

Identifikasi Rambut sebagai Barang Bukti dalam Pemeriksaan Forensik

Ari Sri Wulandari

Fakultas Kedokteran IPB *University*

Deteksi dan identifikasi barang bukti merupakan aspek yang sangat penting dalam bidang forensik karena pada setiap tindak kejahatan hampir selalu ada barang bukti yang tertinggal. Barang bukti medik, harus dicari sebanyak mungkin untuk membantu proses peradilan. Sampel barang bukti dapat berasal dari korban atau pelaku kejahatan, yang dapat berupa barang bukti fisik ataupun biologis.^{1,2} Setiap barang bukti biologis dapat mengandung DNA, sehingga dapat memudahkan mencari pelaku tindak kejahatan. Perpindahan jejak seseorang dapat berupa primer atau sekunder. Barang bukti yang dipindahkan berukuran kecil atau bahkan mikroskopis, menambah tantangan bagi seorang dokter forensik mencari tahu hubungannya.^{3,4}

Rambut merupakan salah satu jenis barang bukti yang paling sering ditemukan di tempat kejadian perkara, tetapi juga menjadi salah satu barang bukti yang paling sulit untuk dipahami. Rambut dapat dijadikan sebagai barang bukti forensik yang baik karena rambut dapat dipelajari serta dapat bertahan hingga bertahun-tahun. Rambut juga menyimpan informasi biologis yang cukup banyak serta proses pemeriksaannya tidak sulit dan tidak memerlukan biaya yang besar. Selain itu, DNA juga dapat diperoleh dari rambut dan hal ini memberikan manfaat tambahan dalam fungsinya sebagai barang bukti forensik.⁵

Ruang Lingkup Barang Bukti

Barang bukti atau *trace evidence* dapat didefinisikan sebagai material apapun yang dapat berpindah atau tertinggal pada tempat kejadian perkara (TKP) selama terjadinya peristiwa tindak kejahatan, seperti rambut, serat kain, tanah, atau kaca. Perpindahan ini terjadi akibat kontak fisik antara pelaku dan korban, membantu penyidik mengidentifikasi pelaku atau individu terkait. Barang bukti, termasuk jejas dari tubuh manusia atau benda lain, berperan penting dalam kasus perkosaan, penganiayaan, pembunuhan, dan kecelakaan. Biasanya berukuran kecil, barang bukti dianalisis secara mikroskopis atau menggunakan alat lain untuk pembuktian. Secara hukum, barang bukti merupakan informasi penting untuk menetapkan fakta dalam penyelidikan.⁵⁻⁸

Barang bukti dapat diklasifikasikan menjadi dua tipe, yaitu:^{7,9-11}

1. Barang bukti langsung (*direct evidence*) adalah kesaksian atau pengakuan saksi tentang apa yang dilihat, didengar, atau dilakukan, termasuk barang curian yang ditemukan pada tersangka. Namun, bukti ini bersifat subjektif dan sering kontroversial.

2. Barang bukti tidak langsung (*circumstantial evidence*) menyiratkan hubungan antara tersangka dan kejadian tanpa membuktikannya secara langsung, seperti pistol tersangka di TKP. Bukti ini mencakup:

- Bukti fisik: sidik jari, jejak kaki, senjata, peluru, dan serat.
- Bukti biologis: darah, air liur, rambut, kuku, atau jaringan tubuh lainnya.

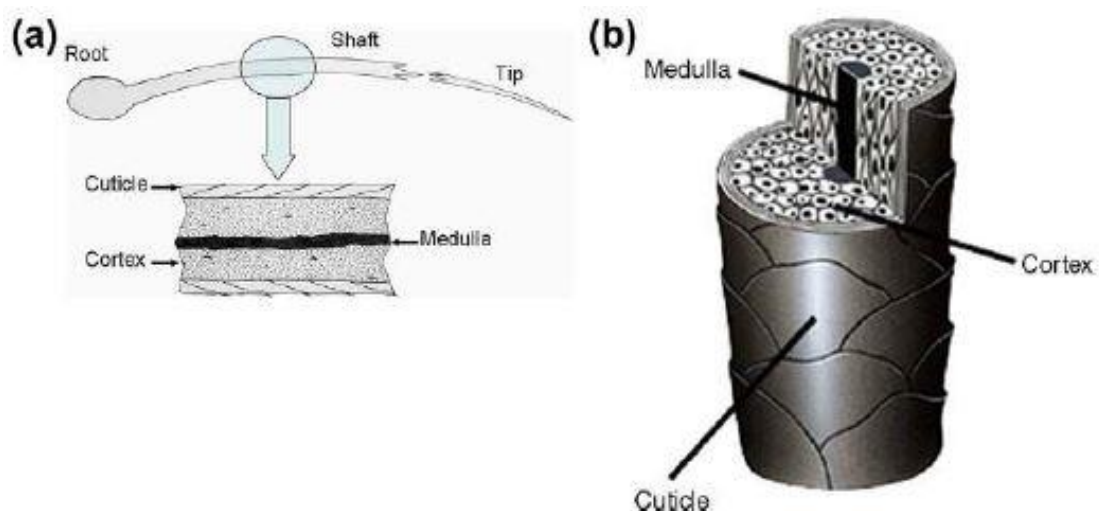
Selain itu, barang bukti juga dapat diklasifikasikan menjadi bukti kelompok dan bukti individual:

