan kecepatan udara dapat dilihat pada Gambar IV.10.



Gambar IV. 10 Kurva hubungan tegangan (V) terhadap kecepatan udara (m/s)

Hasil pengukuran Tabel IV.4 ini menjadi nilai konversi dari tegangan yang terbaca pada arduino menjadi nilai kecepatan udara dengan menggunakan nilai regresi $y = 2.4003x + 3.0575$. Y merupakan nilai kecepatan udara dan x merupakan nilai tegangan (voltage). Kemudian dilihat nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.9897, yang artinya bahwa 98.97% model dapat menggambarkan data. Koefisien korelasi (R) adalah sebesar 0.9948, sehingga korelasi dua variabel tersebut sangat kuat. Berikut merupakan spesifikasi terowongan angin yang dibuat pada penelitian ini (Tabel IV.5).

Tabel IV. 5 Spesifikasi terowongan angin

No	Parameter	Spesifikasi Nilai
1	Kecepatan udara maksimum	46,44 km/jam
2	Gaya hambat maksimum yang dapat diukur	3000 gram
3	Tingkat ketelitian hasil pengukuran gaya hambat udara	0,01 gram
4	Tingkat ketelitian hasil pengukuran kecepatan udara	0,01 m/s
5	Diameter model uji silinder	8,8 cm
6	Sampling rate pada nilai data kecepatan aliran udara dan gaya hambat udara	1 data/detik
7	Luas area inlet <i>contraction cone</i>	250.000 mm ²
8	Luas area outlet <i>contraction cone</i>	36.100 mm ²
9	Kemiringan dinding <i>contraction cone</i>	12,48 ⁰
10	Panjang <i>test section</i>	500 mm
11	Diameter <i>hydraulic test section</i>	190 mm
12	Luas area inlet <i>diffuser</i>	36.100 mm ²
13	Luas area outlet <i>diffuser</i>	220.900 mm ²
14	Kemiringan dinding <i>diffuser</i>	5,96 ⁰

IV.1.4 Hasil pengujian sifat aerodinamika

Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian gaya hambat udara dari 5 contoh uji yang dibuat. 5 kain contoh uji tersebut masing-masing terbuat dari bahan baku *fully oriented yarn*, *drawn textured yarn*, *textured twisted yarn*, *airjet textured yarn* dan *spun yarn*. 5 kain contoh uji tersebut memiliki nilai porositas optik yang tidak berbeda secara signifikan (16 – 18%) dengan taraf kepercayaan 95% menggunakan metode uji ANOVA (Tabel IV.2). Berikut merupakan gambar model uji di dalam *test section* terowongan angin.

Pengujian sifat aerodinamika tekstil ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perbedaan jenis material kain dari bahan baku yang berbeda-beda yang mana telah diseragamkan derajat persentase banyaknya tekstil yang menutupi model uji. Pada penelitian ini akan dilihat pengaruh *fuzzy level* terhadap sifat aerodinamika kain/gaya hambat udara, serta pengaruh kekasaran permukaan kain terhadap sifat aerodinamikanya.

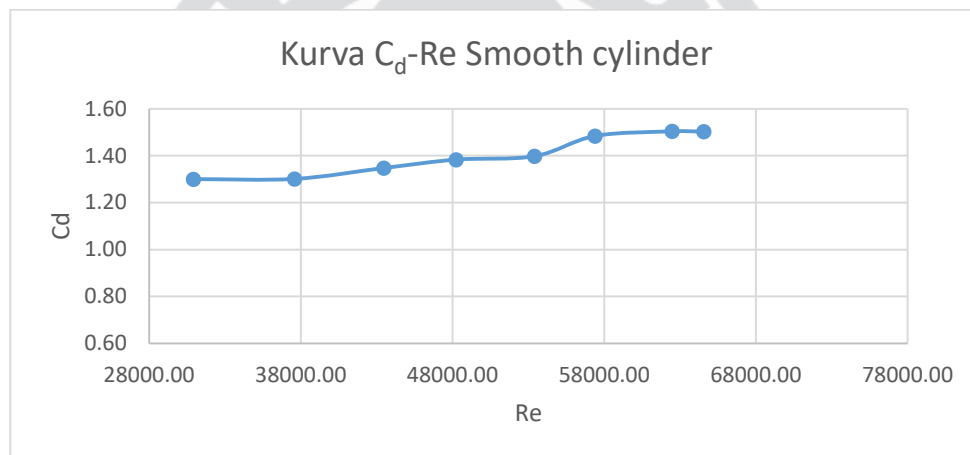
Pada penelitian ini sifat aerodinamika pada tekstil ditampilkan dengan menggunakan tabel hasil pengujian sifat aerodinamika serta kurva hubungan konstanta *drag* dan bilangan Reynolds. Berikut merupakan hasil pengujian sifat aerodinamika serta kurva hubungan konstanta *drag* dan bilangan Reynolds pada silinder halus dan 5 kain contoh uji.

IV.1.4.1 Hasil pengujian sifat aerodinamika silinder (model uji tanpa kain)

Berikut merupakan hasil pengujian sifat aerodinamika pada kain contoh uji ini (Tabel IV.6 dan Gambar IV.11). Dari nilai yang dapat dilihat pada tabel IV.6, kita dapat melihat kurva hubungan konstanta *drag* – bilangan Reynolds seperti yang dapat dilihat pada gambar IV.11.

Tabel IV. 6 Hasil pengujian sifat aerodinamika silinder (model uji tanpa kain)

Kecepatan Aliran Udara (km/jam)	Kecepatan Aliran Udara (m/s)	Gaya Hambat Udara (gF)	Gaya Hambat Udara (N)	Koefisien <i>drag</i>	Bilangan Reynolds
19.18	5.33	21.93	0.21	1.30	30923.53
23.31	6.47	32.42	0.32	1.30	37585.64
26.96	7.49	44.93	0.44	1.35	43478.16
29.91	8.31	56.77	0.56	1.38	48232.79
33.12	9.20	70.36	0.69	1.40	53417.03
35.60	9.89	86.27	0.85	1.48	57403.33
38.75	10.76	103.58	1.02	1.50	62489.78
40.04	11.12	110.51	1.08	1.50	64567.68

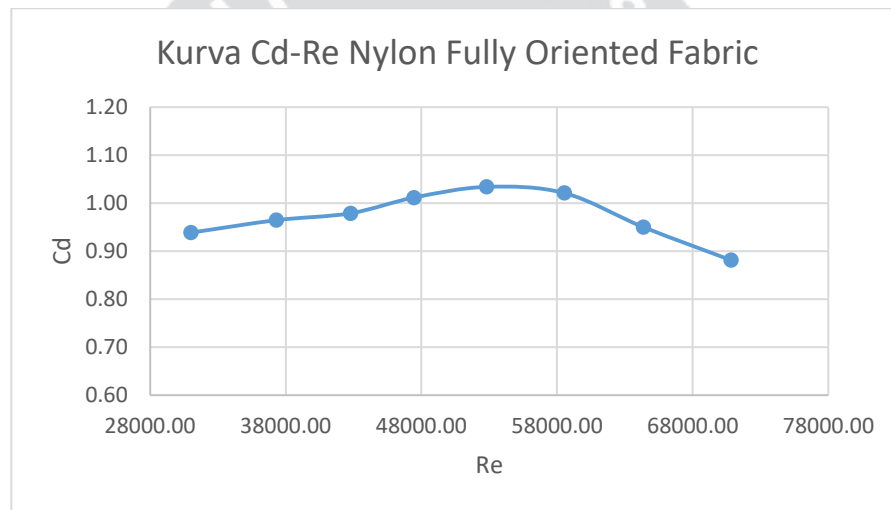
**Gambar IV. 11** Kurva hubungan konstanta *drag* terhadap bilangan Reynolds (silinder model uji tanpa kain)

IV.1.4.2 Hasil pengujian sifat aerodinamika *nylon fully oriented fabric*

Kain contoh uji ini (bahan baku *nylon fully oriented yarn*) memiliki spesifikasi porositas optik 16.61%, *fuzzy level* 0.36 mm, dan tinggi Relatif *fuzzy* 0.00 mm. Berikut merupakan hasil pengujian sifat aerodinamika pada kain contoh uji ini (Tabel IV.7 dan Gambar IV.7). Dari nilai yang dapat dilihat pada tabel IV.12, kita dapat melihat kurva hubungan konstanta *drag* – bilangan Reynolds seperti yang dapat dilihat pada gambar IV.12.

Tabel IV. 7 Hasil pengujian sifat aerodinamika *nylon fully oriented fabric*

Kecepatan Aliran Udara (km/jam)	Kecepatan Aliran Udara (m/s)	Gaya Hambat Udara (gF)	Gaya Hambat Udara (N)	Koefisien drag	Reynolds Number
19.23	5.34	16.00	0.16	0.94	31012.77
23.14	6.43	23.80	0.23	0.96	37313.14
26.52	7.37	31.73	0.31	0.98	42765.47
29.42	8.17	40.35	0.40	1.01	47442.23
32.74	9.09	51.08	0.50	1.03	52800.99
36.30	10.08	62.00	0.61	1.02	58531.90
39.91	11.09	69.75	0.68	0.95	64355.54
43.91	12.20	78.33	0.77	0.88	70816.26

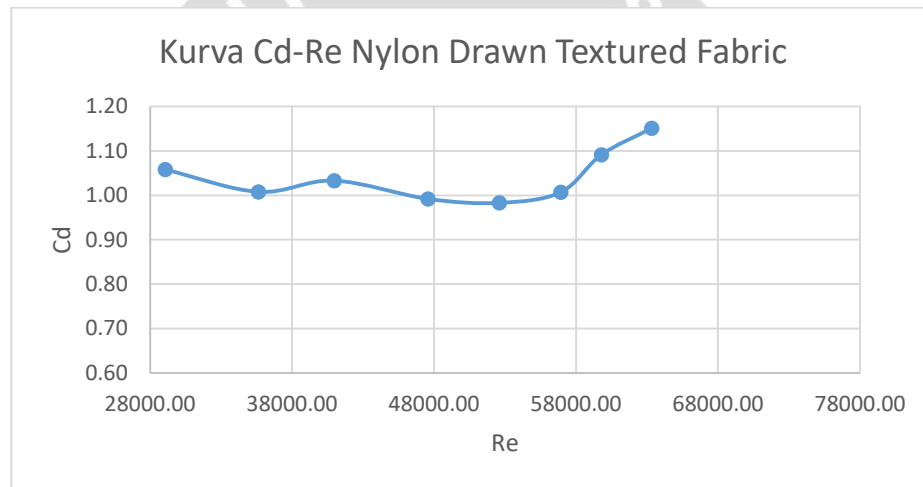
**Gambar IV. 12** Kurva hubungan konstanta *drag* terhadap bilangan Reynolds (*nylon fully oriented fabric*)

IV.1.4.3 Hasil pengujian sifat aerodinamika *nylon drawn textured fabric*

Kain contoh uji ini (bahan baku *nylon drawn textured yarn*) memiliki spesifikasi porositas optik 16.93%, *fuzzy level* 64.60 mm, dan tinggi relatif *fuzzy* 0.06 mm. Berikut merupakan hasil pengujian sifat aerodinamika pada kain contoh uji ini (Tabel IV.8 dan Gambar IV.13). Dari nilai yang dapat dilihat pada tabel IV.8, kita dapat melihat kurva hubungan konstanta *drag* – bilangan Reynolds seperti yang dapat dilihat pada gambar IV.13.

