

BAB II TINJAUAN LITERATUR

II.1 Pakaian Olahraga

Tekstil Teknik adalah material tekstil dan produk manufaktur yang mengutamakan sifat teknis dan performa dari pada sifat estetikanya. Pakaian olahraga termasuk kedalam kategori yang disebut *sporttech*, yang merupakan salah satu aplikasi dari tekstil teknik (Anand & Horrocks sebagaimana dikutip dalam Wardiningsih, 2009).

Terdapat dua jenis pakaian olahraga, yaitu pakaian olahraga aktif dan *leisurewear*. Pakaian olahraga aktif adalah pakaian olahraga yang digunakan oleh atlet/profesional, sedangkan *leisurewear* adalah pakaian yang digunakan pada waktu senggang. Berikut Tabel II.1 merupakan perbedaan kondisi pakaian olahraga aktif dan *leisure*.

Tabel II. 1 Perbedaan kondisi pakaian olahraga aktif dan *leisure* (Umbach, 1993)

No.	Olahraga	Kondisi marginal
1.	Aktif	Performa fisik maksimum, penggunaan pakaian olahraga yang singkat, dan kondisi iklim yang konstan
2.	<i>Leisure</i>	Performa fisik tidak maksimum, penggunaan pakaian olahraga yang lama, kondisi iklim yang bervariasi

Secara praktis pakaian olahraga aktif harus selalu menghasilkan performa fisik yang maksimum, penggunaan yang singkat hanya ketika bertanding saja sehingga kondisi iklim yang mengenai pakaian cukup konstan, sedangkan *leisurewear* performa fisik maksimum pakaiannya tidak selalu dicapai karena diselingi dengan beristirahat, penggunaan pakaian olahraga yang lama (bahkan sepanjang hari) sehingga kondisi iklim yang mengenai pakaian bervariasi. Sehingga pakaian olahraga *leisure* harus memiliki skala kontrol yang besar dari pada untuk pakaian olahraga aktif, dengan kata lain pakaian yang cocok untuk *active sportsman* belum tentu cocok untuk *leisure sportsman*.

Secara umum pakaian harus memiliki sifat *ultra breathable*, *moisture management*, ringan, sifat cepat kering dan elastis (Uttam, 2013). Ishtiaque (2000) menyebutkan Beberapa aspek yang berbeda yang harus dipertimbangkan ketika merancang pakaian olahraga, yaitu :

1. Memiliki fungsi melindungi dari cuaca yang merugikan (angin, hujan, salju dll)
2. Memiliki fungsi kenyamanan bagi pemakainya (kenyamanan termofisiologi, kenyamanan indra kulit, kenyamanan ergonomis)
3. Memiliki fungsi latihan untuk membantu meningkatkan performa atlet dan pencapaian targetnya
4. Memiliki fungsi fashion dan estetika

Secara umum deskripsi dari fungsi pakaian olahraga yang ingin dicapai dapat dilihat pada Tabel II.2.

Tabel II. 2 Fungsi-fungsi pakaian olahraga (Ishtiaque 2000)

No.	Fungsi	Deskripsi
1.	Performa <i>Heat Transport</i>	Menjaga temperatur tubuh selama aktivitas olahraga. Sifat perpindahan panas kain memungkinkan membuat atlet merasakan lebih dingin ketika panas dan lebih hangat ketika dingin. Udara yang terperangkap pada kain akan mempengaruhi sifat perpindahan panas pada pakaian olahraga.
2.	Performa transportasi kelembaban	Dengan merubah penampang melintang serat dan dengan menggunakan kimia tertentu; kain dapat dibuat memiliki sifat transportasi kelembaban yang tinggi. Seperti menjaga tubuh tetap kering dengan memindahkan kelembaban dari permukaan tubuh ke lingkungan.
3.	Performa Antistatik	Kain pakaian olahraga memiliki konduktivitas yang tinggi, sehingga dapat mendisipasi muatan listrik
4.	Performa antimikroba	Menjaga level normal dari bakteri pada kulit memberikan kenyamanan dan kebersihan, khususnya selama aktivitas olahraga
5.	Proteksi Ultraviolet	Pakaian olahraga dapat melindungi dari paparan UV-A dan UV-B yang berbahaya pada kulit

Tidak hanya secara umum, secara khusus pakaian olahraga juga memiliki persyaratan khusus guna memenuhi fungsi meningkatkan performa atlet dan pencapaian targetnya. Persyaratan atau kebutuhan khusus ini akan berbeda pada setiap disiplin olahraga bergantung pada medan, iklim serta level aktivitasnya. Kebutuhan atau persyaratan khusus yang dibutuhkan oleh berbagai disiplin olahraga terdapat pada Tabel II.3.

Tabel II. 3 Kebutuhan khusus pada pakaian olahraga (Ishtiaque 2000)

No.	Pakaian Olahraga	Fungsi yang dibutuhkan
1.	<i>tennis, volleyball, golf, football, rugby, baseball, tracksuit</i>	Penyerapan keringat, cepat kering, mendinginkan
2.	<i>Skiwear, wind breakers, rain wear</i>	Permeabilitas uap, tahan air
3.	<i>Skiwear, wind breakers, tracksuit</i>	Menyerap dan menyimpan panas
4.	<i>Swimming race, skating, ski jump, downhill skiing suits, cycling</i>	Hambatan Fluida yang rendah (udara maupun air)
5.	<i>Swimwear, leotards, skating</i>	Kemampuan meregang, <i>opacity</i>
6.	<i>Skiwear, snowboard wear, football dan baseball</i>	Kekuatan tarik tinggi, Tahan abrasi

II.1.1 Material dan Jenis Kain untuk Pakaian Olahraga

Pakaian olahraga yang memiliki kebutuhan yang kompleks dalam hal sifat termal, kenyamanan dan sifat khusus lainnya akan sulit tercapai dengan hanya struktur sederhana apapun jenis materialnya. Pendekatan-pendekatan seperti penggunaan material, konstruksi serta kehadiran perlakuan kimia merupakan usaha-usaha dalam rangka mencapai persyaratan yang kompleks pada pakaian olahraga. Salah satu hal yang sangat mempengaruhi pakaian olahraga adalah jenis serat pembentuk kain/pakaian olahraga itu sendiri, karena perilaku kain sangat bergantung pada sifat searatnya. Material yang baik untuk penggunaan pakaian olahraga aktif diantaranya adalah *Phase Change Material*, *Shape Memory Polymers* serta material serat seperti serat sintesis, serat hidrofik dan serat karbon (Uttam, 2013).

1. Pengembangan Polimer

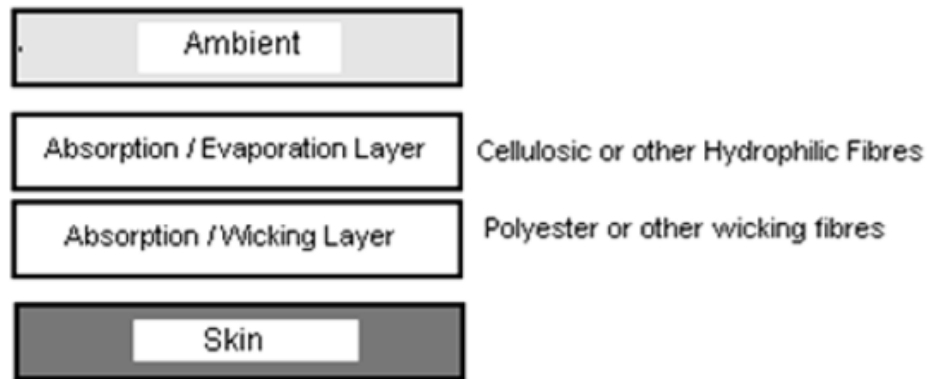
Beberapa pengembangan polimer memperkenalkan beberapa sifat fungsi yang khusus yaitu *Phase Change Material* dan *Shape Memory Polymers* (Umbach, 1993). *Phase Change Material* mengandung kimia yang dapat merubah dari liquid ke gel bergantung pada suhu sekitar tubuh. Dapat merubah sifat insulasi kain, sehingga akan tetap menjaga suhu tubuh tetap konstan bagaimanapun suhu udaranya. Digunakan untuk pakaian pelindung dari dingin. *Phase Change Material* terdiri dari mikrokapsul paraffin. Ketika kapsul panas, maka parafin melikuidasi dan energi panas terserap, ketika cuaca dingin, parafin mengkristal dan melepaskan panas. Berbeda dari *Phase Change Material*, *Shape Memory Polymers* material yang dapat mengingat dan mempertahankan bentuknya seperti bentuk semula. Pakaian yang dibuat dari *Shape Memory Polymers* ini dapat merasakan perubahan pada lingkungan di sekitarnya, dapat mengevaluasi secara cerdas serta mengontrol respon untuk memastikan pengguna di level nyaman yang sangat tinggi.

2. Material serat

Material serat yang baik sebagai bahan baku pakaian olahraga adalah serat hidrofilik, serat karbon dan serat sintetis (Uttam, 2013). Serat hidrofilik memberikan kombinasi yang baik untuk kelembutan dan kenyamanan. Serat hidrofilik seperti katun, wool dan rayon viskosa baik digunakan pada kain pakaian olahraga dua lapis, serat hidrofilik baik digunakan sebagai lapisan penyerap luar yang berfungsi sebagai zona penyangga untuk keringat yang berlebihan (Uttam, 2013). Berikut merupakan gambaran pada kain dua lapis yang menggunakan material serat hidrofilik sebagai lapisan penyerap/evaporasi (Gambar II.1 halaman II-5).

Material serat lain yang cocok untuk penggunaan pakaian olahraga adalah serat karbon. Serat karbon memiliki sifat insulasi termal, kekuatan tensil yang tinggi dan ringan sehingga dapat mencegah pemakainya dari kejadian yang fatal, hal tersebut membuat serat karbon populer sebagai serat pembentuk pakaian olahraga (Rognoni, 1999).

Penggunaan serat karbon sangat bervariasi seperti *motor sportswear*, pakaian kinerja tinggi, pakaian dengan kenyamanan teramal, *diving wear*, dan *skiwear*.