1. Bukti kelompok mengidentifikasi sekelompok orang atau benda. Misalnya, golongan darah ABO dari sampel darah di TKP menunjukkan bahwa pelaku mungkin termasuk dalam kelompok dengan golongan darah tertentu, namun dapat mengecualikan individu dengan golongan darah berbeda.
2. Bukti individual mengidentifikasi satu individu atau benda secara spesifik. Contohnya adalah sidik jari, yang unik dan hanya dimiliki oleh satu orang.

Klasifikasi ini membantu mempersempit pencarian dan meningkatkan akurasi dalam menghubungkan barang bukti dengan pelaku atau kejadian.^{9,12}

Struktur Mikroanatomis Rambut

Rambut adalah struktur tubuh yang hanya ditemukan pada mamalia, berupa serabut yang tumbuh dari kulit.⁵ Komposisi rambut meliputi protein keratin (65-95%), lipid (1-9%), air (15-35%), dan mineral (kurang dari 1%).^{13,14} Pada kelompok hewan lain, struktur yang menyerupai rambut bukanlah rambut sejati karena hanya mamalia yang memiliki rambut. Selain fungsi biologis, rambut pada manusia memiliki peran budaya, digunakan untuk menunjukkan status, jenis kelamin, dan tampilan estetika.⁵



Gambar 2.1 Anatomi Rambut: (a) gambaran makroskopik dan (b) gambaran mikroskopik rambut⁵

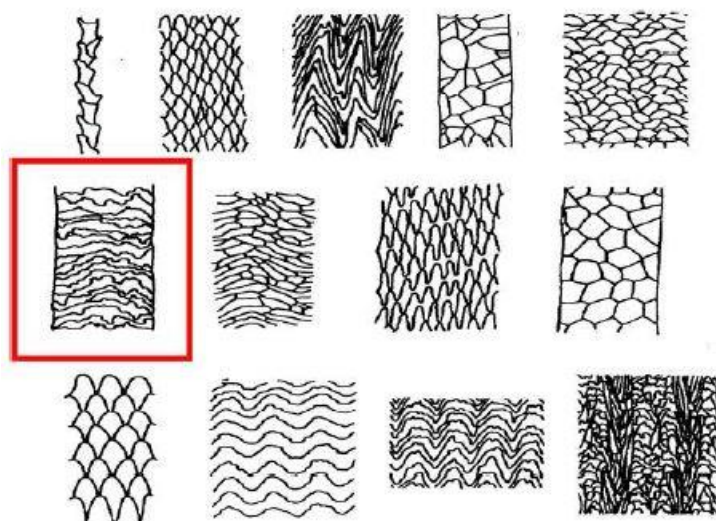
Rambut adalah bahan komposit kompleks dengan struktur yang tertata rapi, terdiri dari tiga bagian utama secara makroskopik:

1. **Akar rambut:** Bagian yang berada di dalam folikel.
2. **Batang rambut:** Bagian utama rambut yang terlihat.
3. **Ujung rambut:** Bagian distal dari rambut.

Pada orang dewasa, terdapat sekitar 5 juta folikel rambut, dengan sekitar 1 juta di antaranya berada di kepala. Folikel rambut berakar sedalam 3-4 mm di epidermis kulit.^{13,15}

Secara mikroskopik, rambut memiliki tiga elemen struktural utama, yaitu kutikula, korteks, dan medula. Kutikula rambut adalah serangkaian lapisan keratin yang berlapis berfungsi sebagai pelindung. Baik rambut manusia dan rambut hewan, masing-masing memiliki pola skala yang bervariasi menurut spesies.⁵ Kutikula memiliki beberapa kemampuan untuk mempertahankan fitur strukturalnya untuk jangka waktu yang lebih lama dan juga memiliki beberapa resistensi terhadap penguraian kimia.¹³