Tabel IV. 8 Hasil pengujian sifat aerodinamika *nylon drawn textured fabric*

Kecepatan Aliran Udara (km/jam)	Kecepatan Aliran Udara (m/s)	Gaya Hambat Udara (gF)	Gaya Hambat Udara (N)	Koefisien Drag	Bilangan Reynolds
18.03	5.01	15.96	0.16	1.06	29075.20
22.10	6.14	22.83	0.22	1.01	35632.33
25.40	7.06	30.93	0.30	1.03	40961.17
29.50	8.19	40.05	0.39	0.99	47568.19
32.62	9.06	48.53	0.48	0.98	52597.20
35.29	9.80	58.20	0.57	1.01	56916.50
37.07	10.30	69.60	0.68	1.09	59783.80

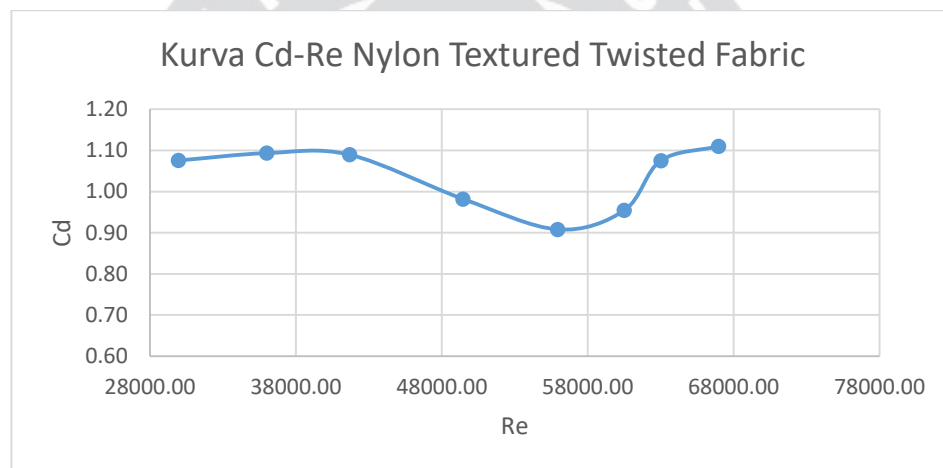
**Gambar IV. 13** Kurva hubungan konstanta *drag* terhadap bilangan Reynolds (*nylon drawn textured fabric*)

IV.1.4.4 Hasil pengujian sifat aerodinamika *nylon textured twisted fabric*

Kain contoh uji ini (bahan baku *nylon textured twisted yarn*) memiliki spesifikasi porositas optik 16,25%, *fuzzy level* 40.62 mm, dan tinggi relatif *fuzzy* 0.04 mm. Berikut merupakan hasil pengujian sifat aerodinamika pada kain contoh uji ini (Tabel IV.9 dan Gambar IV.14). Dari nilai yang dapat dilihat pada tabel IV.9, kita dapat melihat kurva hubungan konstanta *drag* – bilangan reynolds seperti yang dapat dilihat pada gambar IV.14.

Tabel IV. 9 Hasil pengujian sifat aerodinamika *nylon textured twisted fabric*

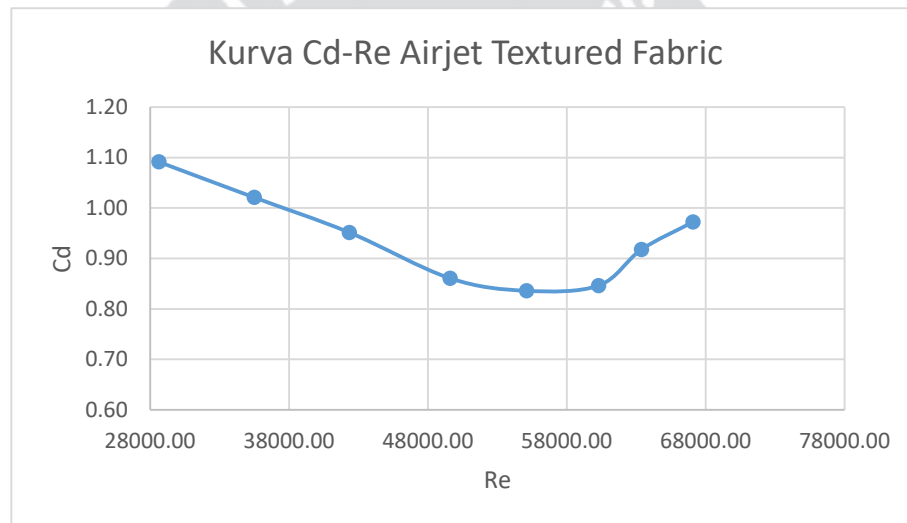
Kecepatan Aliran Udara (km/jam)	Kecepatan Aliran Udara (m/s)	Gaya Hambat Udara (gF)	Gaya Hambat Udara (N)	Koefisien drag	Bilangan reynolds
18.57	5.16	17.12	0.17	1.08	29953.18
22.33	6.20	25.15	0.25	1.09	36007.86
25.84	7.18	33.57	0.33	1.09	41674.07
30.67	8.52	42.61	0.42	0.98	49454.05
34.69	9.64	50.42	0.49	0.91	55943.10
37.52	10.42	62.00	0.61	0.95	60512.93
39.08	10.86	75.77	0.74	1.08	63019.81
41.53	11.54	88.35	0.87	1.11	66980.76

**Gambar IV. 14** Kurva hubungan konstanta drag terhadap bilangan Reynolds (*nylon textured twisted fabric*)**IV.1.4.5 Hasil pengujian sifat aerodinamika *nylon airjet textured fabric***

Kain contoh uji ini (bahan baku *nylon airjet textured yarn*) memiliki spesifikasi porositas optik 17.18%, *fuzzy level* 30.77 mm, dan tinggi relatif *fuzzy* 0.03 mm. Berikut merupakan hasil pengujian sifat aerodinamika pada kain contoh uji ini (Tabel IV.10 dan Gambar IV.15). Dari nilai yang dapat dilihat pada tabel IV.10, kita dapat melihat kurva hubungan konstanta drag – bilangan Reynolds seperti yang dapat dilihat pada gambar IV.15.

Tabel IV. 10 Hasil pengujian sifat aerodinamika *nylon airjet textured fabric*

Kecepatan Aliran Udara (km/jam)	Kecepatan Aliran Udara (m/s)	Gaya Hambat Udara (gF)	Gaya Hambat Udara (N)	Koefisien drag	Bilangan Reynolds
17.75	4.93	15.86	0.16	1.09	28627.91
22.01	6.11	22.80	0.22	1.02	35492.57
26.26	7.29	30.24	0.30	0.95	42341.69
30.75	8.54	37.53	0.37	0.86	49589.80
34.17	9.49	45.00	0.44	0.84	55106.14
37.39	10.39	54.55	0.53	0.85	60298.56
39.30	10.92	65.37	0.64	0.92	63384.91
41.60	11.55	77.56	0.76	0.97	67083.05

**Gambar IV. 15** Kurva hubungan konstanta *drag* terhadap bilangan Reynolds (*nylon airjet textured fabric*)

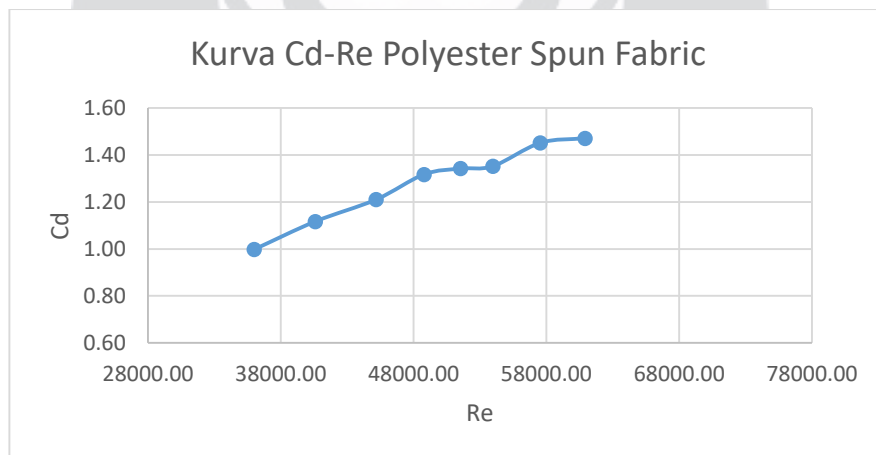
IV.1.4.6 Hasil pengujian sifat aerodinamika *polyester spun fabric*

Kain contoh uji ini (bahan baku *polyester spun yarn*) memiliki spesifikasi porositas optik 17.29%, *fuzzy level* 127.60 mm, dan tinggi relatif *fuzzy* 0.12 mm. Berikut merupakan hasil pengujian sifat aerodinamika pada kain contoh uji ini (Tabel IV.11 dan Gambar IV.16). Dari nilai yang dapat dilihat pada tabel IV.11, kita dapat melihat

kurva hubungan konstanta *drag* – bilangan Reynolds seperti yang dapat dilihat pada gambar IV.16.

Tabel IV. 11 Hasil pengujian sifat aerodinamika *polyester spun fabric*

Kecepatan Aliran Udara (km/jam)	Kecepatan Aliran Udara (m/s)	Gaya Hambat Udara (gF)	Gaya Hambat Udara (N)	Koefisien <i>drag</i>	Bilangan Reynolds
22.32	6.20	22.94	0.22	1.00	35994.76
25.17	6.99	32.65	0.32	1.12	40593.66
28.02	7.78	43.85	0.43	1.21	45185.67
30.25	8.40	55.64	0.55	1.32	48787.70
31.97	8.88	63.29	0.62	1.34	51550.48
33.47	9.30	69.88	0.68	1.35	53968.65
35.69	9.91	85.32	0.84	1.45	57554.22
37.78	10.49	96.93	0.95	1.47	60929.04



Gambar IV. 16 Kurva hubungan konstanta *drag* terhadap bilangan Reynolds (*polyester spun fabric*)

IV.2 Pembahasan

IV.2.1 Kesesuaian sifat aerodinamika ketika diberikan kekasaran permukaan pada model uji terhadap teori

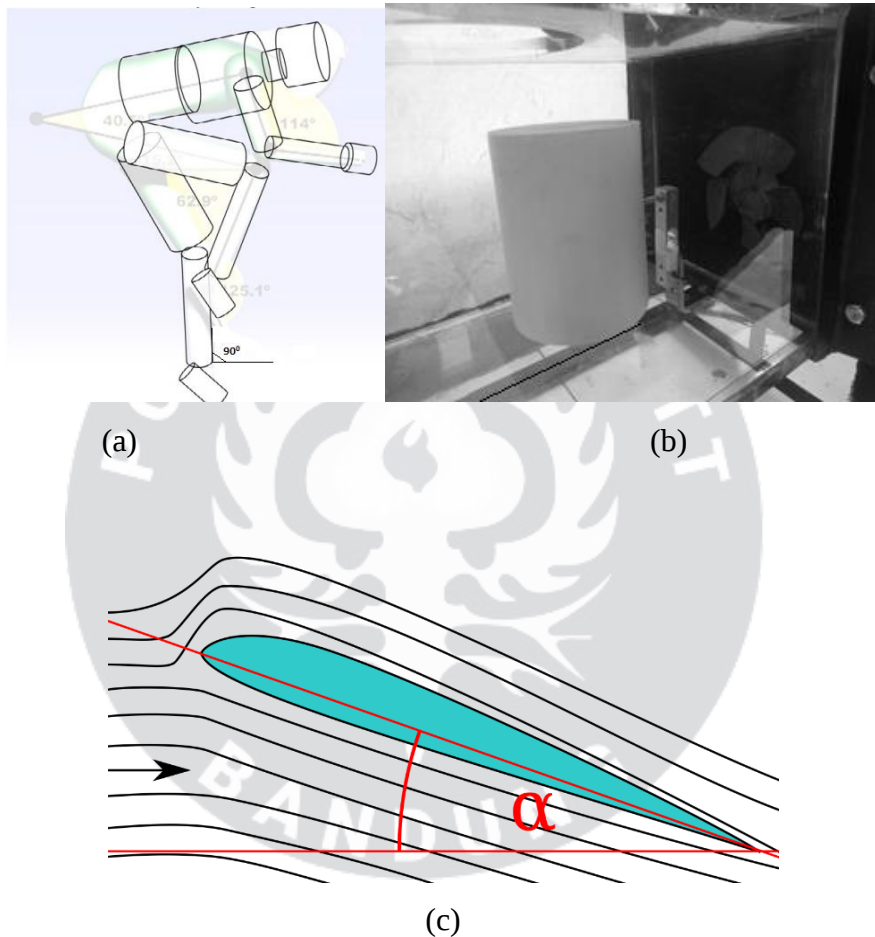
Model uji yang digunakan pada pengujian sifat aerodinamika kain contoh uji adalah berbentuk silinder. Bentuk silinder atau bentuk bola dianggap sebagai *bluff body* dimana hambatan tekanan yang bekerja pada *bluff body* adalah dominan dan mencapai 90% dari total hambatan yang terjadi pada objek/*body*. Dominasi hambatan tekanan pada objek terjadi akibat sudut serang fluida terhadap objek tersebut. Pada penelitian ini, pengujian sifat aerodinamika dilakukan pada sudut serang 90^0 .