Gambar II. 1 Kain struktur dua lapis untuk penggunaan pakaian olahraga aktif (Uttam, 2013)

Selain serat hidrofilik dan serat karbon, serat sintetis dipertimbangkan sebagai pilihan material pakaian olahraga aktif terbaik karena kain dari serat sintetis ini dapat memberikan kombinasi yang baik terhadap kontrol kelembaban, kelembutan, ringan, insulasi termal serta cepat kering karena sifat *wicking* yang baik. Durabilitas, ringan, elastis dan halus merupakan kualitas yang penting untuk konsumen pada aplikasi yang luas di bidang olahraga. Resistensi panas yang luar biasa, sifat transportasi kelembaban yang baik, penyerapan kelembaban yang rendah, mudah dirawat dan biaya rendah membuat sintetis sangat berguna untuk pakaian olahraga.

Secara umum diketahui bahwa kain dengan sifat *wicking* yang baik dapat meregulasi suhu tubuh, meningkatkan performa otot dan memperlambat kelelahan. Ketika serat alam seperti katun cocok untuk pakaian dengan aktivitas yang rendah, kain sintetis yang terbuat dari poliamida dan poliester memiliki kecocokan yang lebih baik untuk level aktivitas tinggi. Poliester dan Poliamida memiliki kemampuan menyerap air yang lebih rendah daripada katun, tetapi masih dapat memindahkan kelembaban dengan cepat dari dalam keluar kain (Chaudhari, dkk 2004). Poliester memiliki stabilitas dimensi yang luar biasa dan menawarkan karakteristik dari poliamida yang ringan,

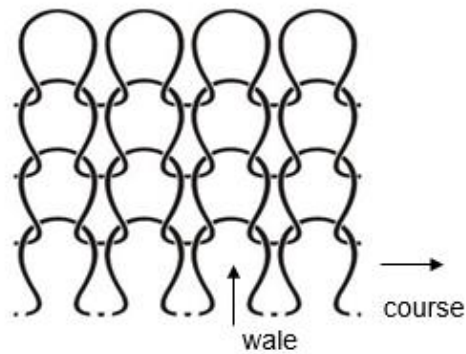
kekuatan tinggi, halus serta durabilitas yang baik. Poliamida memiliki *moisture regain* yang lebih tinggi dibandingkan dengan poliester sehingga memiliki perilaku *wicking* yang lebih baik dari pada poliester, resistansi terhadap kotor, pembusukan, jamur dan pelarut organik. Poliamida dipertimbangkan sebagai salah satu material terbaik untuk penggunaan premium seperti digunakan sebagai pakaian olahraga aktif. Chaudhari, dkk (2004) juga menjelaskan lebih lanjut bahwa poliamida dapat menangkap panas serta merupakan bahan yang *breathable* sehingga nyaman untuk dikenakan.

Seperti halnya material serat yang akan berpengaruh terhadap sifat kain, Konstruksi kain juga memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap sifat pakaian olahraga aktif. Ishtiaque (2000) menyebutkan bahwa konstruksi rajut adalah konstruksi/jenis kain terbaik ketika berbicara mengenai pakaian olahraga. Ishtiaque (2000) menjelaskan lebih lanjut bahwa kain rajut memiliki elastisitas yang lebih besar dan kemampuan meregang yang lebih baik jika dibandingkan dengan kain tenun, sehingga memberikan efek kebebasan dalam bergerak dan transmisi uap tubuh ke lapisan berikutnya pada sistem pakaian (Ishtiaque, 2000).

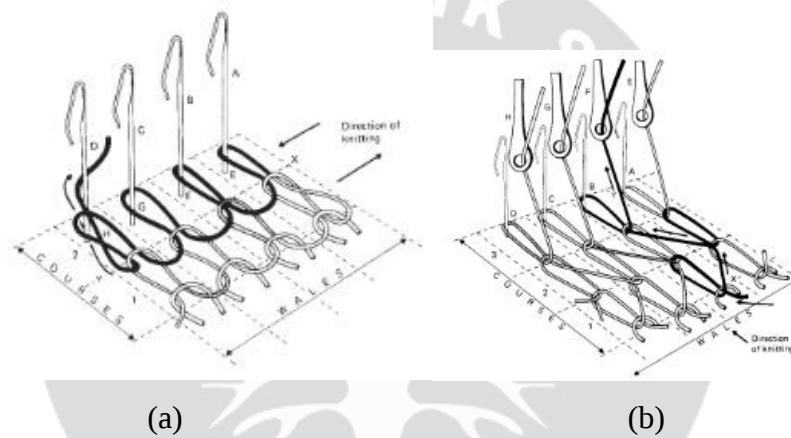
II.2 Kain Rajut

Menurut SNI 08-0390-1989, Kain rajut adalah kain yang terdiri dari sehelai atau beberapa helai benang yang menjadi jeratan-jeratan sedemikian sehingga terikat satu sama lain. Jeratan-jeratan yang terikat tersebut akan tersusun kearah panjang kain dan lebar kain. Barisan jeratan kearah panjang kain disebut *wale* dan barisan jeratan kearah lebar kain disebut *course*.

Terdapat dua jenis kain rajut berdasarkan mekanisme pembentukan jeratannya yaitu kain rajut pakan dan kain rajut lusi. Menurut SNI 08-0390-1989, Kain rajut pakan ialah kain rajut yang dibentuk oleh deretan jeratan dari sehelai benang atau lebih ke arah lebar kain, yaitu kain-kain hasil produksi mesin rajut datar dan atau mesin rajut bundar. Sedangkan kain rajut lusi adalah kain rajut yang dibentuk oleh deretan jeratan dari sehelai benang atau lebih ke arah panjang kain.



Gambar II. 2 Jeratan kearah *wale* dan *course*



Gambar II. 3 Arah pembentukan jeratan pada (a) kain rajut pakan, (b) kain rajut lusi (Spencer, 2001)

Spencer (2001) memberikan ilustrasi gambaran mengenai pembentukan kain rajut lusi dan kain rajut pakan (Gambar II.3). Sesuai dengan ilustrasi pada Gambar II.3, kain rajut pada dasarnya terdiri atas deretan jeratan ke arah lebar kain (*course*) dan deretan jeratan ke arah panjang kain (*wale*). Kerapatan jeratan kain rajut secara umum dapat diukur dengan menghitung banyaknya *course* per satuan panjang kearah panjang kain (tetal *course*) dan dengan menghitung banyaknya *wale* per satuan panjang kearah lebar kain (tetal *wale*).

II.2.1 Porositas pada kain rajut

Lapisan dasar pakaian olahraga umumnya terbuat dari kain rajut karena peregangan dan pemulihannya yang tinggi, kemampuan untuk memberikan kebebasan bergerak yang lebih besar, retensi bentuk, dan *fit*. Kain rajut juga memiliki permukaan yang relatif tidak rata, yang membuatnya terasa lebih nyaman dari pada kain tenun dengan komposisi serat yang sama. Efek ini berasal dari fakta kain yang memiliki permukaan yang tidak rata memiliki lebih sedikit kontak dengan kulit (Higgins dan Anand, 2003).

Karena pakaian langsung bersentuhan dengan tubuh manusia, ia berinteraksi dengan kulit terus menerus dan bergerak secara dinamis selama pakaian itu dipakai, sehingga memicu sensasi terkait taktil, termal, dan kelembaban. Proses mentransfer panas dan kelembaban dalam pakaian menentukan keadaan kenyamanan termo-fisiologis pemakainya (Li, 1998). Untuk mencapai tingkat kenyamanan yang ideal, panas dan keringat harus diangkut keluar dan terdisipasi ke atmosfer. Porositas adalah salah satu sifat utama yang mempengaruhi perilaku tersebut.

Chu dan Welch (1985) mendefinisikan porositas atau keterbukaan kain sebagai perbedaan antara total area kain dan area yang diproyeksikan ditutupi oleh benang. Porositas juga didefinisikan sebagai fraksi celah pada sebuah material. Chu dan Welch (1985) mengukur porositas menggunakan metode gravimetrik dan menyebutnya sebagai porositas relatif. Pada metode ini, area berpori yang terlihat dari *scanning electron micrographs* dipotong dengan pisau tajam dan Bobot mikrograf sebelum (W_0) dan setelah (W_i) penghilangan area berpori diukur. Porositas relatif kemudian ditentukan dengan mengambil rasio massa pori terhadap total massa, yang ditunjukkan di bawah ini.

$$PR (\%) = \frac{W_0 - W_i}{W_0} \quad (II.1)$$

Metode yang kedua untuk menentukan porositas relatif adalah dengan membagi nilai densitas kain dengan densitas benang. yang dikenal sebagai faktor pengepakan kain

atau sebagai fraksi volume yang ditempati oleh bahan serat dalam kain. Semakin tinggi faktor pengepakan, maka semakin sedikit pori pada suatu kain. Densitas kain dihitung dari berat per satuan unit dan ketebalan pada kain tersebut. Diameter-diameter pada pori-pori juga diukur menggunakan penggaris pada *micrographs*.

Wardiningsih dan Troynikov (2012) mengukur porositas kedalam dua cara yaitu dengan (1) bobot dan densitas serat dan kain (Porositas P), serta dengan mengukur porositas menggunakan metode optikal menggunakan *image processing*. Porosity P ditentukan dengan menghitung perbedaan antara total volume kain spesimen dan total volume serat di dalamnya (Skinkle, 1940).