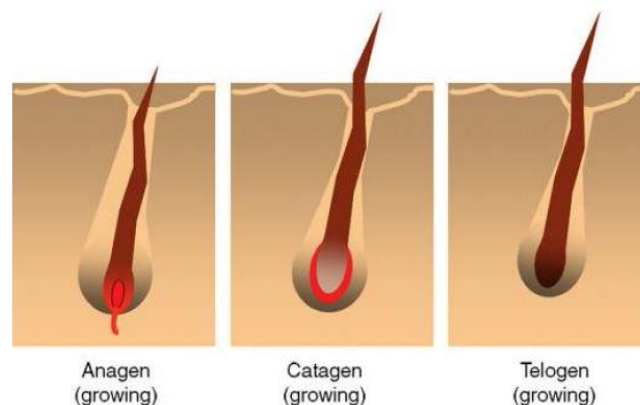
Korteks adalah bagian terbesar rambut, terdiri dari sel berbentuk gelendong (fusiform). Di dalam korteks terdapat butiran pigmen yang tersebar dengan variasi ukuran, bentuk, agregasi, dan distribusi, yang dapat digunakan untuk analisis. Fusi kortikal, berupa gelembung kecil, juga dapat ditemukan dengan variasi jumlah, ukuran, dan bentuk.^{5,13} **Medula** adalah saluran utama di tengah rambut yang terbentuk dari kumpulan sel. Pada banyak hewan, medula dominan dan dapat menempati lebih dari setengah diameter rambut. Kehadiran dan pola medula bervariasi antara individu dan bahkan pada rambut yang sama, diklasifikasikan menjadi: berkelanjutan, terputus, terfragmentasi, atau tidak ada medula. Rambut manusia biasanya memiliki medula yang terfragmentasi atau tidak ada, dan jarang menunjukkan medula berkelanjutan, berbeda dengan rambut hewan.^{13,16}



Gambar 2.2 Pola keratin/ sisik pada rambut. Pada kotak merah terdapat pola *imbricate* yang dimiliki oleh manusia, namun bisa saja ada pada hewan⁵

Fisiologi Rambut

Rambut tumbuh dari epidermis kulit melalui folikel, struktur berbentuk tabung silinder dengan bagian dasar yang lebih lebar. Rambut tumbuh dari dasar folikel ke arah atas; di dasar, rambut masih halus, kemudian mengeras dan mengering seiring pertumbuhannya. Rambut terbuat dari keratin, protein kuat yang juga membentuk kuku dan tanduk pada hewan. Proses penguatan ini disebut keratinisasi, yang menjelaskan mengapa rambut di atas kulit tidak menimbulkan rasa sakit saat dipotong, karena dianggap sebagai "benda mati." Rambut hanya "hidup" saat masih di dasar folikel, sehingga mencabut rambut dapat menyebabkan rasa sakit. Rambut memiliki daya tahan alami yang tinggi, dapat bertahan dalam jangka waktu lama. Sebagai contoh, rambut pada mayat yang telah mengalami mumifikasi sering kali masih utuh meski ditemukan ribuan tahun setelah kematian.⁵ Folikel rambut adalah struktur kompleks yang mengandung pembuluh darah untuk nutrisi, saraf untuk sensitivitas, dan kelenjar sebacea yang menghasilkan minyak guna melapisi rambut agar tetap lembut dan lentur. Folikel juga memiliki otot *pili arrector*, yang berfungsi mengangkat rambut saat seseorang kedinginan atau merinding, menciptakan efek “bulu kuduk”.⁵



Gambar 2.3 Proses Pertumbuhan Rambut⁵

Bentuk dan ukuran akar rambut ditentukan oleh fase pertumbuhan rambut yang terdiri dari tiga fase, yaitu:^{5,14}

1. Fase Anagen (fase tumbuh secara aktif)

Folikel rambut menghasilkan sel-sel baru yang mendorong rambut ke arah batang rambut, menyebabkan pertumbuhan panjang. Pada fase ini, melanosit menghasilkan melanin (pigmen warna rambut) yang terdiri dari eumelanin (coklat gelap) dan pheomelanin (lebih terang). Fase ini bisa bertahan hingga 6 tahun.¹⁴

2. Fase Katagen (fase transisi)

Folikel mulai menghentikan produksi sel, sel-sel menyusut, dan akar rambut membentuk bola yang disebut *root bulb* atau *club root*. Fase ini berlangsung sekitar 2–3 minggu.¹⁴

3. Fase Telogen, atau fase istirahat

Produksi sel berhenti, root bulb terbentuk, dan rambut terfiksasi pada folikel. Dalam 2–6 bulan, rambut akan rontok secara alami, dan folikel kembali ke fase anagen.^{5,14}

Pada rambut kepala manusia yang sehat, sekitar 80-90% rambut berada dalam fase anagen, 2% dalam fase katagen, dan 10-18% dalam fase telogen. Folikel rambut memiliki waktu pertumbuhan berbeda, seperti 147 hari untuk rambut kepala dan 61 hari untuk rambut alis. Rata-rata, manusia kehilangan sekitar 100 rambut per hari, menjadikan rambut sebagai barang bukti potensial yang jumlahnya cukup dan konstan..⁵

Perbedaan Rambut Manusia dengan Bukan Manusia

Penentuan apakah rambut itu berasal dari manusia atau bukan manusia dapat dilakukan dengan pemeriksaan mikroskopis yang relatif mudah. Beberapa karakteristik rambut hewan yang membedakannya dari rambut manusia antara lain:⁵

1. Jenis rambut pada hewan:

- *Guard hair* adalah rambut kaku yang membentuk bagian luar hewan , sering digunakan untuk identifikasi mikroskopis. Guard hair memiliki pelebaran di bagian atas porosnya yang disebut shield dan bagian bawahnya disebut *sub-shield*.
- *Fur hair* dengan struktur lebih tipis dan halus, berfungsi memberikan kehangatan. Akar fur hair dapat memberikan indikasi taksonomi, tetapi kurang akurat untuk identifikasi mikroskopis.
- *Vibrissa*, atau kumis atau rambut di sekitar moncong hewan. Vibrissa memiliki siklus hidup yang panjang dan jarang rontok, sehingga sulit digunakan untuk identifikasi.