Gambar IV.17 memperlihatkan sudut serang dari pesepeda, model uji, dan pada *airfoil*. Kita dapat melihat pada *streamline body*, dengan sudut serang kurang dari 90^0 , kita dapat melihat fluida mengalir dari tempat tinggi ke tempat yang rendah, kemudian kita dapat melihat bahwa *wake* yang terbentuk sangat kecil atau tidak terjadi sama sekali pada daerah belakang objek, hal tersebut dikarenakan lapisan batas di permukaan atas dan bawah hanya mengalami gradien tekanan ringan (bernilai negatif), dan aliran laminar tetap melekat sepanjang *airfoil*. Ketika sudut bertambah, atau seperti pada gambar IV.17 (b), objek berbentuk *bluff body* dan sudut serang sebesar 90^0 , aliran yang mengalir (pada lapisan batas) di sekitar silinder akan mengalami peningkatan gradien tekanan lokal (meningkat menjadi bernilai positif). Peningkatan gradien tekanan akan menyebabkan aliran melambat dan lapisan batas telah kehilangan beberapa momentum serta tidak memiliki cukup momentum untuk mengatasi gaya perlambatan, ketidakmampuan aliran pada lapisan batas untuk mengatasi gaya perlambatan inilah menyebabkan beberapa fluida akan berbalik arah sehingga alirannya terpisah.

Seperti yang telah diketahui, gaya gradien tekanan merupakan gaya yang terbentuk oleh perpindahan massa udara karena beda tekanan udara ($\partial\rho$) dibagi jarak antara dua tekanan (∂n). Secara sistematis, gaya gradien tekanan pada gambar IV.17 (b) dan gambar IV.17 (c), masing-masing berada pada persamaan IV.1 dan persamaan IV.2 sebagai berikut.

$$F_p = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial n} \quad (\text{IV.1})$$

$$F_p = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial n} \quad (\text{IV.2})$$



Gambar IV. 17 (a) sudut serang pada pesepeda; (b) sudut serang 90° pada model uji; (c) sudut serang pada *airfoil* (*streamlined body*)

Perbedaan persamaan matematis pada persamaan IV.1 dan IV.2 adalah tanda minus (-), tanda minus (-) menunjukkan bahwa arah gerak atmosfer selalu dari tekanan tinggi ke tekanan rendah. Apabila sebaliknya (+), maka arah gerak atmosfer dimulai dari tekanan rendah ke tekanan tinggi. Pada persamaan IV.1 nilai gaya gradien tekanan

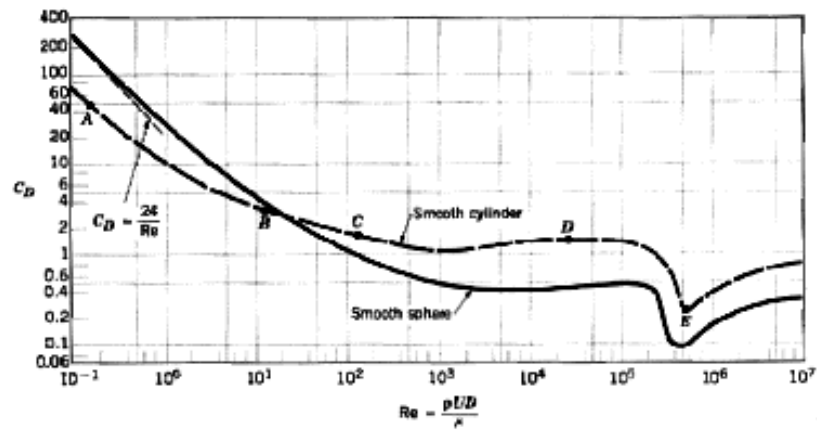
bernilai negatif, artinya terjadi percepatan aliran, dan apabila bernilai positif maka terjadi perlambatan aliran, seperti dapat terlihat pada gambar II.13 halaman II-18.

Lapisan batas laminar memiliki momentum yang lebih kecil daripada lapisan batas turbulen, seperti yang ditunjukkan pada gambar II.14 halaman II-19. Transportasi momentum turbulen sangat efektif untuk mengisi kembali momentum dekat permukaan. Sehingga ketika lapisan batas turbulen memasuki wilayah gradien tekanan yang merugikan, ia dapat bertahan untuk jarak yang lebih jauh tanpa terpisah (dibandingkan dengan aliran laminar). Momentum transportasi aliran laminar dapat bertahan sampai dengan 80° sebelum terseparasi, sedangkan momentum transportasi aliran turbulen dapat bertahan sampai sekitar 120° sebelum terseparasi.

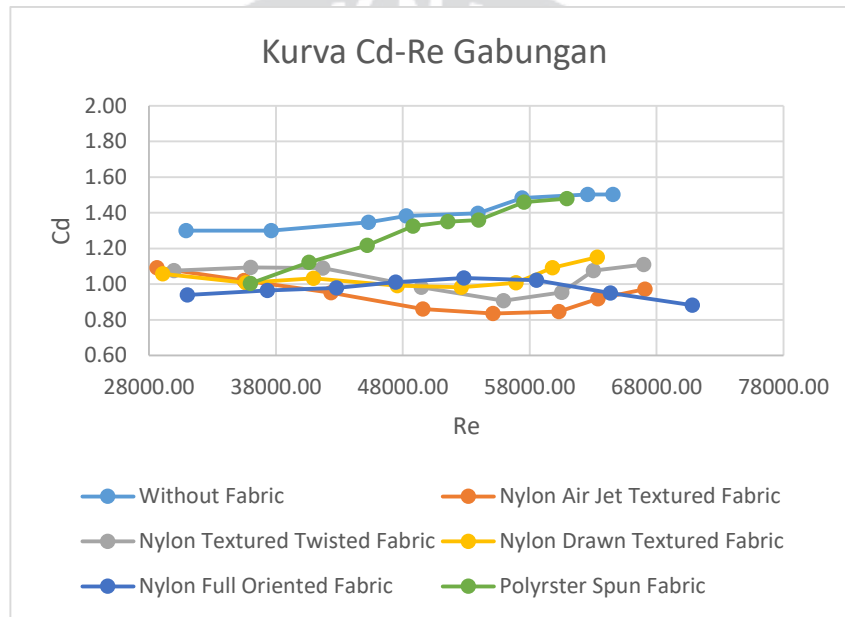
Pada *bluff body* seperti silinder halus, lapisan batas laminar yang mengalir di sekitar objek hanya akan bertahan hingga 80° , kemudian akan terseparasi. Separasi aliran akan menyebabkan lebarnya *wake* sehingga akan meningkatkan daerah tekanan rendah (Gambar II.10 halaman II-16). Perbedaan daerah tekanan tinggi dan daerah tekanan rendah inilah yang akan menyebabkan terjadinya hambatan/*drag*.

Untuk mereduksi hambatan tekanan pada *bluff body* yang terkena fluida, maka perlu dilakukan pengurangan lebar *wake*, sehingga daerah tekanan rendah berkurang. Untuk mengatasi hal tersebut, perlu dilakukan rekayasa aliran pada lapisan batas menjadi berbentuk turbulen (perubahan aliran/transisi), sehingga aliran mengalir lebih jauh tanpa terpisah, hal tersebut akan mempengaruhi ukuran *wake* yang terbentuk, sehingga menyebabkan turunnya *drag* secara dramatis.

Pada penelitian ini, telah berhasil dilakukan rekayasa aliran disekitar silinder yang menyebabkan jatuhnya nilai C_d pada bilangan reynolds yang lebih kecil. Rekayasa aliran dilakukan dengan memberikan kekasaran pada model uji dengan dipasangkan kain contoh uji. Berikut merupakan kurva aliran C_d -Re untuk ke lima sampel dan tanpa sampel serta komparasi dengan teori.



(a)



(b)

Gambar IV. 18 Kurva C_d -Re (a) Teori; (b) Hasil Percobaan

Pada gambar IV.18 (a) diketahui bahwa kurva C_d -Re pada silinder halus dan pada bola halus, kita akan berfokus pada kurva C_d – Re silinder halus yang mana dapat dilihat bahwa kurva C_d – Re pada bilangan Reynolds 10^4 bermilai, nilai konstanta *drag* (C_d) berada di antara 1 dan 2, kurva terlihat cukup stagnan (meskipun mengalami sedikit kenaikan) hingga nilai C_d berada pada bilangan Reynolds 10^5 . Nilai konstanta *drag*

berangsur-angsur turun setelah mencapai nilai bilangan Reynolds 10^5 . Kemudian naik kembali setelah mencapai $\frac{3}{4}$ jalan menuju bilangan Reynolds 10^6 .

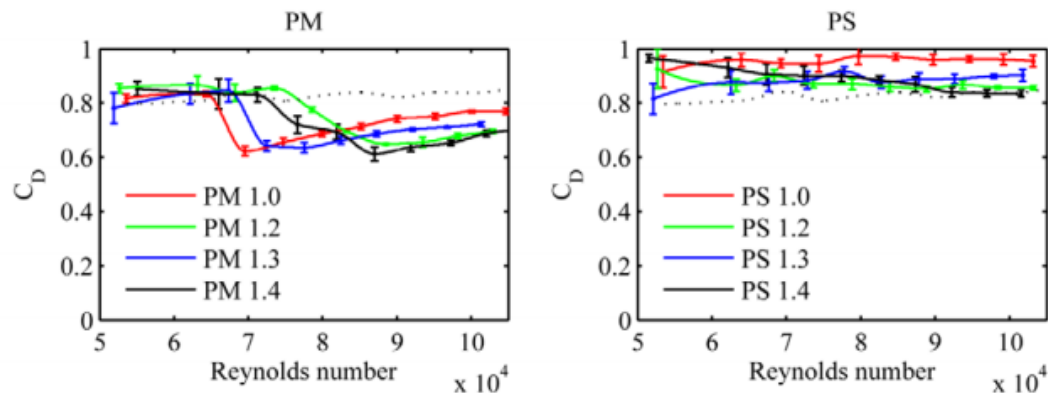
Pada penelitian ini, telah diuji sifat aerodinamika pada silinder halus (model uji tanpa kain), dapat dilihat pada Gambar IV.18 (b) dan data nilai pengujian sifat aerodinamika silinder halus pada Tabel IV.6 halaman IV-13. Pada bilangan Reynolds 3×10^4 hingga $6,4 \times 10^4$ nilai konstanta *drag* dimulai pada 1.3 hingga 1.5. hal ini apabila dibandingkan dengan teori, maka hasil pengujian sifat aerodinamika pada bilangan Reynolds 10^4 adalah serupa dan dibuktikan dengan bentuk kurva $C_d - Re$ berdasarkan teori serta hasil pengujian. Kurva $C_d - Re$ pada gambar IV.18 mengalami kenaikan dan kemudian stagnan. Hasil komparasi hasil pengujian silinder halus dengan teori menunjukkan kurva $C_d - Re$ yang sesuai, artinya aliran serta hambatan yang terjadi pada silinder halus dikatakan sama.

Pada Gambar IV.18 juga dapat dilihat kurva $C_d - Re$ kelima kain contoh uji. Kelima kain contoh uji memiliki nilai porositas yang tidak berbeda signifikan. Hasilnya dapat terlihat bahwa ketika kain contoh uji dipasangkan pada model uji silinder. Menunjukkan pengurangan nilai *drag* secara dramatis. Dengan kata lain, ketika model uji diberikan kekasaran berupa tekstil, dapat menurunkan nilai C_d yang berkorelasi langsung dengan nilai gaya hambat udara.

Lapisan batas pada permukaan depan bola atau silinder adalah laminar pada bilangan Reynolds yang lebih rendah dan berbentuk turbulen pada bilangan Reynolds yang lebih tinggi. Ketika aliran berbentuk laminar ($Re < 100000$) dan ketika turbulen ($Re > 1000000$) (https://www.princXeton.edu/~asmits/Bicycle_web/blunt.html diakses pada 9 Juli 2021). Aliran transisi (jatuhnya nilai *drag*) terjadi akibat perubahan aliran (transisi) dari laminar ke turbulen. Pada Gambar IV.18 dapat dilihat bahwa kekasaran tekstil dapat merubah (transisi) arah laminar ke turbulen ditandai dengan jatuhnya nilai konstanta *drag* meskipun bilangan Reynolds masih berada pada 10^4 .

IV.2.2 Kesesuaian sifat aerodinamika pada bahan baku benang *spun*

Bardal (2013) dalam penelitiannya menguji sifat aerodinamika kain rajut dari bahan baku benang multifilamen dan bahan baku *spun*. Hasil dari penelitian bardal menunjukkan bahwa, pada kain dengan bahan baku benang *spun*, tidak terjadi penurunan nilai *drag* karena adanya *fuzzy* pada permukaan kain. Berikut merupakan hasil penelitian yang dilakukan oleh bardal (2013).