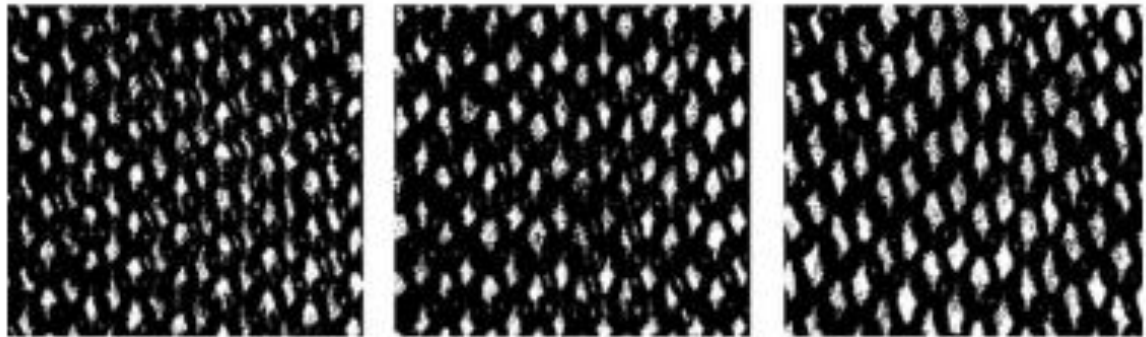
$$P = \frac{100(AT - \frac{W}{D})}{AT} \quad (II.2)$$

dimana P adalah porositas (%), A adalah luas area spesimen (m²), W adalah massa spesimen (g), T adalah ketebalan spesimen (cm) dan D adalah densitas serat (g/cm³).

Porositas optik dinyatakan sebagai transmisi (%) cahaya yang terlihat melalui kain (Hatch dkk., 1990). Porositas optik direpresentasikan oleh celah-celah antar benang dalam kain, dan ditentukan dari gambar mikroskopis sampel berdasarkan perbedaan antara jumlah piksel putih (celah) dan jumlah piksel hitam (benang) dimana hanya kekosongan antar loop yang dapat dinilai melalui porositas optik.

$$Porositas\ optik = \frac{piksel\ putih}{piksel\ putih + piksel\ hitam} \times 100\% \quad (II.3)$$

Berikut merupakan gambar hitam dan putih menggunakan metode analisa citra digital dalam rangka menguji porositasnya menggunakan metode optikal (Gambar II.4 halaman II-10).



Gambar II. 4 Piksel hitam dan putih pada gambar kain (Wardiningsih dan Troynikov, 2012)

II.3 Aerodinamika

Aerodinamika adalah ilmu yang mempelajari mengenai akibat-akibat yang ditimbulkan udara atau gas-gas lain yang bergerak (fluida). Dalam dinamika fluida, gaya hambat (yang kadang-kadang disebut sebagai hambatan fluida atau seretan) adalah gaya yang menghambat pergerakan sebuah benda padat melalui sebuah fluida. Dalam upaya agar dapat memahami kapan gaya hambat meningkat dan menurun pada *bluff body*, serta dapat relevan untuk meningkatkan performa pemakainya. gaya hambat didefinisikan seperti pada persamaan II.4 .

$$D = \frac{1}{2} A C_d \rho V^2 \quad (\text{II.4})$$

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}).

Total hambatan yang mengenai *bluff body* dapat dibagi menjadi dua bagian yang berbeda yaitu hambatan tekanan dan hambatan friksi. Hambatan friksi disebabkan oleh friksi permukaan/kulit dan hambatan tekanan disebabkan oleh perbedaan tekanan di bagian depan tubuh (*frontal area*) dan di bagian belakang tubuh (*wake area*). Total koefisien hambatan adalah sebagai berikut :

$$C_{dTOT} = C_{dTEKANAN} + C_{dFRIKSI} \quad (II.5)$$

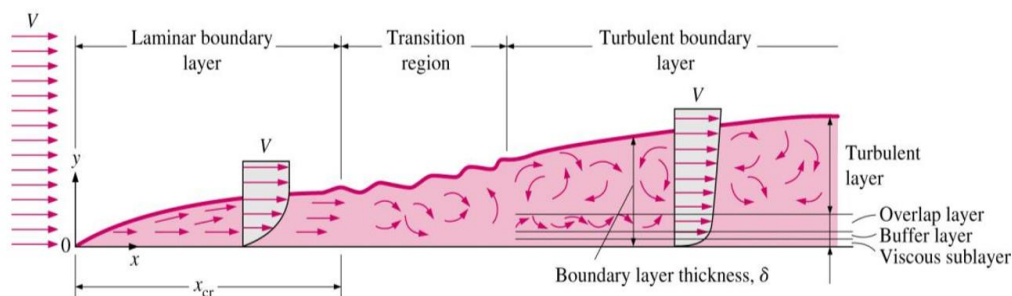
C_{dTOT} adalah koefisien hambat total (tidak berdimensi), $C_{dTEKANAN}$ adalah koefisien hambat tekanan (tidak berdimensi) dan $C_{dFRIKSI}$ adalah koefisien hambat friksi (tidak berdimensi).

Nilai koefisien hambatan tidak konstan tetapi bervariasi sebagai fungsi kecepatan, arah aliran, posisi objek, ukuran objek, densitas fluida dan viskositas fluida (Chowdhury, 2012). Kecepatan, viskositas kinematik dan panjang objek yang terinkorporasi kedalam kuantitas yang tidak berdimensi disebut bilangan Reynolds (Re), yang didefinisikan sebagai :

$$Re = \rho V l / \mu = V l / \nu = \rho V d / \mu = V d / \nu \quad (II.6)$$

Re adalah bilangan Reynolds (tidak berdimensi), ρ adalah massa jenis udara (kg.m^{-3}), V adalah kecepatan udara (m.s^{-1}), l adalah sifat panjang skala objek untuk objek berbentuk silinder (l dipertimbangkan sebagai diameter pada silinder) (m), μ adalah viskositas dinamika fluida (kg.(m.s)^{-1}), ν adalah viskositas kinematik ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$).

Bilangan Reynolds adalah rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskos yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Bilangan ini digunakan untuk mengidentifikasikan jenis aliran yang berbeda, misalnya laminar, turbulen atau transisi. Gambar II.5 halaman II-12 merupakan Lapisan batas aliran yang menggambarkan bentuk dari jenis-jenis aliran yang berbeda.



Gambar II. 5 Bentuk aliran pada lapisan batas (Granger, 1985)

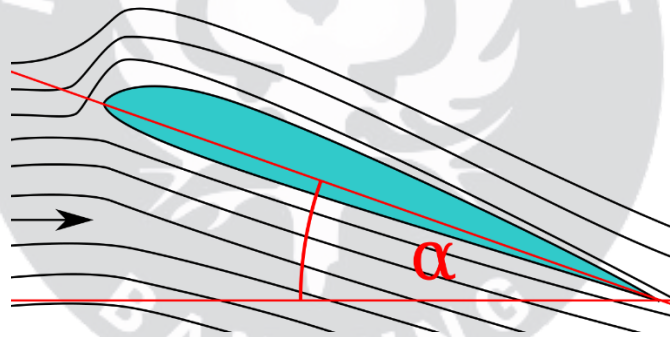
Brownlie (1992) menjelaskan lebih jauh mengenai bentuk aliran pada lapisan batas (Lapisan batas sendiri adalah lapisan tipis yang menjadi batas antara fluida dan sebuah objek). Aliran laminar adalah aliran fluida yang bergerak dengan kondisi lapisan-lapisan yang membentuk garis-garis alir dan tidak berpotongan satu sama lain namun kelemahan lapisan batas laminar adalah tidak stabil dan mudah terpisah dari permukaan, sehingga menghasilkan tingginya gaya hambat. Aliran Turbulen adalah aliran fluida yang partikel-partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktuasi yang saling berinteraksi. Lapisan batas turbulen menghasilkan friksi permukaan yang lebih tinggi dan hambatan keseluruhan yang lebih besar daripada aliran laminar, namun keunggulan lapisan batas turbulen adalah tidak mudah terpisah dari sebuah objek.

Kontribusi relatif pada hambatan friksi dan hambatan tekanan bergantung pada bentuk tubuh dan khususnya pada ketebalannya. Pada *bluff body* seperti silinder, hambatan tekanannya dominan dan mencapai 90% dari total hambatan (White sebagaimana dikutip dalam Oggiano 2010). Pada *streamline body*, hambatan friksi nya yang dominan (Oggiano, 2010).

Hambatan friksi berasal dari gesekan antara fluida dan permukaan dimana ia mengalir. Gesekan ini diasosiasikan dengan pembentukan lapisan batas. Hambatan tekanan berasal dari gerakan berputar fluida pada bagian tubuh. Hambatan tekanan ini dikaitkan dengan pembentukan sebuah *wake*, yang dapat dengan mudah dilihat di belakang

benda seperti kapal yang melewati air. Secara teknis, kedua jenis gaya hambat ini disebabkan oleh viskositas fluida (jika benda bergerak melalui fluida yang nonviskos, maka tidak akan terjadi gaya hambat sama sekali), tetapi perbedaan gaya hambat friksi dan tekanan ini berguna karena kedua jenis hambatan ini disebabkan oleh fenomena aliran yang berbeda. Hambatan friksi penting untuk aliran yang tidak ada separasi, dan ini terkait dengan luas permukaan yang terkena aliran. Hambatan tekanan penting untuk aliran terseparasi, dan ini terkait dengan luas penampang tubuh.

Kita dapat melihat peran yang dimainkan oleh gaya hambat friksi (kadang-kadang disebut hambatan viskos) dan gaya hambat tekanan (kadang-kadang disebut hambatan profil) dengan mempertimbangkan *airfoil* pada sudut serang yang berbeda. Sudut serang adalah sudut antara garis pemandu badan pengangkat dan aliran yang datang menyambut. Gambar II.6 merupakan gambaran dari sudut serang pada *airfoil*.