2. *Color banding*: Rambut hewan sering menunjukkan transisi warna yang tiba-tiba di sepanjang batang rambut, termasuk di ujungnya.

3. Perbedaan pola keratin: Mikroskop elektron atau cetakan skala pada rambut hewan dapat membantu mengidentifikasi pola keratin yang berbeda dari rambut manusia.

Karakteristik ini memberikan petunjuk penting dalam membedakan rambut manusia dan hewan dalam analisis forensik.

Penentuan Area Tubuh

Manusia memiliki berbagai jenis rambut di tubuh, yang dapat membantu mengidentifikasi asal daerah tubuh melalui analisis mikroskopis. Area tubuh yang khas untuk identifikasi rambut meliputi: kepala (atau kulit kepala), kemaluan, wajah, dada, ketiak, bulu

mata atau alis, dan anggota tubuh. Rambut yang tidak termasuk dalam kategori ini disebut rambut transisi, seperti rambut di perut atau daerah antara dada dan kemaluan. Biasanya, hanya rambut kepala dan rambut kemaluan yang dapat digunakan untuk perbandingan mikroskopis. Beberapa istilah digunakan untuk mendeskripsikan karakteristik rambut berdasarkan daerah tubuh, seperti:⁵

1. *Buckling*: Perubahan tiba-tiba arah batang rambut dengan atau tanpa sedikit putaran.
2. *Shouldering*: Potongan rambut yang asimetris.

Dalam beberapa kasus, jika sulit menentukan asal-usul rambut, ahli forensik akan melabelinya sebagai “*body hair*” saja.⁵

Tabel 2.1 Deskripsi Umum Sifat Rambut Manusia pada Area Tubuh⁵

Area	Diameter	Shaft	Tip
Head	Even	Straight or curly; some waviness; may be very long	Usually cut
Pubic	Varies	Buckling; sometimes extreme waviness or curl	Usually pointed; may be razor cut
Facial	Wide; even	Triangular in cross section; some shouldering	Usually cut; may be scissors or razor cut
Chest	Even to some variation	Wavy to curly; some more straight	Usually pointed
Axillary	Even; some variation	Less wavy/curly than chest	Usually pointed; may be colorless
Limb	Fine; tapering	Slight arc	Usually pointed
Eyebrow/eyelash	Tapering	Arc; short	Pointed

Kerusakan Rambut

Manusia sering melakukan berbagai perawatan pada rambut, seperti memotong, mewarnai, mengepang, atau mencukur, yang tidak hanya terbatas pada rambut kepala. Beberapa penyakit juga dapat mempengaruhi rambut atau folikel, meskipun ini jarang terjadi.⁵

Ujung rambut dapat memberikan informasi tentang cara perawatan rambut:⁵

- Rambut yang dipotong dengan gunting akan memiliki garis lurus tanpa sudut.
- Rambut yang dipotong dengan pisau cukur akan memiliki sudut.
- Rambut yang terpotong oleh kaca akibat insiden tabrak lari dapat meninggalkan "ekor" panjang yang melengkung.
- Rambut yang terbakar akan menghitam pada ujungnya, bisa juga menggelembung atau mengembang.
- Rambut yang kusut juga mudah dikenali.

Pemutihan atau *bleaching* rambut mengoksidasi pigmen dan menghilangkan warnanya. Setelah pemutihan, rambut bisa diwarnai dengan warna baru, dan perubahan warna tersebut akan tampak pada rambut yang baru tumbuh. Untuk memperkirakan waktu antara perawatan kosmetik dan kehilangan rambut, panjang bagian alami rambut yang tidak terwarnai dapat

diukur. Rambut kepala tumbuh sekitar 1/2 inci (1,3 cm) per bulan, sehingga panjang bagian alami yang diukur dapat dikalikan 0,5 untuk mengestimasi jumlah bulan sejak perawatan dilakukan.⁵



Gambar 2.5 Morfologi rambut hangus dan rambut terpisah⁵



Gambar 2.6 Morfologi rambut yang diwarnai, terdapat perbedaan antara warna rambut natural dan warna rambut yang diwarnai⁵

Penyakit yang mempengaruhi morfologi rambut jarang terjadi, namun dapat memberikan bukti berharga untuk identifikasi. Beberapa kondisi morfologi rambut yang dapat ditemukan antara lain:⁵

1. *Pili annulati*: Rambut dengan cincin berwarna yang memiliki garis-garis terang dan gelap bergantian sepanjang rambut, seperti pola harimau atau zebra. Orang dengan rambut gelap mungkin tidak menyadari kondisi ini karena warna rambut menutupi garis-garis tersebut.