Gambar IV. 19 Kurva C_d -Re kain contoh uji (a) bahan baku benang polyester multifilamen (PM); (b) bahan baku benang poliester spun (Bardal 2013)

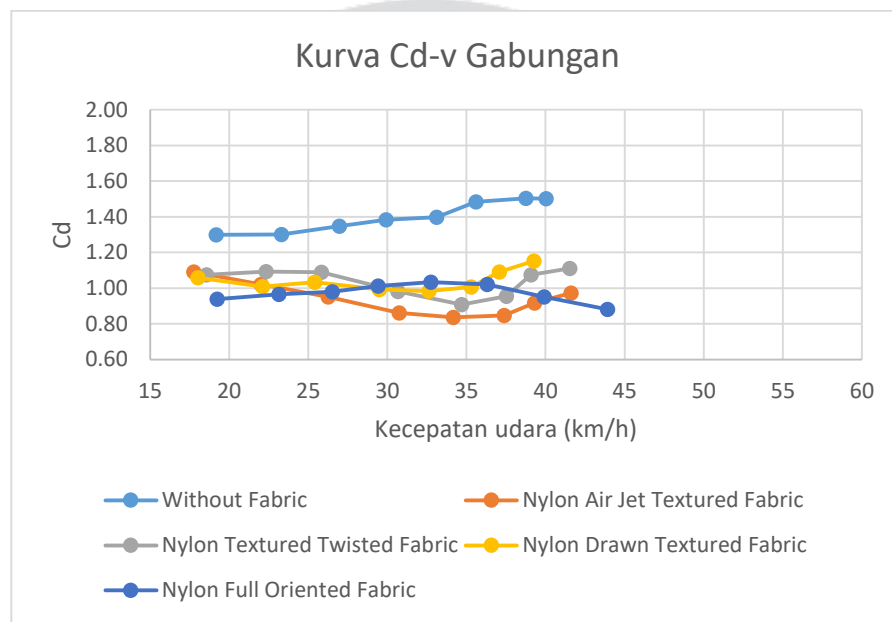
Apabila dikomparasi dengan hasil penelitian ini, seperti yang terlihat pada gambar IV.18 halaman IV-22 pada kurva *polyester spun fabric* dan gambar IV.19 PS, keduanya memiliki persamaan bahwa sifat aerodinamika dari bahan baku spun tidak mengalami penurunan nilai *drag*. Sifat aerodinamika pada bahan baku filamen mpada Gambar IV.19 terlihat mengalami penurunan nilai *drag* meskipun pada penelitian ini tidak dijelaskan mengenai detail bahan baku filamen yang digunakan.

IV.2.3 Pembahasan Sifat Aerodinamika terhadap kain contoh uji (*fuzziness*)

Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian sifat aerodinamika dari bahan baku benang *nylon fully oriented yarn*, *nylon drawn textured yarn*, *nylon textured twisted yarn* dan *nylon airjet textured yarn* dimana telah dicari bahan baku dengan kehalusan semirip mungkin. Keempat bahan baku benang tersebut memiliki struktur geometri

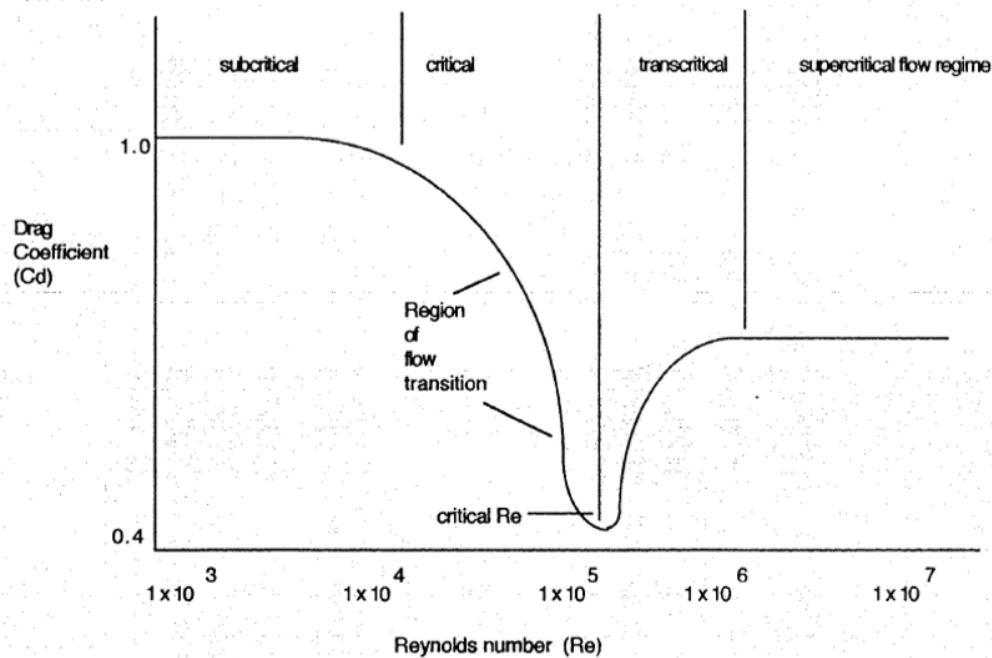
yang berbeda-beda (Gambar IV.1 halaman IV-1). kemudian telah diuji *fuzz level* serta ketinggian maksimum *fuzzy* dengan menggunakan metode analisa gambar, dapat dilihat pada tabel IV.1 halaman IV-6.

Pengujian sifat aerodinamika dari semua kain contoh uji dilakukan dengan kondisi dimana kain contoh uji memiliki nilai porositas optik yang tidak berbeda secara signifikan dengan tingkat kepercayaan 95%, yaitu 16 – 17%. Berikut merupakan hasil pengujian sifat aerodinamika dari keempat bahan baku ditambah dengan silinder halus.



Gambar IV. 20 Kurva C_d -v Gabungan

Pada gambar IV.20 merupakan kurva C_d – kecepatan udara (km/jam), apabila dibandingkan dengan kurva C_d -Re gabungan pada Gambar IV.18 halaman IV-22, maka dapat dilihat bahwa kecenderungannya 100% sama. kurva C_d – kecepatan udara (km/jam) tersebut dibuat agar lebih memudahkan dalam melihat skala kecepatan sehingga dapat dengan mudah disandingkan dengan skala kecepatan olahraga (Gambar IV.22) serta gambar IV.21 adalah gambar kurva C_d -Re serta menjelaskan berbagai daerah pada aliran udara pada silinder halus.

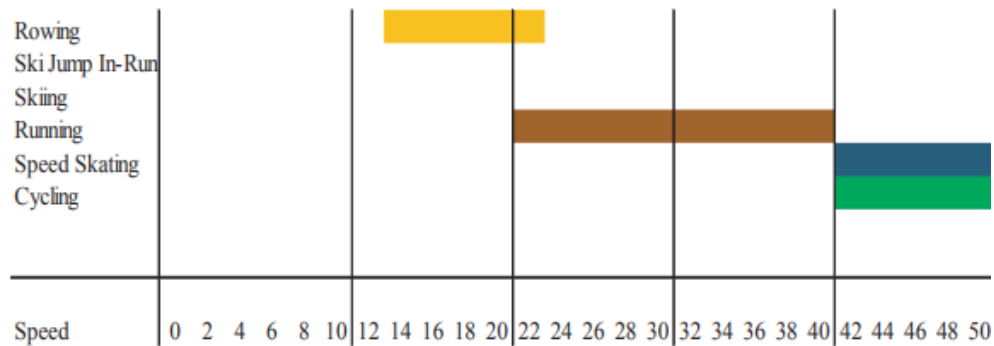


Gambar IV. 21 Hubungan C_d dan Re untuk aliran udara yang mengenai silinder (Achenbach, 1971)

Pada gambar IV.21, Kurva C_d - Re terbagi kedalam 4 bagian, yaitu daerah subcritical, critical, transcritical dan supercritical flow regime. Kurva C_d - Re terbagi ke dalam 4 daerah. Daerah pertama, ketika aliran di sekitar silinder masih berbentuk laminar, daerah ini terdiri dari $Re = 0$ hingga $Re = Re_{CRIT}$. Daerah kedua, ketika aliran mulai berubah menjadi turbulen dan nilai C_d jatuh hingga mencapai nilai minimumnya ($C_{d MIN}$). Daerah kedua terdiri dari $Re = Re_{CRIT}$ hingga $Re = Re_{C_d MIN}$. Pada daerah kedua, bilangan Reynolds dapat didefinisikan sebagai Re_{TRANS} . Daerah ketiga, ketika aliran terlalu turbulen (sempurna) dan nilai C_d mulai meningkat. Daerah ketiga terdiri dari $Re > Re_{C_d MIN}$. Daerah keempat, ketika nilai C_d konstan.

Pada gambar IV.20 halaman IV-25, kain contoh uji yang telah melalui daerah subcritical hingga daerah *critic* nya, serta mulai memasuki daerah *transcritical* adalah contoh uji *nylon drawn textured fabric*, *nylon textured twisted fabric* dan *nylon airjet textured fabric*. Sementara contoh uji *nylon fully oriented fabric*, belum mencapai

daerah kritisnya, ditandai dengan belum ada kenaikan nilai C_d , setelah nilai C_d berada pada nilai C_d min.



Gambar IV. 22 Rata-rata kecepatan olahraga pada rentang kecepatan 0 – 50 km/jam

Pada penelitian ini, kecepatan udara maksimum yang dapat dicapai oleh terowongan angin adalah sebesar 46 km/jam. Pada gambar IV.20 halaman IV-25 dapat dilihat bahwa semua kain dari semua bahan baku benang filamen mengalami reduksi konstanta *drag*. Reduksi konstanta *drag* dari keempat sampel bahan baku benang filamen mencapai 33 – 40% dari nilai C_d silinder halus.

Pengujian sifat aerodinamika dilakukan dengan 8 langkah, dimana langkah terakhir merupakan langkah dimana kecepatan udara maksimum terowongan angin tercapai yaitu 46 km/jam. Pada *stage* ke delapan, perilaku aerodinamika dari contoh uji berbeda-beda. Pada langkah kedelapan, nilai C_d min terkecil diraih oleh *nylon fully oriented fabric* dengan nilai C_d sebesar 0.88 dan kecepatan udara berada pada 43.91 km/jam, diiikuti oleh *nylon airjet textured fabric* dengan nilai C_d sebesar 0.97 dengan kecepatan udara pada 41.6 km/jam, selanjutnya adalah *nylon textured twisted fabric* dengan nilai C_d sebesar 1.11 pada kecepatan udara 41.53 km/jam dan terakhir adalah *nylon drawn textured fabric* dengan nilai C_d sebesar 1.15 pada kecepatan udara 39,27 km/jam.

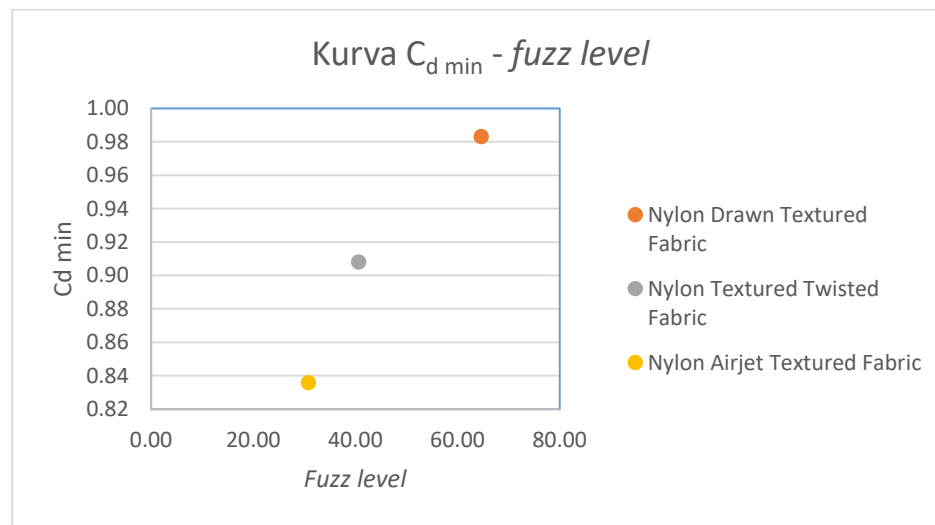
Pada kecepatan rata-rata olahraga bersepeda, kecepatan rata-ratanya dimulai pada kecepatan 41 km/jam. Kain contoh uji yang memasuki nilai rata-rata olahraga bersepeda adalah *nylon fully oriented fabric*, *nylon airjet textured fabric* dan *nylon textured twisted fabric*. Sedangkan *nylon drawn textured fabric* tidak dapat mencapai kecepatan udara 41 km/jam.