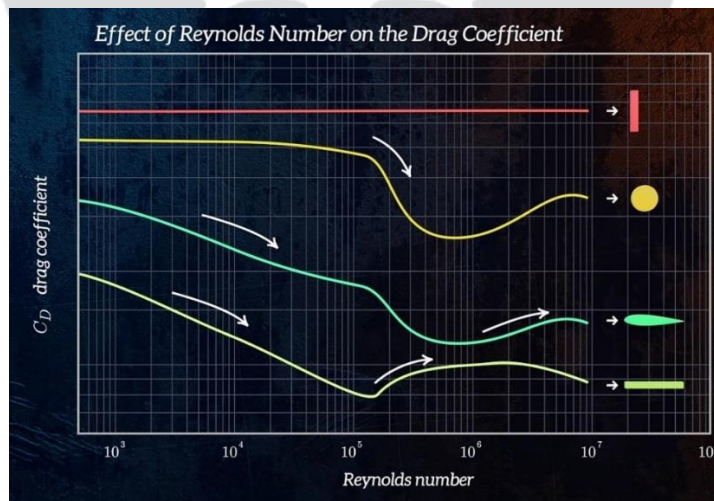
Gambar II. 6 Visualisasi sudut serang terhadap *airfoil*

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

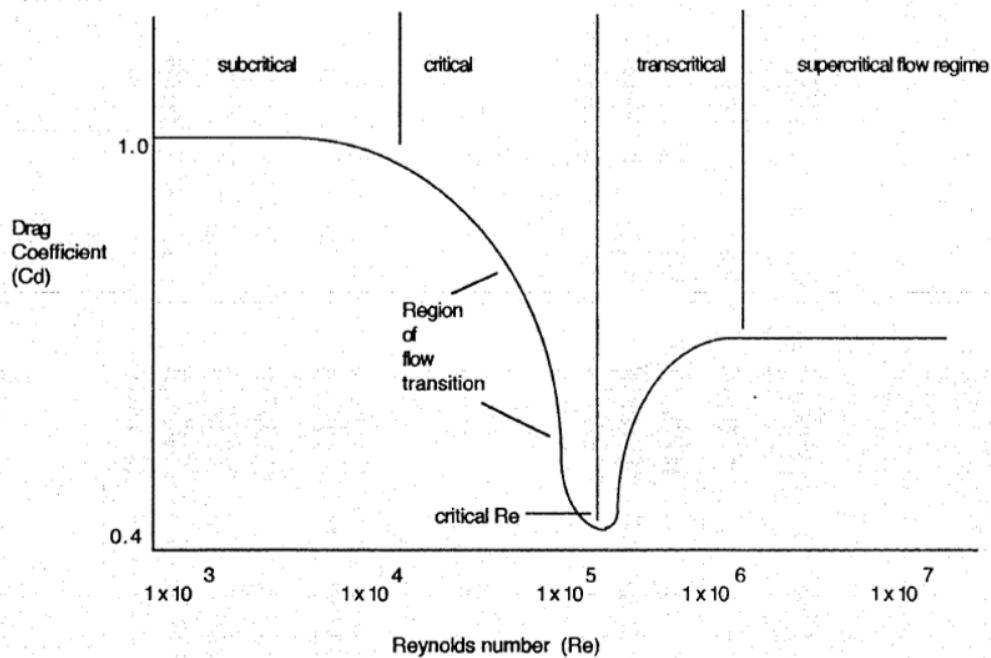
Pada sudut serang yang kecil, lapisan batas di permukaan atas dan bawah hanya mengalami gradien tekanan ringan, dan aliran tetap melekat sepanjang *airfoil*. *Wake* sangat kecil, dan hambatan didominasi oleh hambatan friksi di dalam lapisan batas. Namun, ketika sudut serang meningkat, gradien tekanan pada *airfoil* meningkat besarnya. Secara khusus, gradien tekanan yang merugikan pada bagian belakang atas *airfoil* dapat menjadi cukup kuat untuk menghasilkan aliran terpisah/separasi aliran.

Pemisahan aliran ini akan memperbesar ukuran *wake*, dan hilangnya tekanan pada *wake* disebabkan oleh terbentuknya aliran yang berputar pada daerah *wake*, hal tersebut menyebabkan hambatan tekanan meningkat. Pada sudut serang yang lebih besar, sebagian aliran pada permukaan atas *airfoil* akan terpecahkan dan di titik ini *airfoil* dikatakan terhenti. Pada tahap ini, gaya hambat tekanan jauh lebih besar daripada gaya hambat friksi/viskos.

Dominasi aliran fluida disekitar objek bergantung pada bentuk objek yang mengenai fluida. Ketika objek berbentuk *streamline* maka hambatan friksi mendominasi, dan ketika bentuk objek berbentuk *bluff* maka hambatan tekanan mendominasi. Bentuk *streamlined* mirip seperti bentuk ikan, bentuk pipih atau *airfoil* pada sudut serang kecil. Sedangkan bentuk *bluff* berbentuk seperti batu bata, silinder atau *airfoil* besar. *Streamlined body* akan selalu memiliki gaya hambat yang lebih rendah dari pada *bluff body*. Sebagai contoh, gaya hambat pada silinder dapat mencapai 10 kali lebih besar dari pada *streamlined body* pada ketebalan yang sama (Gambar II.7). Pada gambar II.8 halaman II-15 merupakan pembagian daerah pada aliran di sekitar silinder halus.



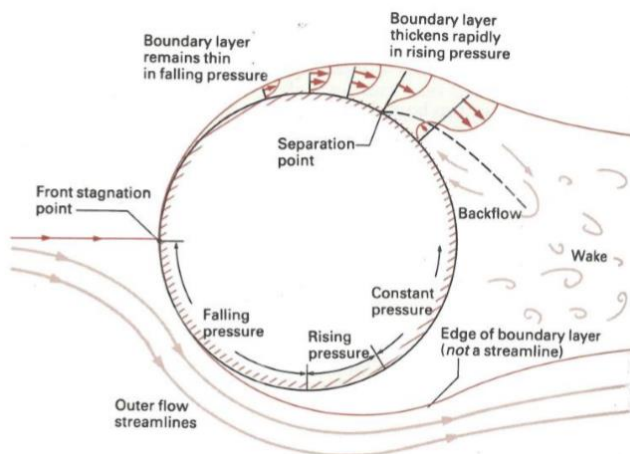
Gambar II. 7 Koefisien drag pada *bluff* dan *streamlined bodies*
(https://www.princeton.edu/~asmits/Bicycle_web/blunt.html diakses pada 9 Juli 2021)



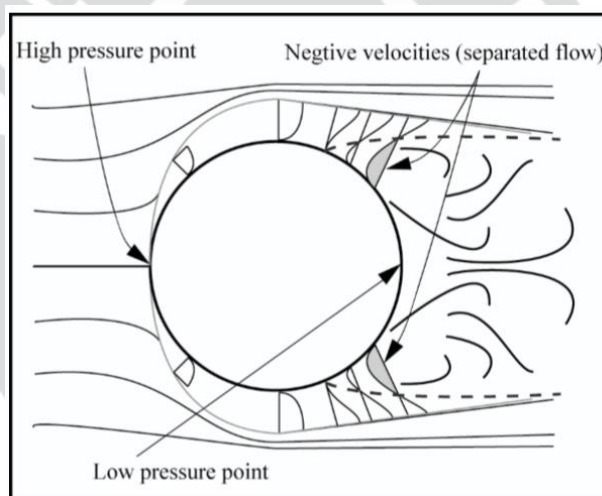
Gambar II. 8 Hubungan C_d dan Re untuk aliran udara yang mengenai silinder (Achenbach, 1971)

Pada gambar II.8, 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 $Re = Re_{CD MIN}$. 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 $Re > Re_{CD MIN}$. Daerah keempat, ketika nilai C_d konstan.

Gambar II.9 merupakan ilustrasi aliran dan daerah-daerah di sekitar *bluff body* yang dialiri fluida, serta gambar II.10 menjelaskan daerah titik tekanan serta daerah separasi aliran. Pada gambar II.9 dan II.10 dapat dilihat bahwa titik stagnasi depan merupakan daerah titik tekanan tinggi, dan daerah *wake* merupakan daerah titik tekanan rendah.

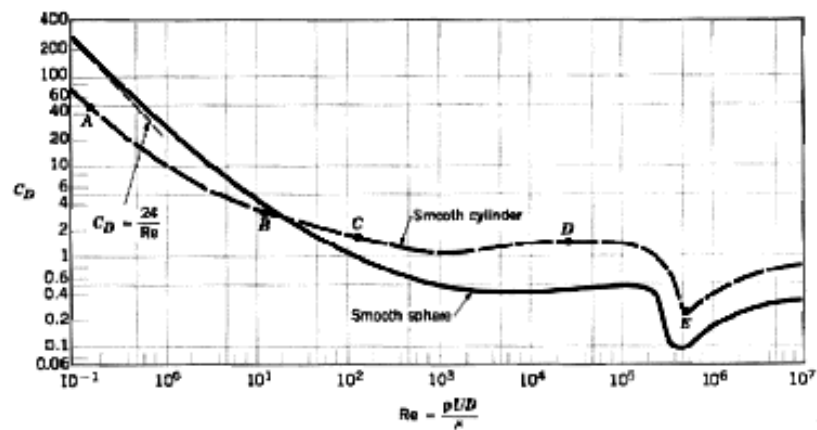


Gambar II. 9 Ilustrasi aliran dan daerah-daerah di sekitar *bluff body* (Zdravkovich, 1997)

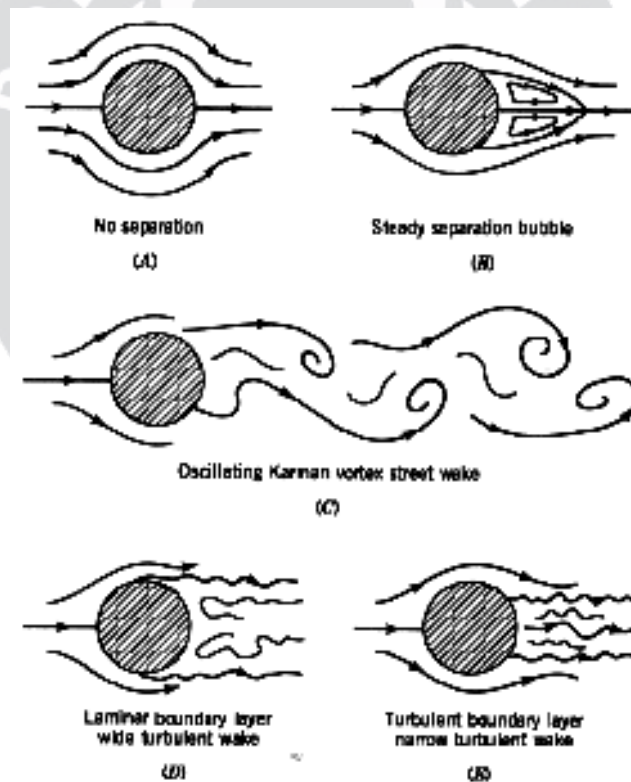


Gambar II. 10 Aliran di sekitar silinder (Oggiano 2010)

Silinder dan bola dianggap sebagai *bluff body* karena pada bilangan Reynolds yang besar gaya hambat didominasi oleh kehilangan tekanan pada *wake*. Variasi koefisien hambat dengan bilangan Reynolds ditunjukkan pada Gambar II.11 dan pola aliran ditunjukkan pada Gambar II.12. Kita dapat melihat bahwa ketika bilangan Reynolds meningkat, variasi koefisien *drag* (berdasarkan luas penampang) berkurang. Pada bilangan Reynolds yang lebih besar lagi, variasi koefisien *drag* hampir konstan.