2. *Monilethrix*: Rambut yang memiliki bentuk seperti untaian manik-manik, dengan penyempitan yang membuat diameter rambut bervariasi. Kondisi ini melemahkan rambut, menyebabkan kerontokan rambut yang merata.
3. *Pili torti*: Rambut yang memutar sepanjang batangnya, menciptakan morfologi spiral. Pada rambut ini, kutikula bisa pecah karena tekanan dari puntiran rambut, yang menyebabkan kerusakan pada kutikula dan korteks.

Selain itu, *vermin* (kutu), ketombe, atau jamur dapat ditemukan pada rambut, yang bisa memberikan indikasi tambahan tentang kondisi individu. Penting untuk dicatat bahwa usia dan jenis kelamin tidak dapat ditentukan hanya dengan melihat rambut. Rambut abu-abu dapat muncul sejak usia 20-an, dan panjang atau pendeknya rambut tidak dapat digunakan untuk menentukan jenis kelamin. Selain itu, rambut tidak tumbuh setelah kematian karena kulit yang menyusut, membuat rambut lebih menonjol. Penelitian juga menunjukkan bahwa mencukur tidak merangsang pertumbuhan rambut.⁵

Pemeriksaan Lainnya dengan Sampel Rambut

Selain analisis morfologi rambut, terdapat dua pemeriksaan lain yang dapat dilakukan dengan sampel rambut: pemeriksaan DNA dan pemeriksaan narkotika.

Pemeriksaan DNA

Analisis DNA mitokondria (mtDNA) penting untuk menghubungkan rambut dengan individu tertentu. Analisis mikroskopis atau molekuler, atau keduanya, dapat memberikan identifikasi positif. Metode ini sering kali saling melengkapi, di mana analisis mtDNA dapat membedakan rambut yang berasal dari sumber berbeda meskipun memiliki karakteristik mikroskopis yang serupa atau bahkan tidak terlihat jelas.⁵

Pemeriksaan Toksikologi

Mekanisme bagaimana bahan kimia terikat pada rambut belum sepenuhnya dipahami, namun secara umum, xenobiotik dapat memasuki rambut melalui tiga mekanisme: (1) dari darah saat pembentukan rambut di folikel, (2) dari transfer zat melalui keringat dan sebum, dan (3) dari lingkungan eksternal.¹⁷

Sampel rambut sebaiknya diambil dari area vertex posterior (bagian belakang kepala), karena area ini memiliki lebih sedikit variabilitas dalam tingkat pertumbuhan rambut dan lebih sedikit dipengaruhi oleh faktor usia atau jenis kelamin. Jika rambut kulit kepala tidak tersedia, rambut kemaluan, lengan, dan ketiak dapat menjadi alternatif, meskipun interpretasi lebih kompleks karena adanya perbedaan konsentrasi obat di berbagai jenis rambut dari individu yang sama. Perbedaan ini disebabkan oleh faktor-faktor seperti pasokan darah, rasio telogen-

anagen, tingkat pertumbuhan, dan jumlah kelenjar apokrin yang bervariasi.¹⁴ Pemeriksaan toksikologi pada rambut sendiri dapat mencakup beberapa hal, yaitu:

1. Verifikasi riwayat penggunaan obat-obatan

Analisis rambut sangat berguna untuk memverifikasi riwayat penggunaan obat-obatan terlarang. Penyalahgunaan narkoba dapat terdeteksi melalui rambut, karena jejak penggunaan dapat tertinggal berbulan-bulan. Dengan menggunakan potongan rambut bersegmen, analisis dapat memberikan linimasa penggunaan obat oleh individu. Potongan rambut harus diambil sedekat mungkin dengan kulit kepala dan kemudian dipotong lebih kecil-kecil dengan hati-hati untuk memastikan urutan yang benar. Informasi tentang pergantian penggunaan obat, seperti dari heroin ke kodein atau ethyl-morphine, juga dapat diperoleh dengan akurat. Namun, untuk golongan cannabinoid, analisis dengan potongan bersegmen tidak efektif untuk menentukan durasi penggunaan, karena waktu paruh golongan ini cukup panjang, sehingga zat tersebut dapat bertahan di tubuh selama minggu hingga bulan.^{13,17}

Tabel 2.2 Rekomendasi dari *Society of Hair Testing* terhadap nilai *cut-off* substansi dan metabolit untuk mengidentifikasi adanya penggunaan¹⁸