Berikut merupakan tabel nilai *fuzzy level*, tinggi relatif *fuzzy*, serta nilai C_d min.

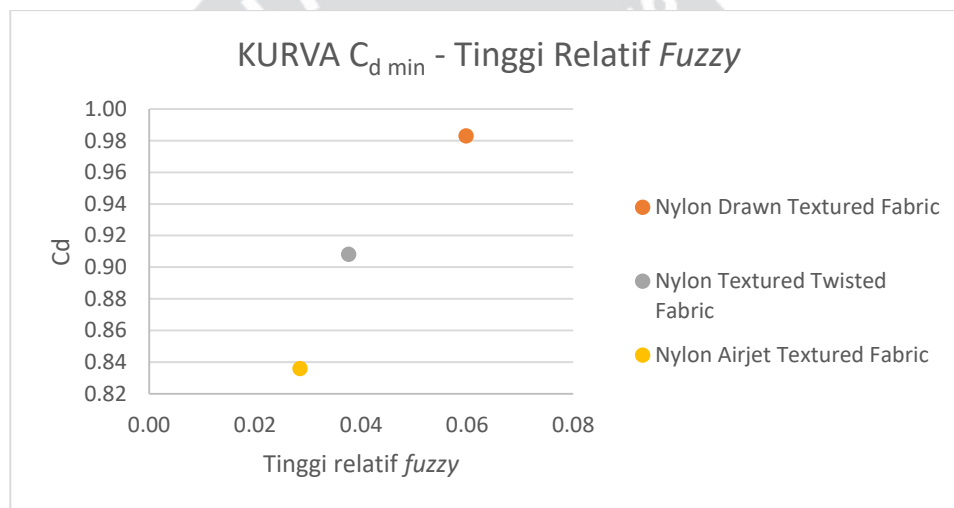
Tabel IV. 12 Perbandingan *fuzz level*, tinggi relatif *fuzzy* kain terhadap C_d minimal

Sampel	<i>fuzz level</i> kain (mm)	tinggi relatif <i>fuzzy</i> (mm)	C_d min
Nylon Fully Oriented Fabric	0.36	0.00	0.88
Nylon Drawn Textured Fabric	64.60	0.06	0.98
Nylon Textured Twisted Fabric	40.62	0.04	0.91
Nylon Airjet Textured Fabric	30.77	0.03	0.84

Gambar IV.23 halaman IV-29 menunjukkan kurva perbandingan *fuzzy level* terhadap nilai kecepatan udara maksimum, serta tinggi relatif *fuzzy* terhadap nilai kecepatan udara maksimum. Nilai *fuzz level* dan tinggi relatif *fuzzy* dari mulai terkecil hingga terbesar masing-masing didapatkan oleh contoh uji *nylon fully oriented fabric*, *nylon airjet textured fabric*, *nylon textured twisted fabric*, *nylon drawn textured fabric* dan terakhir adalah *polyester spun fabric*. Pada tabel IV.12 nilai C_d min didapatkan dari nilai C_d terkecil pada masing-masing contoh uji. C_d min berarti nilai C_d minimal pada bilangan Reynolds kritis, tetapi untuk contoh uji *nylon fully oriented fabric*, nilai C_d min belum tercapai. Sehingga akan diperlihatkan hubungan *fuzz level* dan tinggi relatif *fuzzy* terhadap nilai C_d min untuk bahan baku yang memang sudah mencapai daerah kritis.



(a)



(b)

Gambar IV. 23 Kurva perbandingan C_d min terhadap – (a) *fuzz level*; (b) tinggi relatif *fuzzy*

bahwa hubungan antara *fuzzy level*, ketinggian relatif *fuzzy* memiliki hubungan yang linier, semakin tinggi nilai *fuzz level* dan ketinggian *fuzzy*, maka semakin tinggi pula C_d min yang didapatkan.

Gaya hambat udara didapatkan dari persamaan di bawah ini.

$$D = \frac{1}{2}AC_d\rho V^2 \quad (\text{IV.3})$$

D adalah gaya hambat (N), A adalah luas rujukan (m^2), C_d adalah koefisien *drag* (tidak berdimensi), ρ adalah massa jenis udara (kg.m^{-3}) dan V adalah kecepatan udara (m.s^{-1}).

Pada penelitian ini telah diuji nilai gaya hambat udara pada masing-masing contoh uji. Contoh uji telah dilakukan uji ketebalan kain contoh uji, kemudian nilai ketebalan tersebut sudah ditambahkan sehingga nilai A sudah merupakan luas rujukan model uji dan contoh uji. Pada penelitian ini telah ditemukan bahwa *fuzzy level* dan tinggi relatif *fuzzy* mempengaruhi nilai C_d . *Fuzzy level* dengan tinggi relatif *fuzzy* ini akan menambahkan *frontal area* atau luas rujukan pada model uji dan kain. Pengujian ketebalan kain tidak dapat mengakomodir tinggi *fuzzy* pada permukaan benang dengan menggunakan *thickness gauge*. Pengukuran ketebalan dengan menggunakan *thickness gauge* memberikan efek deformasi karena plat yang menjepit kain (Wijayono, 2017). Sehingga dapat disimpulkan bahwa, *fuzzy level* dengan tinggi relatif *fuzzynya* akan mempengaruhi nilai gaya hambat udara, karena akan menambahkan luas rujukan. Semakin tinggi luas rujukannya, maka semakin tinggi pula gaya hambat yang dihasilkan.

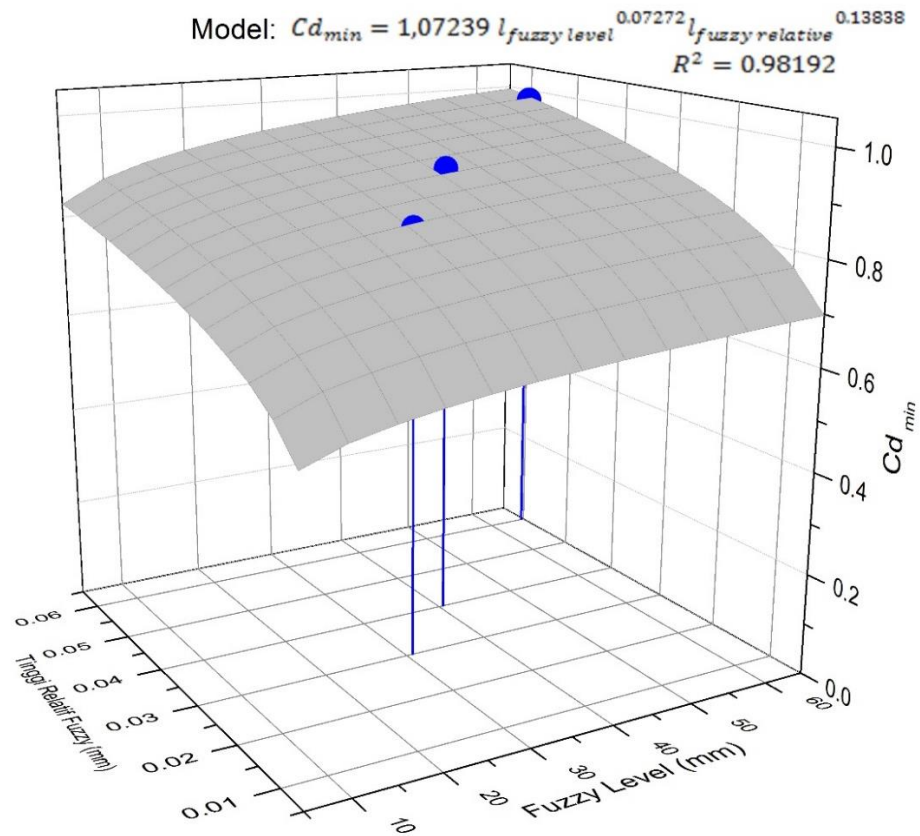
Pada penelitian ini telah diperoleh data hasil pengujian aerodinamika dari sampel, *nylon fully oriented fabric*, *nylon drawn textured fabric*, *nylon textured twisted fabric* dan *nylon airjet textured fabric*, serta sebagai pembandingan telah dibuat pula sampel dari bahan baku *polyester spun fabric*. Masing-masing sampel tersebut memiliki porositas optik yang sama, namun memiliki nilai *fuzzy level* dan tingkat tinggi relatif *fuzzy* yang berbeda. Hsi dkk (sebagaimana dikutip dari Ucar dan Boyrez, 2012) menyampaikan bahwa terdapat 3 hal dalam mengukur *fuzziness* dalam kain, yaitu *fuzzy level* atau *fuzzy density* (banyaknya *fuzzy* dalam satuan panjang tertentu), tinggi *fuzzy*,

dan pemisahan *fuzzy* dalam kain. Pada penelitian ini parameter yang diukur pada *fuzziness* adalah *fuzzy level* dan tinggi relatif *fuzzy*. Pada penelitian Bardal (2013) *fuzziness* kain yang dipengaruhi oleh *yarn fuzziness* mempengaruhi sifat aerodinamika.

Salah satu parameter aerodinamika yang diamati adalah $C_{d \min}$, parameter $C_{d \min}$ merupakan nilai reduksi maksimal yang dapat dicapai oleh suatu bahan. Semakin kecil nilai C_d maka, transisi aliran dari laminar ke turbulen semakin efektif, dan semakin kecil nilai C_d maka semakin mengoptimasi perilaku aerodinamika suatu bahan.

Pada bagian ini telah dirumuskan mengenai pemodelan nilai $C_{d \min}$ sebagai fungsi dari nilai *fuzzy level* (l_{fl}) dan tinggi relatif *fuzzy* (l_{fh}). Tujuan pemodelan ini adalah (1) untuk memahami perilaku hubungan antara parameter nilai *fuzzy level* dan tingkat tinggi relatif *fuzzy* terhadap nilai $C_{d \min}$ dan (2) untuk mengetahui signifikansi pengaruh parameter bebas terhadap variabel terikat sesuai dengan yang telah dijelaskan sebelumnya. Pada penelitian ini telah ditemukan rumus hubungan nilai *fuzzy level* C (l_{fh}) dan tingkat tinggi relatif *fuzzy* (l_{fh}) terhadap nilai $C_{d \min}$ yang menjadi parameter penting pada sifat aerodinamika bahan tekstil.

Rumusan pemodelan hubungan $l_{fuzzy \text{ level}}$ dan $l_{tinggi \text{ relatif fuzzy}}$ terhadap $C_{d \min}$ dapat dilihat pada bagian Lampiran B. Gambar IV.24 menunjukkan grafik pemetaan nilai Z $C_{d \min}$ hasil eksperimen dan model $C_{d \min}$ hasil pemodelan dengan persamaan regresi non-linear. Pada penelitian ini telah diperoleh pemodelan nilai $C_{d \min}$ terhadap nilai *fuzzy level* (l_{fl}) dan nilai tinggi relatif *fuzzy* (l_{fh}) sesuai dengan persamaan $C_{d \min} = 1.07239 l_{fh}^{0.07272} l_{fh}^{0.13838}$. Tabel IV.13 menunjukkan data perhitungan koefisien determinasi nilai $C_{d \min}$ sebagai fungsi *fuzzy level* (l_{fl}) dan tingkat tinggi relatif *fuzzy* (l_{fh}) yang menggambarkan kesesuaian antara model dan hasil eksperimen.