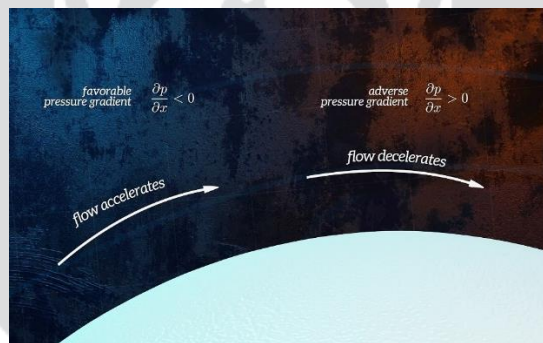
Gambar II. 11 Koefisien *drag* sebagai fungsi bilangan Reynolds pada sirkular silinder halus dan pada bola halus (https://www.princeton.edu/~asmits/Bicycle_web/blunt.html diakses pada 9 Juli 2021)



Gambar II. 12 Pola aliran fluida pada silinder: (A) bilangan Reynolds = 0.2, (B) 12, (C) 120, (D) 30000, (E) 500000. (https://www.princeton.edu/~asmits/Bicycle_web/blunt.html diakses pada 9 Juli 2021)

Pada bilangan Reynolds antara 100000 dan 1000000, koefisien hambatan menurun. Ukuran *wake* menurun, menunjukkan bahwa pemisahan lapisan batas pada silinder atau bola halus terjadi lebih jauh di sepanjang permukaan dari pada sebelumnya, fenomena tersebut terkait dengan perbedaan antara lapisan batas laminar dan turbulen.

Lapisan batas dan interaksinya dengan gradien tekanan lokal memainkan peran utama dalam mempengaruhi aliran di atas silinder. Khususnya di dekat bahu, gradien tekanan berubah dari negatif (penurunan tekanan) menjadi positif (peningkatan tekanan). Gaya akibat perbedaan tekanan berubah dari gaya percepatan menjadi gaya perlambatan (Gambar II.13 (a)) mengakibatkan aliran melambat. Fluida pada lapisan batas telah kehilangan beberapa momentum karena kehilangan viskos dan friksi viskos, serta tidak memiliki cukup momentum untuk mengatasi gaya perlambatan, beberapa fluida di dekat permukaan berbalik arah sehingga alirannya terpisah (Gambar II.13 (b)).



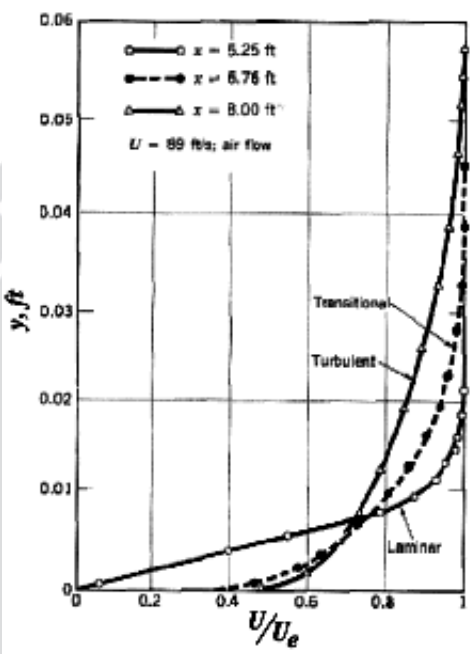
(a)



(b)

Gambar II. 13 (a) daerah yang mengalami gaya percepatan dan perlambatan akibat perubahan gradien tekanan lokal; (b) Aliran fluida yang berbalik arah (<https://curiositystream.com/?coupon=efficientengineer> diakses pada 1 juli 2021)

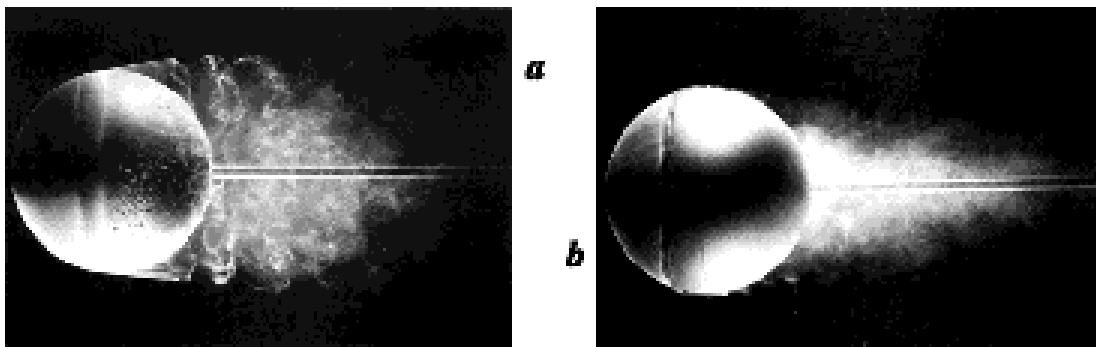
Lapisan batas laminar memiliki momentum yang lebih kecil daripada lapisan batas turbulen, seperti yang ditunjukkan pada gambar II.14. Transportasi momentum turbulen sangat efektif untuk mengisi kembali momentum dekat permukaan. Sehingga ketika lapisan batas turbulen memasuki wilayah gradien tekanan yang merugikan, ia dapat bertahan untuk jarak yang lebih jauh tanpa terpisah (dibandingkan dengan aliran laminar).



Gambar II. 14 Profil lapisan batas laminar, transisi dan turbulenn
(https://www.princeton.edu/~asmits/Bicycle_web/blunt.html diakses pada 9 Juli 2021)

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 ($Re < 100000$), pemisahan aliran dimulai segera setelah gradien tekanan menjadi merugikan (sangat dekat dengan bahu, Gambar II.12 (D) dan daerah *wake* yang besar terbentuk. Ketika turbulen ($Re > 1000000$), separasi aliran tertunda (ke titik sekitar 20° melewati bahu, Gambar II.12 (E)) serta membentuk daerah *wake* yang lebih kecil.

Oleh karena itu, jika lapisan batas bola atau silinder dapat dibuat turbulen pada bilangan Reynolds yang lebih rendah, maka gaya hambat juga akan turun pada bilangan Reynolds tersebut. Gambar II.15 menunjukkan dengan menggunakan kawat trip yang diletakkan pada muka depan bola dan mengganggu lapisan batas. Gangguan ini akan menyebabkan perubahan aliran (transisi) awal dari laminar ke turbulen, dan mempengaruhi ukuran *wake* yang terbentuk, sehingga menyebabkan turunnya *drag* secara dramatis.



Gambar II. 15 Aliran di sekitar bola (a) Bilangan Reynolds 15000 tanpa kawat trip, (b) bilangan Reynolds 30000 dengan kawat trip (https://www.princeton.edu/~asmits/Bicycle_web/blunt.html diakses pada 9 Juli 2021)

Integrasi nilai *drag* yang paling rendah pada sebuah objek terjadi ketika lapisan batas laminar pada bagian depan objek menjadi cukup turbulen untuk menahan pemisahan aliran pada lapisan batas dan menjadikan *wake* sebuah objek menyempit. Efek tersebut dapat dicapai dengan menambahkan kekasaran permukaan objek seperti dengan mengaplikasikan bentuk *dimple* pada bola golf (Brownlie, 1992).

Secara umum, perubahan aliran/transisi didukung oleh : Gradien tekanan, kekasaran permukaan, *blowing* pada permukaan dan *free stream turbulence*. Gradien tekanan meningkatkan bilangan mach, *suction* pada permukaan serta penurunan suhu pada permukaan memperlambat transisi (Oggiano 2010). Pada aliran kompresi,

berhubungan dengan kecepatan suara dan C_d juga merupakan fungsi dari bilangan Mach (M) yang didefinisikan Seperti pada persamaan II.7.

$$M = V/c \quad (II.7)$$

Dimana V adalah kecepatan relatif objek pada media ($m.s^{-1}$) dan c adalah kecepatan suara pada media ($m.s^{-1}$).

Konstanta *drag* memiliki korelasi dengan bilangan Mach ketika kecepatan objek lebih dari atau sama dengan kecepatan suara (Chowdhury 2013). Kecepatan maksimum pada olahraga berkecepatan tinggi kurang dari 150 km/jam, sedangkan kecepatan suara di udara berkisar pada kecepatan 1235 km/jam. Kecepatan olahraga dan kecepatan suara memiliki rentang kecepatan yang jauh, sehingga efek bilangan Mach tidak akan diperhitungkan.

II.3.1 Aerodinamika pada tekstil

Terdapat berbagai jenis bidang olahraga dan pada setiap bidang memiliki kebutuhan khusus yang harus dicapai oleh pakaian olahraga untuk menunjang performa pemakainya. Pada olahraga yang membutuhkan kecepatan, seperti *Swimming race*, *skating*, *ski jumping*, *downhill skiing*, *running* dan *cycling*, syarat khusus yang dibutuhkan adalah hambatan fluida yang rendah (Ishtiaque, 2000). Penelitian mengenai sifat aerodinamika pada tekstil berhubungan erat dengan desain pakaian olahraga yang melibatkan elemen-elemen yang signifikan terhadap persepsi atlet, salah satunya adalah untuk merekayasa sebuah pakaian yang mampu menghemat energi atlet. Khususnya pada olahraga kecepatan tinggi, dimana rekayasa sains dapat berkontribusi secara signifikan. Aerodinamika memainkan peran yang signifikan pada olahraga-olahraga berkecepatan tinggi. Perbedaan waktu kemenangan dapat dikurangi lebih jauh dengan memahami perilaku aerodinamika, khususnya sifat gaya hambat dan gaya angkat pada berbagai jenis pakaian olahraga. Pemahaman efek aerodinamika pada

pakaian olahraga terhadap performa olahraga menjadi faktor yang menentukan pada teknologi olahraga dan produk desain.