Group	Screening		Confirmation
	Cut-off (ng/mg)	Target analyte	Cut-off (ng/mg)
Amfetamines	0.2	Amfetamine	0.2
		Metamfetamine	0.2
		Methylenedioxyamfetamine (MDA)	0.2
		Methylenedioxymetamfetamine (MDMA)	0.2
Cannabinoids	0.1	Tetrahydrocannabinol (THC)	0.005
		Tetrahydrocannabinol carboxylic acid (THC-COOH)	0.0002
Cocaine	0.5	Cocaine	0.5
		Benzoylcegonine (BZE), ecgonine methyl ester (EME), cocaethylene (CE), norcocaine (N-desmethylococaine, NC)	0.05
Ethanol	-	Ethyl glucuronide abstinence, segment 0-3 cm	0.007
		Ethyl glucuronide "chronic excessive use"	0.03
		Ethyl palmitate abstinence, segment 0-3 cm	0.012
		Ethyl palmitate, "chronic excessive use"	0.35
Opiates	0.2	Morphine	0.2
		Codeine	0.2
		6-Acetylmorphine (6-AM)	0.2
Methadone	0.2	Methadone	0.2
		2-Ethylidene-1,5-dimethyl-3,3-diphenylpyrrolidine (EDDP)	0.05
Buprenorphine	0.01	Buprenorphine	0.01
		Norbuprenorphine	0.01

Penggunaan nilai *cut-off* dari penggunaan *immunoassay* telah diusulkan untuk membedakan antara pemberian obat mandiri atau paparan insidental. Namun, penggunaan nilai *cut-off* dapat menjadi tidak begitu akurat karena adanya kontaminasi eksternal.¹⁸

2. Penyalahgunaan alkohol

Penyalahgunaan alkohol menjadi isu penting baik dari sudut pandang medis maupun hukum. Meskipun demikian, keracunan alkohol akut atau pesta minuman keras tidak dapat didiagnosis melalui analisis rambut. Namun, konsumsi alkohol berlebihan dapat dideteksi dalam rambut melalui dua penanda utama: (1) *ethyl glucuronide* (EtG) yang merupakan penanda utama terkait dengan konsumsi alkohol yang berlebihan dalam jangka waktu yang lebih panjang, dan (2) *fatty acid ethyl esters* (FAEE) yang digunakan untuk memantau konsumsi alkohol yang berlebihan. FAEE terbentuk ketika etanol bereaksi dengan asam lemak bebas, trigliserida, lipoprotein, atau fosfolipid, yang ada di hati dan akar rambut. Pengukuran FAEE penting karena senyawa ini dapat memberikan indikasi tentang kerusakan organ yang diinduksi alkohol, menjadikannya relevan untuk pemantauan jangka panjang atas dampak alkohol pada tubuh.¹⁷

3. Verifikasi penggunaan *dopping*

Verifikasi penggunaan *dopping* di kalangan atlet sering kali melibatkan analisis rambut, terutama untuk mendeteksi penggunaan **steroid anabolik**, baik yang endogen maupun eksogen. Steroid ini dapat meningkatkan massa otot dan kekuatan tanpa penambahan lemak, serta mempercepat pemulihan. Analisis rambut bermanfaat untuk mengidentifikasi **hasil negatif palsu** pada tes darah atau urin, terutama jika penggunaan terjadi beberapa hari sebelum kompetisi. Dengan analisis segmental rambut, dapat dilihat pola penggunaan berulang, karena setiap segmen batang rambut mewakili periode waktu tertentu¹⁷