Gambar IV. 24 Pemetaan nilai Cd_{min} hasil eksperimen dan model Cd_{min} hasil pemodelan dengan persamaan regresi non-linear

Tabel IV. 13 Data perhitungan koefisien determinasi nilai Cd_{min} sebagai fungsi *fuzzy level* ($l_{fuzzy\ level}$) dan tingkat tinggi relatif *fuzzy* ($l_{tinggi\ relatif\ fuzzy}$)

Fuzzy Level $l_{fuzzy\ level}$ (mm)	Tinggi Relatif Fuzzy $l_{tinggi\ relatif\ fuzzy}$ (mm)	Nilai Cd_{min} Secara Eksperimen (y_i) (tanpa satuan)	Nilai Cd_{min} Model ($\hat{y}_i$) (tanpa satuan)	$(y_i - \hat{y}_i)^2$	$(y_i - \bar{y})^2$
64,6000	0,0600	0,9800	0.9838	0.00001	0.00490
40,6200	0,0400	0,9100	0.8993	0.00011	0
30,7700	0,0300	0,8400	0.8469	0.00005	0.00490
		$\Sigma = 2.7300$		$\Sigma = 0.00017$	$\Sigma = 0.00980$

Berdasarkan data perhitungan pada Tabel IV.13, dapat dihitung koefisien determinasi (R^2) dari nilai $C_{d \min}$ sebagai fungsi nilai *fuzzy level* (l_{fl}) dan tingkat tinggi relatif *fuzzy* (l_{fh}) terhadap model $C_{d \min}$ non-linear. Telah didapatkan koefisien determinasi (R^2) antara hasil model dan eksperimen sebesar 0,9819, sesuai dengan perhitungan pada persamaan (IV.4). Telah didapatkan nilai koefisien determinasi $R^2 > 0,95$ dengan makna kesesuaian yang sangat baik antara nilai $C_{d \min}$ bahan tekstil dari hasil eksperimen terhadap nilai $C_{d \min}$ secara pemodelan.

$$(R^2) = 1 - \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{0.00017}{0.00980} = 0,9819 \quad (\text{IV.4})$$

Dengan hasil perhitungan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9819, maka diperoleh koefisien korelasi (R) sebesar 0.9909. Hal tersebut menunjukkan makna bahwa parameter nilai *fuzzy level* (l_{fl}) dan tingkat tinggi relatif *fuzzy* (l_{fh}) memiliki pengaruh yang sangat kuat terhadap nilai $C_{d \min}$ bahan tekstil.

BAB V KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah diperoleh pada bagian sebelumnya mengenai studi pengaruh *fuzziness* kain rajut terhadap perilaku aerodinamika untuk penggunaan pakaian olahraga aktif, maka dapat diambil kesimpulan dan saran sebagai berikut.

V.1 Kesimpulan

Dari hasil pengamatan dan pembahasan pada bagian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa:

1. Telah ditemukan pengaruh *fabric fuzziness* terhadap sifat aerodinamika. Pada penelitian ini telah ditemukan bahwa semakin kecil nilai *fabric fuzziness* (*fuzz level* dan tinggi relatif *fuzzy*) maka akan menghasilkan sifat aerodinamika yang lebih baik dibandingkan dengan *fabric fuzziness* yang lebih besar.
2. Telah ditemukan jenis benang filamen yang paling efektif yang digunakan untuk *aerodynamic* pakaian olahraga pada kecepatan rata-rata pesepeda (41 km/jam ke atas) adalah benang *fully oriented* dan pada kecepatan rata-rata pelari jenis benang yang paling baik digunakan adalah *nylon airjet textured yarn*. Keduanya merupakan 2 benang yang memiliki nilai *fuzziness* terkecil di antara benang lainnya.
3. Telah diperoleh informasi bahwa dari keempat perbedaan struktur geometri benang filamen, ke empat-empatnya dapat mereduksi nilai gaya hambat udara, bahkan mencapai 33 – 40% dari nilai gaya hambat silinder halus pada nilai porositas optik yang beragam.
4. Telah diperoleh pemodelan mengenai hubungan *fuzziness* kain rajut terhadap sifat *aerodynamic* pakaian olahraga. Pada penelitian ini telah ditemukan rumus hubungan nilai *fuzzy level* (l_{fl}) dan tinggi relatif *fuzzy* (l_{fh}) terhadap nilai $C_{d\ min}$ yang menjadi parameter penting pada sifat aerodinamika bahan tekstil. Pada penelitian ini telah diperoleh pemodelan nilai $C_{d\ min}$ terhadap nilai *fuzzy level* (l_{fl}) dan tingkat tinggi relatif *fuzzy* (l_{fh}) sesuai rumusan $C_{d\ min} =$

$1.07239 l_{fl}^{0.07272} l_{fh}^{0.13838}$ dengan nilai kesesuaian koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9819 dan koefisien korelasi (R) sebesar 0.9909. Pemodelan ini masih perlu ditinjau kembali mengenai jumlah data yang membangun model tersebut, sehingga perlu ditambahkan jumlah data sehingga model lebih mutakhir. Model yang telah dicapai juga perlu divalidasi pada penelitian-penelitian selanjutnya.

V.2 Saran

Setelah melakukan penelitian, terdapat beberapa hal yang dapat disarankan dan dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Membuat penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh parameter porositas kain rajut terhadap sifat aerodinamika teksil, dengan tujuan untuk (1) menentukan hubungan porositas kain rajut terhadap sifat aerodinamika dan (2) menemukan porositas yang optimum (dapat menghasilkan nilai $C_{d\ min}$ terkecil).
2. Membuat tinjauan lebih lanjut mengenai sifat aerodinamika bahan tekstil pada sudut serang yang berbeda.
3. Membuat tinjauan lebih lanjut mengenai sifat aerodinamika bahan tekstil pada nilai konstanta Reynolds yang lebih besar dari 70000 untuk melihat perilaku aerodinamik pada daerah aliran udara berkecepatan tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Arifuzzaman, Md & Mashud, M 2012, 'Design Construction and Performance Test of a Low Cost Subsonic Terowongan angin', *IOSR Journal of Engineering*, Vol. 2, Issue. 10, PP 83-92.

Atkinson, C 2012, 'False Twist Textured Yarns', *Woodhead Publishing Limited*.

Bardal, L, M, dkk 2013, 'Influence of Fabric Structural Attributes on Their Aerodynamic Behavior', *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, vol. 8, Issue.3

Barlow, J, Rae, W & Pope, A 1999, 'Low-Speed Terowongan angin', *A Wiley Interscience Publication*.

Bell, J, H & Metha R, D 1988, 'Contraction Design for Small Low-Speed Terowongan angins', NASACR- 182747.

Brownlie, L, W 1992, 'Aerodynamic Characteristics of Sports Apparel', Canada : Simon Fraser University.

Chaudhari, S, S, Chitnis, R, S & Ramkrishnan, R 2004, 'Waterproof Breathable Active Sports Wear Fabrics', *Man-made Textiles in India*, 5, 166-171.

Chimeh, M, dkk 2005, 'Characterizing bulkiness and hairiness of air-jet textured yarn using imaging techniques', *Journal of The Textile Institute*, 96:4, 251-255.

Chowdhury, K 2012, 'Aerodynamics of Sports Fabrics and Garments', Melbourne: RMIT University.

Chowdhury, H & Alam, F 2013, 'An experimental investigation on the aerodynamic drag coefficient and surface roughness properties of sport textiles', *The Journal of The Textile Institute*, 105:4, 414-422.

Chu, C, C & Welch, L 1985, 'Characterization of morphologic and mechanical properties of surgical mesh fabrics', *Journal of Biomedical Materials Research*, 19, 903-916.

Hanavan, E, P 1964, 'A mathematical model of the human body, AMRL-TR-64-102, AD-608-463, Aerospace Medical Research Laboratories, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.

Hatch, K, L, dkk 1990, 'In vivo cutaneous and perceived comfort response to fabric, Part I: Thermophysiological comfort determinations for three experimental knit fabrics', *Textile Research Journal*, 60, 405–412.

Hatze, H 1980, 'A mathematical model for the computational determination of parameter values of anthropometric segments', *J. Biomechanics*, 13, 833-843.

Higgins, S, C & Anand, M, E 2003, 'Textiles Materials and Products for Activewear and Sportswear', *Technical Textile Market*, 1st quarter, 9–40.

Hosseini, R, S, A & Toriumi, K 1995, 'Fourier transform analysis of plain weave fabric appearance', *Textile Res. J.*, vol. 65, no. 11, pp. 676-683.

<https://curiositystream.com/?coupon=efficientengineer> (diakses pada 1 juli 2021)

https://id.m.wikipedia.org/wiki/sudut_serang (diakses pada 7 juli 2021)

https://www.princeton.edu/~asmits/Bicycle_web/blunt.html (diakses 9 Juli 2021)

Huang, C, C & Liu, S, C 2001, 'Woven fabric analysis by image processing, part II: Computing the twist angle', *Textile Res. J.*, vol. 71, no. 4, pp. 362 – 366.

Ishtiaque, S, M 2000, 'Engineering comfort, proceedings on smart textiles, their production and market strategies', *NIFT*, New Delhi, India, 58-64.

Jensen, K, L & Carstensen, J, M 2002, 'Fuzz and pills evaluated on knitted textiles by image analysis', *Textile Res. J.*, vol. 72, no. 1, pp. 34 - 38.

Jonathan, Sarwono. 2006. 'Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif', Graha Ilmu, Yogyakarta.

Kianiha, A, Ghane, M & Semnani, D 2009, 'Fuzziness Evaluation of Polyester / Viscose Woven Fabrics Using Image Analysis Method', *RJTA*, Vol. 13 No. 2.

Kyle, C, R, dkk 2004, 'The nike swift spin cycling project: reducing the aerodynamic drag of bicycle racing clothing by using zoned fabrics', *The engineering of sport*, 5(1), 118-124.

Konopov, I, dkk 2010, 'Aerodynamic and comfort characteristics of a double layer knitted fabric assembly for high speed winter sports', *Procedia Engineering*, 2(2), 2837-2843, doi:10.1016/j.proeng.2010.04.075.

Li, Y 1998, 'Clothing comfort and its application', 3rd International Conference, Textile Science 1998 (TEXSCI' 98), Liberec, Czech Republic.

Lord, P, R 2003, 'Handbook of yarn production-Technology, science and economics' Woodhead Publishing Limited.

Manohar, K & Ramkisoorn, R 2015, 'Low Cost Laboratory Built Terowongan angin', *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)* – Vol. 30, No. 4.

Moria, H, Chowdhury, H & Alam, F 2011, 'Microstructures and aerodynamics of commercial swimsuits'. *Procedia Engineering*, 13, 389–394. doi:10.1016/j.proeng.2011.05.103

Moria, H, Chowdhury, H, Alam, F, & Subic, A 2010, 'Comparative aerodynamic analysis of commercial swimsuits', *Sports Technology*, 3(4), 261-267. doi:10.1080/19346182.2012.663536

Oggiano, L 2010, 'Drag reduction and aerodynamic performances in Olympic sports', Trondheim : Norwegian University of Science and Technology.

Oggiano, L, dkk 2013, 'A review on skin suits and sport garment aerodynamics: guidelines and state of the art', *Procedia Engineering*, 60, 91-98.

Oggiano, L, dkk 2009, 'Aerodynamic behaviour of single sport jersey fabrics with different roughness and cover factors'. *Sports Engineering*, 12(1), 1-12. doi:10.1007/s12283-0090029-0

Rae, W & Pope, A 1984, 'Low Speed Terowongan angin Testing', Second edition.

Rognoni, U 1999, 'Polyamide Hollow Fiber for Apparel', *Chemical Fibers Int*, 49(6), p 506.

Saville, B, P 2004, 'Physical testing of textiles', *The Textile Institute*, CRC Press, Woodhead Publishing Limited.

Semnani, D, Latifi, M & Amani, T, M 2005, 'Grading of yarn appearance using image analysis and artificial intelligence technique', *Textile Res. J*, vol. 75, pp. 1 - 10.

Skinkle, J, H 1940, 'Textile testing: Physical, chemical and microscopical', New York: Chemical Publishing.

Spencer, D, J 2001, *Knitting Technology*. Woodhead Publishing Limited.

Ucar, N, Boyraz, P 2005, 'Measurement of fuzz fibers on fabric surface using image analysis methods', *Fibers and Polymers*, vol. 6, no. 1, pp. 79 - 81.

Ucar, N, Ertugrul, S 2007, 'Prediction of fuzz fibers on fabric surface by using Neural Network and regression analysis', *Fibres & Textiles*, vol. 15, no. 2, pp. 58 - 61. Eastern Europe.

Umbach, K, H 1993, 'Aspects of Clothing Physiology in the Development of Sportswear', *Knitting Technique*, 15(3), pp 165-169.

Uttam, D 2013, 'Active Sportswear Fabrics', *International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research*, 2(1), 34-40.

Wardiningsih, W 2009, 'Study of Comfort Properties of Natural and Synthetic Knitted Fabrics in Different Blend Ratios for Winter Active Sportswear', Melbourne : RMIT University.

Wardiningsih, W & Troynikov, O 2012, 'Influence of cover factor on liquid moisture transport performance of bamboo knitted fabrics', *The Journal of The Textile Institute*, Vol. 103, p. 89-98.