Efisiensi desain pakaian terhadap sifat aerodinamika membutuhkan informasi yang detail mengenai performa material, konstruksi tekstil dan tekstur permukaan (chowdhury, dkk 2013), sehingga tingkat pengoptimalan aerodinamis yang lebih tinggi dapat meningkatkan kinerja atletik secara keseluruhan.

II.3.1.1 Reduksi *drag* dengan menggunakan tekstil

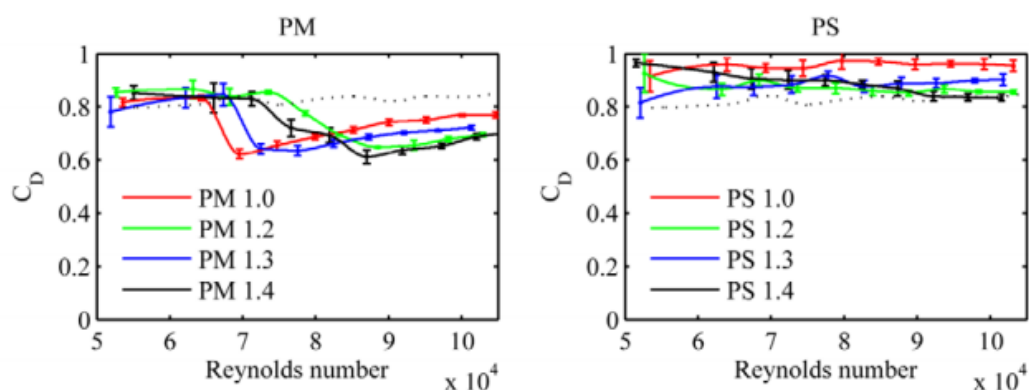
Konsep reduksi *drag* tekstil pada manusia disebabkan oleh mekanika fluida. Tekstil merupakan satu-satunya solusi untuk menambahkan kekasaran pada tubuh manusia (Brownlie 1992). Secara umum *drag* pada *bluff body* dapat direduksi dengan 2 hal, yaitu dengan mengontrol aliran secara pasif dan dengan menggunakan pengontrol aktif. Pengontrol aliran pasif pada silinder dapat diinduksi dengan kekasaran, *vortex generator*, interaksi pada *wake*, dll. Pengontrol aktif pada aliran di sekitar silinder dapat menggunakan *suction* atau *blowing*.

Wieland (sebagaimana dikutip dalam Oggiano, 2013) pada penelitiannya mengevaluasi kekasaran berdasarkan dari panjang gelombang untuk mendeskripsikan topografi permukaan di berbagai range kekasaran, kemudian mensegregasi struktur kekasaran secara keseluruhan pada skala makro, skala meso dan skala mikro. Penyederhanaan model pada metode yang dilakukan oleh Wieland dapat diaplikasikan pada tekstil dimana makrostruktur dapat direpresentasikan dengan modifikasi besar pada permukaan (seperti struktur *dimple* pada bola golf) dan mikrostruktur dapat direpresentasikan dengan kekasaran yang diinduksi dengan proses rajut atau tenun. Komponen yang ketiga adalah direpresentasikan dengan “*fuzziness*” yang diinduksi dengan tipe benang yang digunakan (Oggiano, 2013). *Fuzziness* adalah derajat bulu pada permukaan kain atau benang dan terdiri dari serat bebas yang menonjol di permukaan (Yao M, wurong Y, Xu W, Xu B, 2008).

Kekasaran permukaan adalah parameter penting terhadap profil permukaan tekstil (Brownlie, 1992; Kyle, Brownlie, Harber, MacDonald, & Shorten, 2004; Moria dkk., 2010; Oggiano, Troynikov, Konopov, Subic, & Alam, 2009). Kekasaran permukaan adalah komponen tekstur dari permukaan. Ada pula istilah lain yang berkaitan dengan permukaan yaitu profil. Istilah profil sering disebut dengan istilah lain yaitu bentuk. Profil atau bentuk yang dikaitkan dengan istilah permukaan mempunyai arti tersendiri yaitu garis hasil pemotongan secara normal atau serong dari suatu penampang permukaan. Kekasaran permukaan adalah faktor yang penting dalam memprediksi sifat taktil pada kain. Terdapat dua alasan mengapa perlu pengukuran kekasaran permukaan, yaitu untuk mengontrol proses dan yang kedua adalah untuk meyakinkan bahwa suatu produk bekerja dengan baik.

Kekasaran pada permukaan pada sifat aerodinamika telah diketahui menginduksi transisi aliran dari laminar ke turbulen (James 1972; Alam 2003; Naumann 1968; Mizuno 1970; Joubert 1962; Achenbach 1971; Bearman 1993 seperti dikutip dalam Brownlie, 1992 & Oggiano 2010). Oggiano dkk, (2009), Konopov, dkk (2010), Bardal dkk, (2013), menguji pengaruh kekasaran permukaan yang dioptimasi pada proses rajut dengan memvariasikan *cover factor*.

Seperti yang telah disebutkan di atas, level ketiga pada kekasaran permukaan adalah *yarn fuzziness* dari suatu benang. Moria, Chowdhury, dan Alam (2011) menunjukkan bahwa morfologi permukaan pada tekstil memiliki korelasi langsung dengan sifat aerodinamika. Bardal, dkk (2013) membuktikan bahwa morfologi permukaan pada tekstil mempengaruhi sifat aerodinamika, pada penelitiannya menunjukkan bahwa benang-benang spun yang memiliki bulu (*fuzziness/hairiness*) tidak mengoptimasi sifat aerodinamika. Profil permukaan pada tekstil dapat menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap transisi aliran fluida dari laminar ke turbulen. Gambar II.16 merupakan gambaran sifat aerodinamika pada benang spun dan benang filamen yang dilakukan oleh bardal (2013).



Gambar II. 16 Kurva C_d -Re kain contoh uji (a) bahan baku benang poliester multifilamen (PM); (b) bahan baku benang poliester spun (Bardal 2013)

Gambar II.16 menunjukkan bahwa pengaruh *fuzz* pada permukaan kain mempengaruhi sifat aerodinamika kain, nilai C_d pada kain dengan bahan baku spun relatif konstan dan tidak ada penurunan nilai C_d karena pengaruh dari *fuzz* di permukaan kain. Bardal (2013) mengungkapkan bahwa elemen *fuzz* serat memperumit aliran karena adanya hambatan *fuzz* dari individu serat dan keterikatan orientasi serat pada lingkungan yang dinamis.

II.3.2 Pengujian sifat aerodinamika pada tekstil

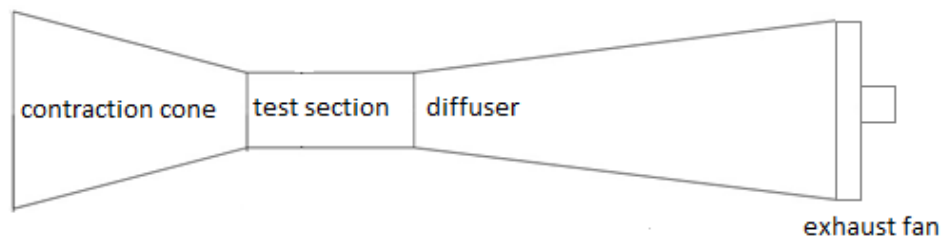
Pengujian sifat aerodinamika tekstil dilakukan pada *terowongan angin* atau terowongan angin. Terowongan angin adalah sebuah alat yang mana menghasilkan aliran udara relatif buatan pada sebuah objek yang diam yang mengukur gaya aerodinamika dan distribusi tekanan dengan kondisi aktual. Aspek terpenting pada terowongan angin adalah kemampuan akurasi dalam merekayasa aliran fluida yang kompleks (Arifuzzaman dan Mashud, 2012). Rekayasa angin adalah bidang yang telah berkembang selama berabad-abad. Bagian besar pada rekayasa angin hari ini secara langsung atau tidak berada pada terowongan angin. Terowongan angin diusulkan oleh ahli sebagai model uji sebuah objek yang membutuhkan pemahaman aerodinamika karena kondisi aliran udara yang dapat dikontrol.

Terdapat 3 bagian dalam terowongan angin, yaitu bagian *contraction cone*, *test section* dan bagian *diffuser* (Manohar & Ramkissoon, 2015), bentuk terowongan angin akan bergantung pada range kecepatan angin. Pilihan *range* kecepatan mempengaruhi desain *terowongan angin* karena efek kompresibilitas (berhubungan dengan Mach). Mach adalah suatu kecepatan yang menunjukkan kecepatan relatif suatu objek terhadap kecepatan suara. Efek kompresibilitas aliran hanya terjadi ketika kecepatan aliran lebih besar atau ekuivalen dengan kecepatan suara (Chowdhury 2013).

Tabel II. 4 Kecepatan berdasarkan bilangan Mach

No	Mach	Kecepatan (km/jam)	Jenis
1	< 1	< 1234,8	Subsonik
2	1	1234,8	Sonik
3	0,8 – 1,3	987.84 – 1605.24	Transonik
4	1,3 – 5,0	1605.24 – 6174	Supersonik
5	> 5,0	> 6174	Hypersonik

Pada kecepatan angin yang kurang dari 1234,8 km/jam, maka disebut terowongan angin subsonik. Berikut merupakan bentuk terowongan angin subsonik.