4. Syarat lisensi mengemudi

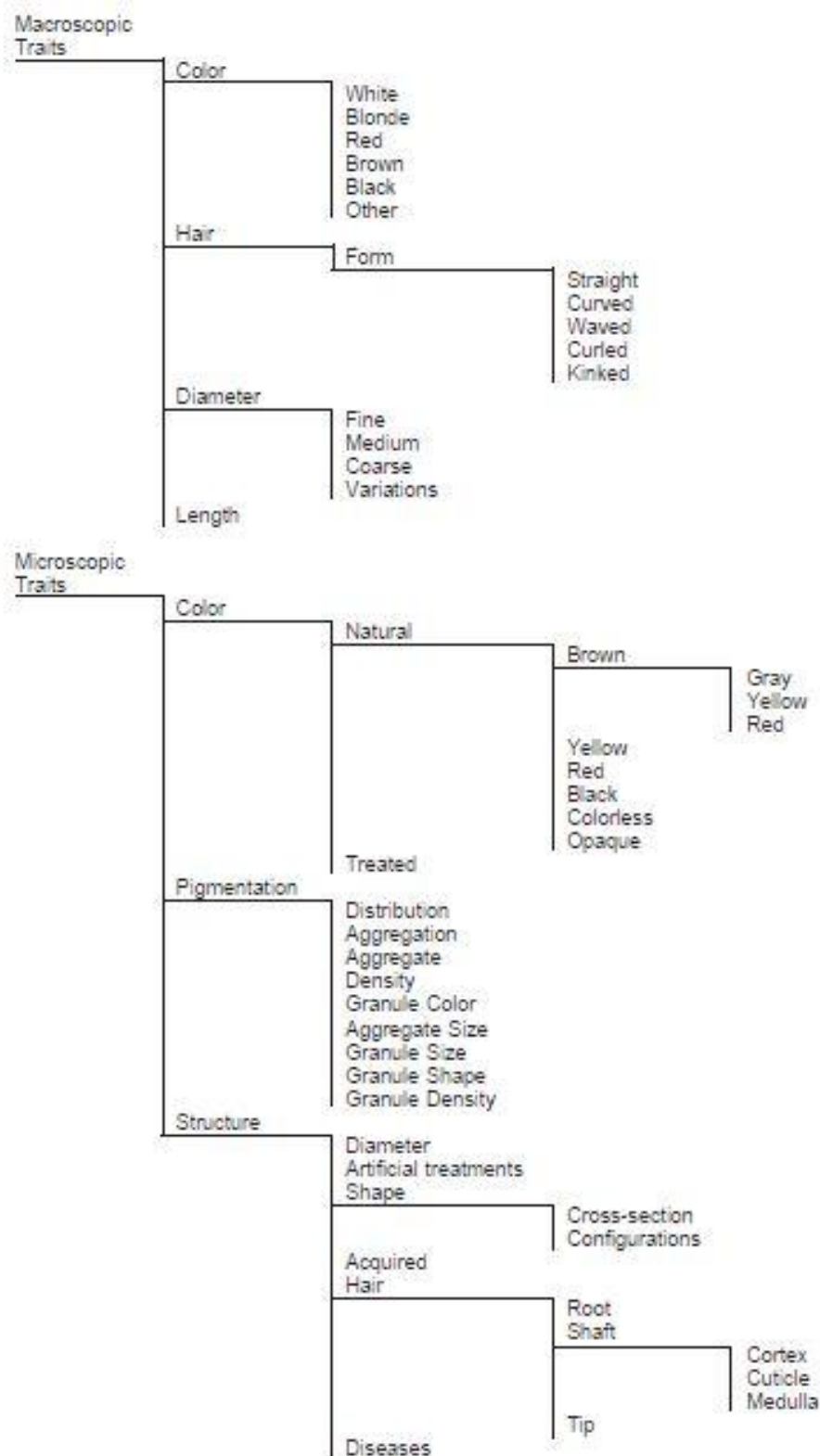
Hal ini juga dapat dipengaruhi oleh penyalahgunaan obat-obatan psikoaktif. Di beberapa negara, SIM dapat ditolak, dicabut, atau ditangguhkan akibat kecanduan narkoba atau *Driving Under Influence*. Namun, setelah komite medis melakukan evaluasi psikologis dan pengujian rambut, seseorang bisa mendapatkan kembali SIM jika terbukti bebas dari narkoba dan tidak berisiko kambuh..¹⁷

5. Kejahatan kriminal yang menggunakan obat-obatan

Kasus kejahatan kriminal yang menggunakan obat-obatan semakin meningkat. Obat-obatan yang terlibat termasuk benzodiazepin (seperti: flunitrazepam), hipnotik (zopiklon, zolpidem), obat penenang (neuroleptik), obat bius (GHB, ketamin), narkotika (ganja, ekstasi), dan etanol. Zat-zat ini sering dicampurkan dalam minuman dan memiliki durasi aksi yang pendek, sehingga tes darah atau urin seringkali tidak efektif. Pengujian rambut

memberikan bukti pajanan yang lebih lama, memungkinkan untuk mendeteksi penggunaan zat-zat tersebut.¹⁷

Namun, **analisis satu segmen rambut** tidak dapat membedakan antara pajanan jangka panjang dan pajanan tunggal, atau untuk menentukan dosis obat yang digunakan.^{14,17}



Gambar 2.7 Algoritma Pemeriksaan Rambut⁵

Akurasi Pemeriksaan Rambut

Tujuan utama dari pemeriksaan rambut forensik adalah untuk melakukan perbandingan mikroskopis antara rambut yang ditemukan di tempat kejadian perkara (TKP) dengan sampel rambut yang diketahui, menggunakan mikroskop perbandingan berdasarkan karakteristik seperti akar, mikroanatomi batang, dan ujung rambut. Evaluasi sifat-sifat mikroskopis ini di dalam dan antara sampel adalah langkah penting dalam proses perbandingan.⁵ Namun, menafsirkan hasil perbandingan rambut forensik tidak sesederhana yang dibayangkan. Tulisan hasil pemeriksaan rambut mikroskopis sering kali berbunyi seperti:

- "Sampel rambut dari TKP dan sampel rambut terdakwa mirip dan konsisten."
- "Rambut kemaluan dari TKP dan rambut kemaluan dari terdakwa menunjukkan karakteristik mikroskopis yang sama."
- "Rambut dari TKP serupa dengan milik terdakwa."
- "Rambut dari TKP menunjukkan karakteristik mikroskopis yang sama dengan rambut terdakwa."

Gaudette dan Wickenheiser *et al.* telah melakukan penelitian untuk mengevaluasi analisis rambut secara statistik yang menunjukkan bahwa meskipun proses ini sering digunakan, meskipun hingga saat ini tidak ada metode yang dapat menghitung signifikansi perbandingan tersebut secara pasti. Hal ini dikarenakan rambut merupakan bahan biologis yang kompleks, dan penerjemahan sifat rambut ke seluruh populasi sangat bervariasi. Rambut juga memiliki bentuk tiga dimensi, sehingga pengukuran sifat-sifatnya menjadi lebih rumit karena karakteristik rambut harus dicatat dalam dimensi X, Y, dan Z—dan ini sangat sulit diukur dengan mikroskop.