Xu, B 1996, 'Identifying fabric structure with fast Fourier transform techniques', *Textile Res. J.*, vol. 66, no. 8, pp. 496-506.

Yao, M, Yu, W, Xu, W, & Xu, B 2008, Evaluating fabric fuzziness using laser range sensing, *Optical Engineering*, 47(1), 013603.

Yeadon, M, R 1990, The simulation of aerial movement-II, A mathematical inertia model of the human body, *J. Biomechanics*, 23, 67-74.

Zdravkovich, M, M 1997, 'Flow around Circular Cylinder Applications', UK: Oxford University Press.

LAMPIRAN



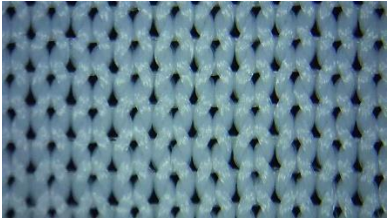
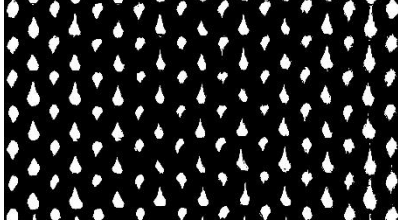
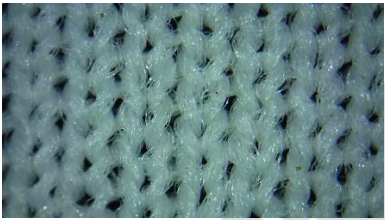
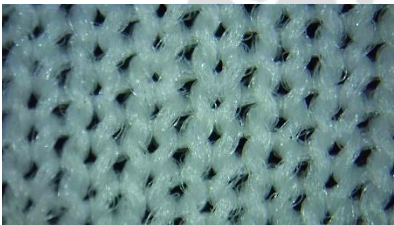
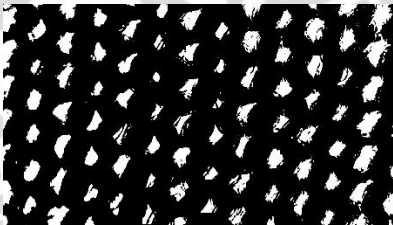
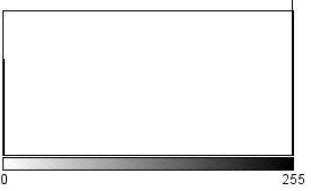
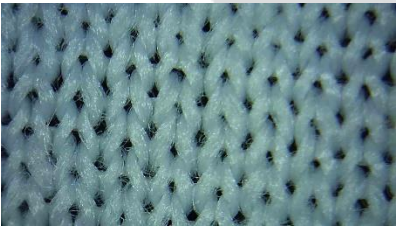
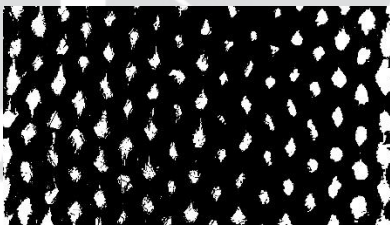
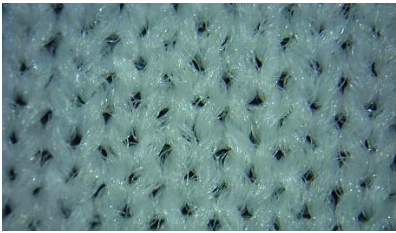
LAMPIRAN A

Lampiran A Pengujian sifat kain

Lampiran A. 1 Pengujian ketebalan kain

No	Gambar Pengujian	Suhu ± 2°C	RH ± 4 (%)	KETEBALAN (MM)				
				NFOF	NDTF	NTTF	NATF	PSPF
1		27	65	0.424	0.487	0.440	0.442	0.500
2				0.415	0.492	0.451	0.422	0.511
3				0.419	0.480	0.450	0.427	0.492
4				0.419	0.490	0.460	0.431	0.502
5				0.411	0.495	0.450	0.419	0.540
Rata-rata				0.418	0.489	0.450	0.428	0.509
Standar Deviasi				0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
cv (%)				1.17	1.17	1.57	2.10	3.65

Lampiran A. 2 Gambar langkah pengujian porositas optik

Sampel	Gambar Mentah	Gambar Binary	Gambar Histogram
NFOF			 Count: 2073600 Min: 0 Mean: 214.223 Max: 255 StdDev: 93.463 Mode: 255 (1742012)
NDTF			 Count: 2073600 Min: 0 Mean: 209.610 Max: 255 StdDev: 97.541 Mode: 255 (1704498)
NTTF			 Count: 2073600 Min: 0 Mean: 211.557 Max: 255 StdDev: 95.868 Mode: 255 (1720331)
NATF			 Count: 2073600 Min: 0 Mean: 213.203 Max: 255 StdDev: 94.399 Mode: 255 (1733718)
PSPF			 Count: 2073600 Min: 0 Mean: 216.438 Max: 255 StdDev: 91.358 Mode: 255 (1760026)

Porositas optik ditentukan berdasarkan formula di bawah

$$\text{Porositas optik} = \frac{\text{piksel putih}}{\text{piksel putih} + \text{piksel hitam}} \times 100\%$$

Lampiran A. 3 Data pengujian porositas optik *nylon fully oriented fabric*

Pegujian ke	piksel hitam	piksel putih	porositas optik (%)
1	1742012	334288	16.10
2	1720477	355823	17.14
3	1710862	365438	17.60
4	1761615	314685	15.16
5	1722470	353830	17.04
6	1692184	384116	18.50
7	1714157	362143	17.44
8	1761959	314341	15.14
9	1724095	352205	16.96
10	1752760	323540	15.58
11	1713662	362638	17.47
12	1769026	307274	14.80
13	1716866	359434	17.31
14	1715664	360636	17.37
15	1729671	346629	16.69
16	1727489	348811	16.80
17	1756893	319407	15.38
18	1711123	365177	17.59
19	1738011	338289	16.29
20	1746425	329875	15.89
Rata-rata			16.61

Lampiran A. 4 Data pengujian porositas optik *nylon drawn textured fabric*

Pegujian ke	piksel hitam	piksel putih	porositas optik (%)
1	1704498	371802	17.91
2	1718929	357371	17.21
3	1751939	324361	15.62
4	1743402	332898	16.03
5	1740391	335909	16.18
6	1740823	335477	16.16
7	1706126	370174	17.83
8	1693756	382544	18.42
9	1708014	368286	17.74
10	1702473	373827	18.00
11	1730721	345579	16.64
12	1726324	349976	16.86
13	1711428	364872	17.57
14	1738480	337820	16.27
15	1696681	379619	18.28
16	1759103	317197	15.28
17	1695015	381285	18.36
18	1742104	334196	16.10
19	1748868	327432	15.77
20	1738230	338070	16.28
Rata-rata			16.93

Lampiran A. 5 Data pengujian porositas optik *nylon textured twisted fabric*

Pegujian ke	piksel hitam	piksel putih	porositas optik (%)
1	1720331	355969	17.14
2	1722917	353383	17.02
3	1742339	333961	16.08
4	1707844	368456	17.75
5	1705391	370909	17.86
6	1721298	355002	17.10
7	1749362	326938	15.75
8	1728253	348047	16.76
9	1788623	287677	13.86
10	1766057	310243	14.94
11	1767412	308888	14.88
12	1749958	326342	15.72
13	1692184	384116	18.50
14	1761002	315298	15.19
15	1741645	334655	16.12
16	1692184	384116	18.50
17	1760026	316274	15.23
18	1747733	328567	15.82
19	1766428	309872	14.92
20	1749076	327224	15.76
Rata-rata			16.25

Lampiran A. 6 Data pengujian porositas optik *nylon air jet textured yarn*

Pegujian ke	piksel hitam	piksel putih	porositas optik (%)
1	1733718	342582	16.50
2	1728567	347733	16.75
3	1734912	341388	16.44
4	1757210	319090	15.37
5	1739968	336332	16.20
6	1729421	346879	16.71
7	1678584	397716	19.16
8	1794314	281986	13.58
9	1709665	366635	17.66
10	1710413	365887	17.62
11	1717762	358538	17.27
12	1756639	319661	15.40
13	1732283	344017	16.57
14	1692184	384116	18.50
15	1739850	336450	16.20
16	1646823	429477	20.68
17	1655314	420986	20.28
18	1681387	394913	19.02
19	1762083	314217	15.13
20	1691540	384760	18.53
Rata-rata			17.18

Lampiran A. 7 Data pengujian porositas optik *polyester spun fabric*

Pegujian ke	piksel hitam	piksel putih	porositas optik (%)
1	1760002	316298	15.23
2	1741645	334655	16.12
3	1730721	345579	16.64
4	1726324	349976	16.86
5	1711428	364872	17.57
6	1692184	384116	18.50
7	1646823	429477	20.68
8	1655314	420986	20.28
9	1678584	397716	19.16
10	1692184	384116	18.50
11	1709665	366635	17.66
12	1710413	365887	17.62
13	1717762	358538	17.27
14	1756639	319661	15.40
15	1732283	344017	16.57
16	1646823	429477	20.68
17	1655314	420986	20.28
18	1740391	335909	16.18
19	1740823	335477	16.16
20	1706126	370174	17.83
Rata-rata			17.29

Lampiran A. 8 Uji normalitas dan homogenitas porositas optik pada 5 sampel uji**Tests of Normality**

	JenisBenang	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Porositas	NFO1	.134	20	.200*	.947	20	.320
	NDT1	.188	20	.063	.921	20	.104
	NTT1	.139	20	.200*	.958	20	.503
	NAT1	.145	20	.200*	.974	20	.835
	PSP1	.115	20	.200*	.937	20	.214

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Dasar pengambilan keputusan :

Jika nilai sig. > 0.05 maka data berdistribusi normal

Jika nilai sig. < 0.05 maka data berdistribusi tidak normal

Dapat dilihat bahwa dari ke lima sampel kain uji, nilai sig. pada Kolmogorov smirnov dan Saphiro wilk lebih dari 0.05, maka distribusi data porositas optik kesemua sampel berdistribusi normal.

Lampiran A.8 Uji normalitas dan homogenitas porositas optik pada 5 sampel uji**Test of Homogeneity of Variances**

Porositas

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.893	4	95	.118

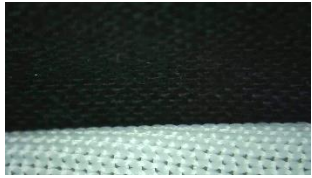
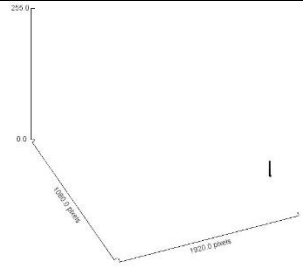
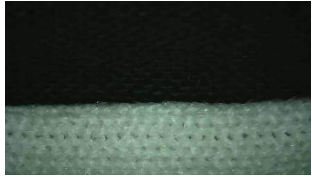
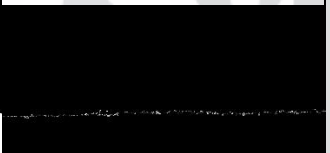
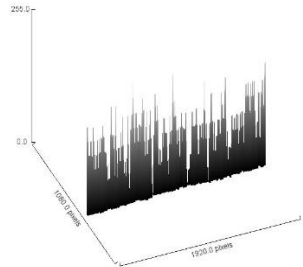
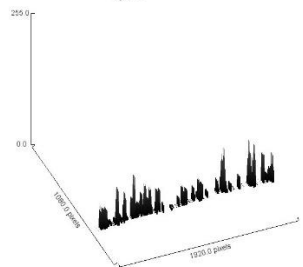
Dasar pengambilan keputusan :

Jika nilai sig. > 0.05 maka data homogen

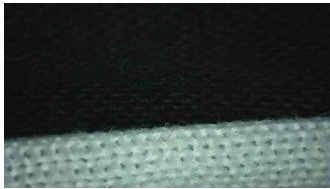
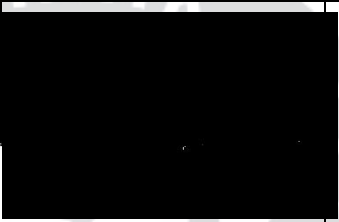
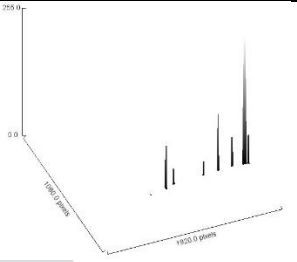
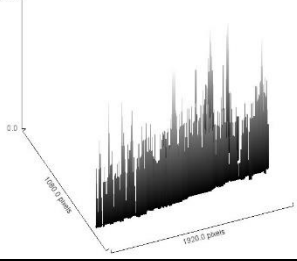
Jika nilai sig. < 0.05 maka data tidak homogen

Dapat dilihat bahwa nilai sig. dari tabel **Test of Homogeneity of Variances** bernilai lebih dari 0.05, maka diasumsikan varians data homogen.