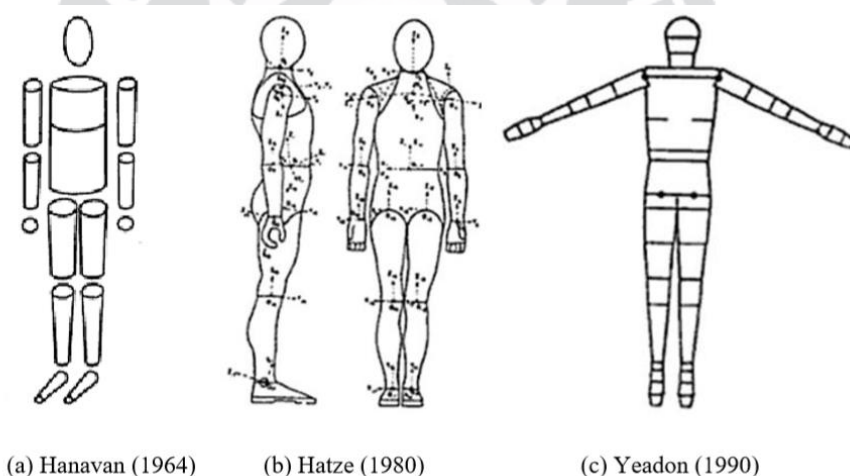
Gambar II. 17 Desain terowongan angin subsonik (Manohar & Ramkissoon, 2015)

Pada bagian Desain terowongan angin subsonik, *Contraction* atau disebut juga dengan *nozzle* mengakselerasi aliran menuju *test section*, dan pengaruh *contraction* terhadap

kualitas aliran cukup kompleks. *Test section* merupakan tempat dimana model yang akan diuji ditempatkan. *Diffuser* berfungsi sebagai *recovery* tekanan statik dan menjaga aliran agar tetap menyatu.

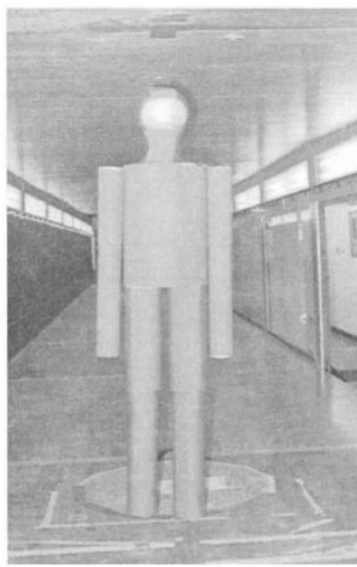
II.3.2.1 Model uji tekstil pada terowongan angin

Dalam rangka menguji sifat aerodinamika pada tekstil, beberapa peneliti telah mempelajari perilaku antropometri manusia. Hanavan (1964), Hatze (1980) dan Yeadon (1990) telah mempelajari perilaku antropometri bentuk tubuh manusia dan membaginya kedalam berbagai bentuk, yaitu bentuk silinder, kerucut dan bentuk lainnya dalam rangka untuk menggambarkan tubuh manusia dengan dimensi antropometri yang lebih sederhana. Gambar II.18 merupakan representasi bentuk tubuh manusia menurut Hanavan (1964), Hatze (1980) dan Yeadon (1990).



Gambar II. 18 Representasi bentuk tubuh manusia (Hanavan 1964, Hatze 1980 dan Yeadon 1990)

Brownlie (1992) mempelajari sifat aerodinamika tekstil dengan mengujinya pada tubuh manusia secara langsung dan dengan menyederhanakan bentuk tubuh manusia menjadi bentuk sirkular silinder. Gambar II.19 merupakan representasi tubuh manusia menurut Brownlie (1992).

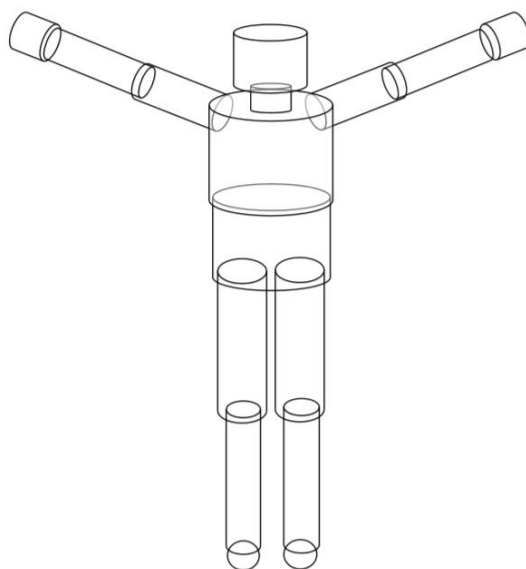


Gambar II. 19 Representasi bentuk tubuh manusia (Brownlie, 1992)

Oggiano, dkk (2009) melakukan pengujian sifat aerodinamika dengan membandingkan model silinder dengan model betis. Hasil penelitian Oggiano, dkk (2009) menunjukkan tidak terdapat pengaruh hasil yang signifikan diantara kedua model. Gambar II.20 merupakan model betis manikin yang digunakan oleh Oggiano, dkk (2009). Chowdhury (2013) merepresentasikan bentuk tubuh manusia dengan bentuk silinder di seluruh bagian tubuh, seperti pada Gambar II.21.



Gambar II. 20 Pengujian perilaku aerodinamika pada seksi uji terowongan angin menggunakan model betis manikin (Oggiano, 2009)

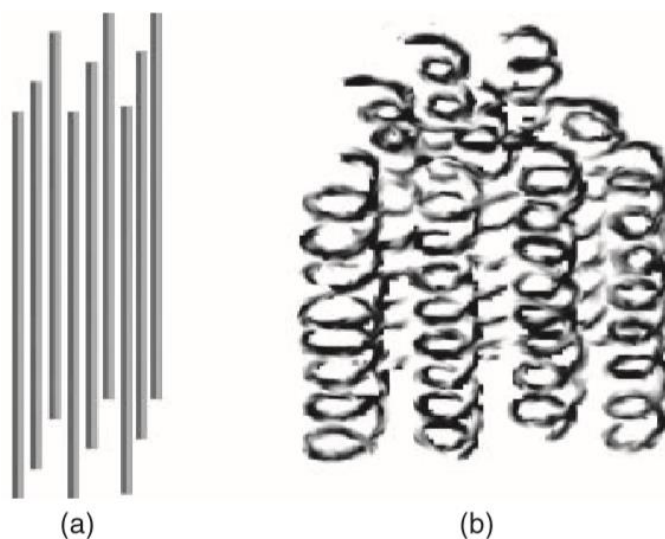


Gambar II. 21 Representasi bentuk tubuh manusia (Chowdhury, 2013)

II.4 Struktur geometri benang

Pengetahuan mengenai sifat serat dan benang berguna untuk memahami perbedaan antara berbagai produk. Pertimbangan mengenai sifat mekanik seperti kekakuan dan rua pada serat akan mempengaruhi pegangan kain yang dihasilkan (Lord, 2003).

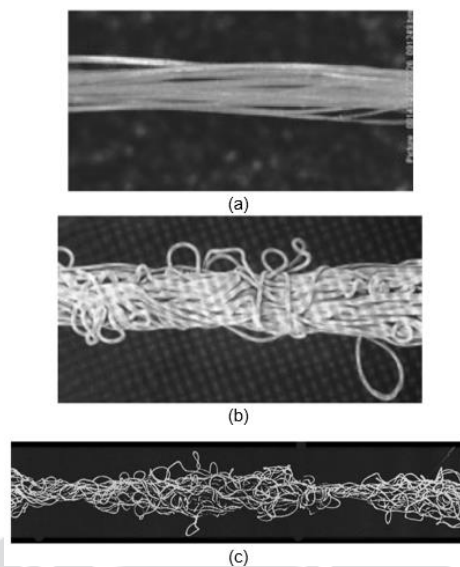
Rua pada serat dipengaruhi oleh *crimp* serat. *Crimp* serat dapat berbentuk zigzag, heliks atau bentuk non linear pada serat (Lord, 2003). Semakin tinggi *crimp*, volume serat akan meningkat dan menghasilkan benang yang lebih rua. Gambar II.22 menunjukkan efek dari tekstur pada sifat rua serat. Gambar II.22 (a) menunjukkan serat-serat paralel yang sangat mudah untuk dikompresi membentuk untaian (benang) dengan rua yang sangat kecil, dengan kata lain membentuk benang sebelum diberikan *crimp*. Gambar II.22 (b) menunjukkan serat-serat yang sama yang telah diberikan *crimp* berbentuk heliks. Gambar II.22 (b) memperlihatkan volume yang lebih tinggi dari pada serat pada Gambar II.22 (a). Benang ber rua (*bulky yarn*) menghasilkan kain dengan pegangan yang lebih lembut dan lebih hangat sedangkan benang tanpa rua menghasilkan kain seperti kain sutera (Lord, 2003).



Gambar II. 22 Perbandingan volume (a) serat tanpa crimp; (b) dengan crimp berbentuk heliks (Lord, 2003)

Benang filamen yang diberikan proses tekstur mengandung kantung-kantung udara yang dibutuhkan untuk menghasilkan sifat insulasi, permeabilitas dan kelembutan (Lord, 2003). Benang tekstur adalah benang filamen yang diproses untuk membentuk *crimp*, *coils*, *loops* atau distorsi-distorsi lain sepanjang filamen (Atkinson, 2012). Proses pemberian tekstur pada benang adalah dengan menempatkan benang pada ruang dengan fluida yang dipanaskan (Atkinson, 2012). Proses tekstur digunakan untuk memberikan sifat khusus pada benang sintetik seperti regangan, rwa, meningkatkan kehangatan dan membuat kenampakan seperti serat alam (Atkinson, 2012).

Menurut Chimeh, dkk (2013) Benang dari proses *air jet textured* memiliki struktur yang sama dengan benang *spun*. Menurut Lord (2003) Benang tekstur dari proses *Air Jet Textured* memberikan hasil yang lebih mirip dengan benang *spun* dibandingkan dengan benang tekstur proses *false twisted textured*. Gambar II.23 memperlihatkan struktur benang filamen *continuous*, *air jet textured* dan *false twisted textured*. Gambar II.24 merupakan gambar profil dari *hairiness* benang *spun*.