Dalam konteks analisis forensik, analisis DNA lebih mudah dilakukan dan sering dianggap lebih dapat diandalkan dibandingkan analisis mikroskopis rambut. Meskipun begitu, rambut tetap memiliki nilai sebagai barang bukti dalam penyelidikan kriminal karena kemampuannya untuk berpindah antara individu dan TKP dengan mudah. Barang bukti rambut dapat memberikan informasi penting dalam rekonstruksi kejadian atau bahkan membantu dalam identifikasi seseorang.

Namun, berdasarkan penelitian terbaru yang disorot oleh FBI pada tahun 2012, penggunaan bukti rambut sering kali dipertanyakan karena penggunaannya yang tidak tepat dan kecenderungan untuk menggantinya dengan metode yang lebih diskriminatif seperti **DNA profiling**. Ini telah mengurangi kepercayaan terhadap analisis rambut dan menyebabkan penurunan penggunaannya sebagai bukti forensik. Meski demikian, penelitian oleh Wilkinson

et al. pada tahun 2020 menunjukkan bahwa pemeriksaan mikroskopis rambut masih sangat bermanfaat dan dapat memberikan informasi yang berguna, meskipun hasilnya lebih sulit untuk diandalkan dibandingkan dengan analisis DNA.¹⁹

Referensi

1. Palmbach TM. Crime Scene Investigation and Examination: Chain of Evidence. Vol. 1, Encyclopedia of Forensic and Legal Medicine: Second Edition. Elsevier Ltd.; 2015. 679–685 p.
2. Lee HC, Ladd C. Preservation and collection of biological evidence. *Croat Med J*. 2001;42(3):225–8.
3. Fisher BF, James SH, Nordby JJ, Bell S. Forensic Science: An Introduction to Scientific and Investigative Techniques. 4th ed. James SH, Nordby JJ, Bell S, editors. Cambridge University Press. Boca Raton: CRC Press; 2014. 363–371 p.
4. The National Forensic Science Technology Center (NFSTC). A Simplified Guide To Trace Evidence. 2013.
5. Houck MM, Siegel JA. Fundamentals of Forensic Science. 3rd ed. Oxford: Academic Press; 2015.
6. Hoediyanto, Apuranto H, Hariadi A. Buku Ajar Ilmu Kedokteran Forensik dan Medikolegal. 8th ed. Hoediyanto, Apuranto H, editors. Surabaya: Departemen Ilmu Kedokteran Forensik dan Medikolegal Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga; 2012. 312–317 p.
7. Roux C, Robertson J. Trace Evidence Overview. 2nd ed. Encyclopedia of Forensic Sciences: Second Edition. Elsevier Ltd.; 2013. 279–285 p.
8. Houck MM. Trace Evidence Analysis : More cases in mute witnesses. Houck MM, editor. Forensic Science Initiative West Virginia University Morgantown. MORGANTOWN, WEST VIRGINIA: Elsevier Academic Press; 2004.
9. Anthony J. Bertino. Forensic Science: Fundamentals and Investigations. Jack W. Calhoun, editor. South-Western, Cengage Learning. New York; 2012.
10. Gehl R, Plecas D. Introduction to Criminal Investigation : Processes , Practices and Thinking. 2016;84–101.
11. DiMaio VJ, DiMaio D. Forensic Pathology. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; 2004.
12. Forensic Sciences Division AFP. The Practice Of Crime Scene Investigation. Horswell J, editor. The Practice Of Crime Scene Investigation. Boca Raton: CRC Press; 2017.
13. Usman M, Naseer A, Baig Y, Jamshaid T, Shahwar M, Khurshuid S. Forensic

- toxicological analysis of hair: a review. Egypt J Forensic Sci. 2019;9(1).
14. Kintz P. Hair Analysis in Forensic Toxicology: An Updated Review with a Special Focus on Pitfalls. Curr Pharm Des. 2017;23(36):5480–6.
 15. Mangin P. Drug analysis in nonhead hair. In: Drug testing in hair. 1996. p. 279–80.
 16. Kronstrand R, Förstberg-Peterson S, Kågedal B, Ahlner J, Larson G. Codeine concentration in hair after oral administration is dependent on melanin content. Clin Chem. 1999 Sep;45(9):1485–94.
 17. Kintz P. Hair Analysis in Forensic Toxicology. Wiley Interdiscip Rev Forensic Sci. 2018;(July).
 18. Cuypers E, Flanagan RJ. The interpretation of hair analysis for drugs and drug metabolites. Clin Toxicol [Internet]. 2018;56(2):90–100. Available from: <https://doi.org/10.1080/15563650.2017.1379603>
 19. Wilkinson L, Gwinnett C. An international survey into the analysis and interpretation of microscopic hair evidence by forensic hair examiners. Forensic Sci Int [Internet]. 2020; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110158>