Lampiran A. 9 Gambar langkah pengujian *fuzzy level* dan tinggi relatif *fuzzy*

Sampel	Gambar Mentah	Gambar Binary	Gambar Fuzziness	Gambar 3D Permukaan fuzziness	Gambar Histogram
NFOF					 Count: 2073600 Mean: 0.000317 StdDev: 0.251 Min: 0 Max: 255 Mode: 0 (2073571)
NDTF					 Count: 2073600 Mean: 0.630 StdDev: 12.294 Min: 0 Max: 255 Mode: 0 (2059899)
NTTF					 Count: 2073600 Mean: 0.578 StdDev: 11.742 Min: 0 Max: 255 Mode: 0 (2059786)

Lampiran A.9 Gambar langkah pengujian *fuzzy level* dan tinggi relatif *fuzzy* (lanjutan)

Sampel	Gambar Mentah	Gambar Binary	Gambar Fuzziness	Gambar 3D Permukaan fuzziness	Gambar Histogram
NATF					 Count: 2073600 Min: 0 Mean: 0.0408 Max: 255 StdDev: 3.175 Mode: 0 (2072836)
PSPF					 Count: 2073600 Min: 0 Mean: 1.082 Max: 255 StdDev: 16.000 Mode: 0 (2046476)

Lampiran A. 10 Data pengujian *fuzzy level* dan tinggi relatif *fuzzy*

Sampel	Piksel Hitam	Piksel Putih	Rata-Rata Piksel Putih	Standar Deviasi	Koefisien Variasi (%)	Fuzzy Level	Tinggi Relatif Fuzzy (piksel)	Tinggi Relatif Fuzzy (mm)
NFOF	2073571.00	29.00	74.00	45.00	0.61	0.36	0.07	0.00
	2073481.00	119.00						
	2073526.00	74.00						
NDTF	2059899.00	13701.00	13423.50	277.50	0.02	64.60	12.43	0.06
	2060454.00	13146.00						
	2060176.50	13423.50						
NTTF	2059786.00	13814.00	8440.00	5374.00	0.64	40.62	7.81	0.04
	2070534.00	3066.00						
	2065160.00	8440.00						
NATF	2072836.00	764.00	6393.00	5629.00	0.88	30.77	5.92	0.03
	2061578.00	12022.00						
	2067207.00	6393.00						
PSPF	2046046.00	27554.00	26516.00	1038.00	0.04	127.60	24.55	0.12
	2048122.00	25478.00						
	2047084.00	26516.00						

Diketahui : 1 mm = 207.8 piksel
 lebar gambar = 1080 piksel

Perhitungan *fuzzy level* : $fuzzy\ level = \frac{piksel\ putih}{piksel/mm}$

Perhitungan tinggi relatif *fuzzy* : $tinggi\ relatif\ fuzzy = \frac{piksel\ putih}{piksel\ lebar\ gambar/207.8}$

LAMPIRAN B

Lampiran B Aerodinamika

Lampiran B. 1 Tabel nilai viskositas dinamik dan kinematik

Temperature [°C]	Dynamic Viscosity				Kinematic Viscosity	
	[μPa s], [N s/m ² *10 ⁻⁶]	[cP], [mPa s]	[lb _f s/ft ² *10 ⁻⁶]	[lb _m /ft h]	[cSt], [m ² /s *10 ⁻⁶]	[ft ² /s*10 ⁻⁴]
-75	13.18	0.01318	0.2753	0.03188	7.40	0.796
-50	14.56	0.01456	0.3041	0.03523	9.22	0.992
-25	15.88	0.01588	0.3317	0.03842	11.18	1.203
-15	16.40	0.01640	0.3425	0.03966	12.01	1.292
-10	16.65	0.01665	0.3477	0.04028	12.43	1.338
-5	16.90	0.01690	0.3530	0.04089	12.85	1.383
0	17.15	0.01715	0.3582	0.04149	13.28	1.430
5	17.40	0.01740	0.3633	0.04209	13.72	1.477
10	17.64	0.01764	0.3685	0.04268	14.16	1.524
15	17.89	0.01789	0.3735	0.04327	14.61	1.573
20	18.13	0.01813	0.3786	0.04385	15.06	1.621

Lampiran B. 2 Tabel nilai viskositas dinamik dan kinematik (lanjutan)

Temperature		Dynamic Viscosity			Kinematic Viscosity	
[°C]	$[\mu\text{Pa s}],$ $[\text{N s/m}^2 * 10^{-6}]$	[cP], [mPa s]	$[\text{lb}_f \text{ s/ft}^2 * 10^{-6}]$	$[\text{lb}_m / \text{ft h}]$	[cSt], [m ² /s * 10 ⁻⁶]	$[\text{ft}^2/\text{s} * 10^{-4}]$
25	18.37	0.01837	0.3836	0.04443	15.52	1.671
30	18.60	0.01860	0.3885	0.04500	15.98	1.7s\x20
40	19.07	0.01907	0.3983	0.04614	16.92	1.822
50	19.53	0.01953	0.4080	0.04725	17.88	1.925
60	19.99	0.01999	0.4175	0.04835	18.86	2.030
80	20.88	0.02088	0.4361	0.05051	20.88	2.248
100	21.74	0.02174	0.4541	0.05260	22.97	2.473
125	22.79	0.02279	0.4760	0.05513	25.69	2.765
150	23.80	0.02380	0.4971	0.05758	28.51	3.069

Lampiran B. 3 Tabel nilai viskositas dinamik dan kinematik (lanjutan)

Temperature [°C]	Dynamic Viscosity				Kinematic Viscosity	
	[$\mu\text{Pa s}$], [$\text{N s/m}^2 * 10^{-6}$]	[cP], [mPa s]	[$\text{lb}_f \text{ s/ft}^2 * 10^{-6}$]	[$\text{lb}_m / \text{ft h}$]	[cSt], [$\text{m}^2/\text{s} * 10^{-6}$]	[$\text{ft}^2/\text{s} * 10^{-4}$]
175	24.78	0.02478	0.5176	0.05995	31.44	3.384
200	25.73	0.02573	0.5374	0.06225	34.47	3.710
300	29.28	0.02928	0.6115	0.07083	47.54	5.117
412	32.87	0.03287	0.6865	0.07952	63.82	6.869
500	35.47	0.03547	0.7409	0.08581	77.72	8.366
600	38.25	0.03825	0.7988	0.09252	94.62	10.19
700	40.85	0.04085	0.8532	0.09883	112.6	12.12
800	43.32	0.04332	0.9047	0.1048	131.7	14.17
900	45.66	0.04566	0.9535	0.1104	151.7	16.33
1000	47.88	0.04788	1.000	0.1158	172.7	18.59

- $1 \text{ kg}/(\text{m s}) = 1 (\text{N s})/\text{m}^2 = 1 \text{ Pa s} = 10 \text{ P} = 1000 \text{ cP} = 0.672197 \text{ lb}/(\text{ft s}) = 2419.09 \text{ lb}/(\text{ft h})$

Lampiran B. 4 Pemodelan nilai $C_{d \min}$ sebagai fungsi dari parameter nilai *fuzzy level* dan *tinggi relatif fuzzy*

Pada pemodelan ini telah diuraikan hubungan $C_{d \min}$ Sebagai Fungsi Dari Parameter Nilai *Fuzzy Level* & *Tingkat Tinggi Relatif Fuzzy* pada bahan tekstil menggunakan metode fitting data sesuai dengan model pada persamaan (B.1).

$$Cd_{min} = a l_{fuzzy \ level}^b l_{fuzzy \ relative}^c \quad (B.1)$$

Nilai a , b dan c adalah suatu konstanta tertentu yang didapatkan melalui metode optimasi. Parameter yang digunakan yaitu $l_{fuzzy \ level}$, $l_{fuzzy \ relative}$ dan Cd_{min} . Untuk mendapatkan hasil persamaan (A.1) dimodelkan dalam perhitungan sesuai pada persamaan (B.4):

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \hat{y}_i &= a_o + a_1 \sum x_{i1} + a_2 \sum x_{i2} + a_3 \sum x_{i3} \\ \hat{y}_1 &= a_o + a_1 x_{11} + a_2 x_{12} + a_3 x_{13} \\ \hat{y}_2 &= a_o + a_1 x_{21} + a_2 x_{22} + a_3 x_{23} \\ \hat{y}_n &= a_o + a_1 x_{n1} + a_2 x_{n2} + a_3 x_{n3} \end{aligned} \quad (B.2)$$

$$\begin{pmatrix} \hat{y}_1 \\ \vdots \\ \hat{y}_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \dots & x_{1k} \\ 1 & \ddots & \vdots \\ 1 & \dots & x_{nk} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ \vdots \\ a_k \end{pmatrix} \quad (B.3)$$

$$\begin{aligned} \hat{y}_i &= x_{ik} a_k \\ \hat{\mathbf{y}} &= \mathbf{Xa} \end{aligned} \quad (B.4)$$

Selisih antara data eksperimen dengan data prediksi pemodelan disebut sebagai error ϵ dan memiliki nilai sebesar berikut:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) = \epsilon \quad (B.5)$$

Jika persamaan (A.5) dikuadratkan, maka akan menghasilkan persamaan (A.6).

$$\epsilon^T \epsilon = \epsilon^2 = L \quad (\text{B.6})$$

Untuk mencari nilai a maka dapat dilakukan optimasi melalui diferensial persamaan (A.7) terhadap a .

$$L = \epsilon^T \epsilon = \sum (y_i - \hat{y}_i)^T (y_i - \hat{y}_i) \quad (\text{B.7})$$

$$\begin{aligned} L = \epsilon^T \epsilon &= (y - Xa)^T (y - Xa) = (y^T - a^T X^T)(y - Xa) \\ &= y^T y - y^T Xa - a^T X^T y + a^T X^T Xa \\ &= y^T y - y^T Xa - (y^T Xa)^T + a^T X^T Xa \end{aligned} \quad (\text{B.8})$$

$$\begin{aligned} \frac{dL}{da} &= \frac{d}{da} (y^T y - y^T Xa - (y^T Xa)^T + a^T X^T Xa) \\ &= -2y^T X + 2a^T X^T X = 0 \end{aligned} \quad (\text{B.9})$$

$$\begin{aligned} 2y^T X &= 2a^T X^T X \\ a^T X^T X &= y^T X \text{ dengan } a^T = (X^T X)^{-1} y^T X \end{aligned} \quad (\text{B.10})$$

$$(a^T X^T X)^T = (y^T X)^T \quad (\text{B.11})$$

$$(X^T X)a = X^T y \quad (\text{B.12})$$

$$a = (X^T X)^{-1} X^T y \quad (\text{B.13})$$

$$\begin{aligned} \hat{y} &= Xa \\ &= X(X^T X)^{-1} X^T y \end{aligned} \quad (\text{B.14})$$

Persamaan (A.14) digunakan untuk menyelesaikan persamaan eksponensial tersebut serta mengacu pada persamaan (A.3) maka dapat dituliskan seperti pada persamaan (A.15) dan (A.16) di bawah ini.

$$Cd_{min} = a l_{fuzzy\ level}^b l_{fuzzy\ relative}^c \quad (\text{B.15})$$

$$\ln Cd_{min} = \ln a + b \ln l_{fuzzy\ level} + c \ln l_{fuzzy\ relative} \quad (\text{B.16})$$

$$Y = A + BX_1 + CX_2 \quad (\text{B.17})$$

$$\begin{pmatrix} \hat{y}_1 \\ \hat{y}_2 \\ \hat{y}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \ln(64.6) & \ln(0.06) \\ 1 & \ln(40.62) & \ln(0.04) \\ 1 & \ln(30.77) & \ln(0.03) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} \quad (\text{B.18})$$

Dengan menggunakan pemrograman MATLAB maka didapatkan persamaan (A.19) dengan $a = e^A$ dan seterusnya.

$$Cd_{min} = 1.07239 l_{fuzzy\ level}^{0.07272} l_{fuzzy\ relative}^{0.13838} \quad (\text{B.19})$$