Gambar II. 23 Kenampakan benang *texture* (a) benang *continuous filament* (Atkinson, 2012) (b) *air jet textured yarn* (Atkinson, 2012) (c) *false twisted textured yarn* (Millman, Acar & Jackson 2000)



Gambar II. 24 Profil *fuzziness/hairiness* pada benang spun

Struktur benang *air jet textured* terdiri dari bagian inti dan *loops* pada permukaan. Loop-loop (*close loop*) pada benang tekstur sangat mirip dengan serat-serat yang menonjol pada permukaan benang *spun* (Chimeh dkk, 2013). Struktur benang tekstur *false twist textured* filamennya saling terpisah satu sama lain dan dikuatkan dengan menggunakan *intermingle*.

Lord (2003) Menjelaskan lebih jauh bahwa benang filamen terkadang diberikan antihan untuk mereduksi kilap benang atau untuk memberikan efek tertentu pada

benang. Benang dengan *twist level* yang tinggi akan mengurangi *tenacity* dan diameter benang. Benang filamen tanpa antihan akan sulit untuk menangani filamen atau loop dari permukaan benang. Beberapa serat buatan cenderung untuk menggembung karena akumulasi muatan listrik. Filamen atau *loop* yang menonjol dari permukaan benang disebut *wild filament*. Sejumlah kecil *twist* akan membantu benang untuk mereduksi sejumlah *wild filaments*, penambahan *twist* untuk tujuan ini disebut *producer twist*.

II.4.1 Pengujian *fuzziness*

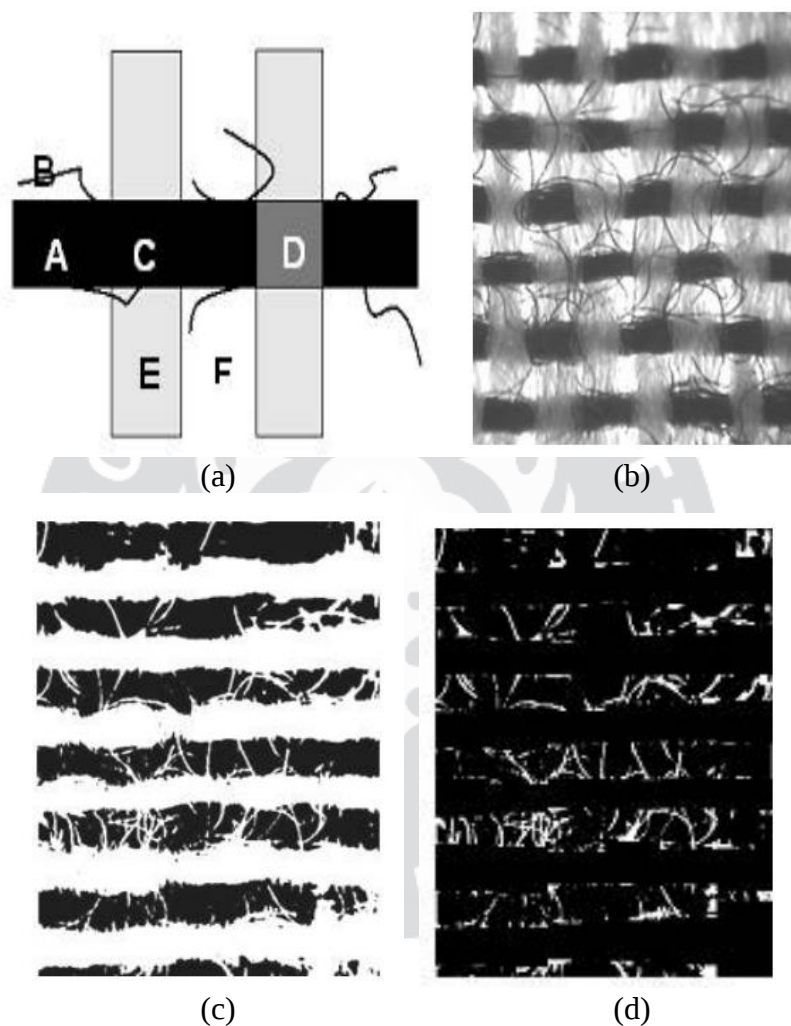
Fuzziness adalah derajat bulu pada permukaan kain atau benang dan terdiri dari serat bebas yang menonjol di permukaan (Yao M, wurong Y, Xu W, Xu B, 2008). Pada benang *continuous filament*, filamen atau *close loop* yang menonjol dari permukaan benang disebut *wild filament* (Lord, 2003). Pada benang *spun*, serat yang menonjol dari permukaan benang disebut *hairiness*.

Fuzz pada kain adalah serat-serat yang keluar/menonjol dari permukaan kain. Jika jumlah *fuzz* lebih lebih besar dari nilai standardnya, maka akan menyebabkan kenampakan kain yang tidak menyenangkan dan menyebabkan *pilling* yang membuat *pilling* pada permukaan kain merusak kehalusan kain.

Terdapat berbagai teknik untuk mengukur *hairiness*, dari mikroskop ke pengukuran gambar optik (Lord, 2003). Analisa gambar telah banyak dilakukan oleh berbagai peneliti (Hosseini, Ravandi dan Toriumi, 1995; Xu, 1996; Huang dan Liu, 2001; Semnani, dkk 2005) dan telah diketahui sebagai metode pengukuran permukaan benang dan kain. *Fuzzy* pada permukaan kain rajut telah diukur menggunakan teknik analisa gambar dan hasilnya telah dikomparasi pada penelitian para pakar tekstil (Jensen dan Carstensen, 2002; Ucar dan Boyraz, 2005). *Fuzzy* pada kain diprediksi dengan metode berbeda seperti ANN dan analisa regresi (Ucar & Ertugrul, 2007).

Kianiha, Ghane dan Semnani (2009) mengukur *fuzzy* kain dengan menggunakan analisa gambar histogram dengan terlebih dahulu mengkonversi gambar menjadi

gambar binary. Metode yang dilakukan oleh Kianiha, Ghane dan Semnani (2009) adalah metode yang dapat mengukur *fuzzy* dari kain. Berikut merupakan gambar proses metode pengukuran *fuzzy* oleh Kianiha, Ghane dan Semnani (2009) (Gambar II.25).

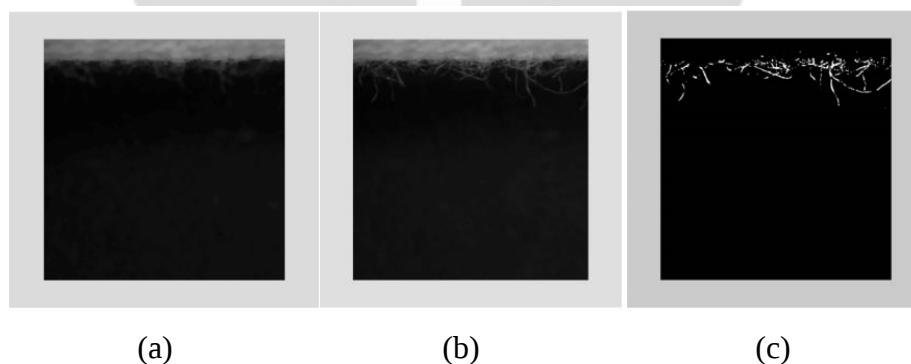


Gambar II. 25 Metode proses pengukuran *fuzzy* (Kianiha, Ghane dan Semnani, 2009)
 (a) Gambar Sematik pembuatan kain; (b) gambar yang ditangkap oleh CCD camera; (c) Konversi gambar menjadi gambar binary, (d) Gambar *fuzzy* pada benang pakan di dalam kain setelah dilakukan penghilangan badan

Pada Gambar II.25 dapat dilihat metode pengukuran *fuzzy* pada kain tenun. Pengukuran *fuzzy* dilakukan dengan membuat kain tenun menggunakan dua buah benang yaitu

benang lusi dan pakan. Benang pakan yang digunakan merupakan benang yang memiliki *hairiness* dengan intensitas yang rendah, dan benang pakan yang digunakan adalah benang yang memiliki intensitas tinggi (benang transparan). Setelah kain dibuat, proses selanjutnya adalah memotret kain contoh uji menggunakan sebuah kamera, dapat dilihat pada gambar II.25 (b) terlihat anyaman benang pakan dan lusi. *Hairiness* pada benang pakan yang berada dibawah benang lusi masih dapat dilihat karena benang lusi dibuat dari benang transparan. Langkah selanjutnya (Gambar II.25 (c)) adalah mengkonversikan gambar menjadi gambar hitam putih, piksel putih merupakan gambar kenampakan benang pakan, dan piksel hitam merupakan celah celah udara pada bagian kain. Benang transparan menjadi tidak terlihat setelah gambar tersebut dikonversi menjadi gambar hitam putih. Gambar II.25 (d) merupakan Gambar *fuzzy* pada benang pakan di dalam kain, gambar tersebut didapatkan setelah badan benang dihilangkan dan diubah menjadi piksel warna hitam. Gambar II.25 (d) merupakan gambar akhir yang akan diolah pada analisa histogram.

Ucar dan Boyraz (2005) melakukan pengukuran *fuzz dan pill* pada kain dengan menggunakan teknik analisa gambar secara bersamaan.



Gambar II. 26 Proses pengukuran derajat *fuzzy* (Ucar dan Boyraz, 2005) (a) gambar yang ditangkap oleh camera; (b) Gambar diperbesar untuk memperjelas permukaan kain; (c) Gambar setelah dilakukan proses threshold

Pengukuran derajat *fuzzy* kain yang dilakukan oleh Ucar dan Boyroz (2005) menggunakan algoritma dasar pada analisa gambar. Proses pengukuran *fuzzy* membutuhkan 3 langkah, yaitu memotret kain, memperbesar gambar untuk memperjelas *fuzzy* serta membuat gambarnya menjadi hitam putih kemudian menghilangkan badan kain. Proses pengujian *fuzz* kain diukur dengan mengukur jumlah piksel putih seperti yang terlihat pada Gambar II.26 (c). Hsi dkk (sebagaimana dikutip dalam Ucar dan Boyroz, 2005) mengevaluasi *fabric fuzziness* dengan 3 parameter yaitu *fuzz density*, *fuzz height* dan *fuzz separation*.

