

Aspek Biomekanika Forensik Pada Trauma Peluru Plastik *Airsoft Gun*

Ade Firmansyah Sugiharto, Ira Zefanya Pattihahuan

*Departemen Ilmu Kedokteran Forensik dan Studi Medikolegal, Fakultas
Kedokteran, Universitas Indonesia, Jakarta*

Abstrak

Aspek biomekanika trauma yang diakibatkan senjata api (termasuk airsoft gun) bergantung pada energi peluru dan kekuatan tahanan jaringan tubuh. Energi yang dihasilkan peluru plastik airsoft gun lebih rendah dibandingkan senjata api, sehingga trauma yang ditimbulkan tidak bersifat lethal, namun cukup kuat untuk menimbulkan kerusakan pada jaringan tubuh. Energi peluru per luas permukaan tubuh dipengaruhi oleh kecepatan lontaran, berat, dan diameter peluru. Energi maksimum airsoft gun yang diizinkan di Indonesia sebesar 2 Joule, dengan diameter maksimum peluru plastik 8 mm dan berat maksimum 0,4 gram. Penggunaan peluru plastik airsoft gun pada literatur rata-rata sebesar 6 mm, dengan berat peluru yang bervariasi. Bila dikombinasikan dengan energi maksimum sebesar 2 Joule sesuai peraturan di Indonesia, akan menghasilkan energi per luas permukaan maksimum sebesar 7 J/cm². Kasus perlukaan akibat peluru plastik paling banyak ditemukan pada bola mata dengan ketahanan jaringan sebesar 4,3-4,8 J/cm². Perlukaan yang paling sering berupa abrasi kornea, hifema, ruptur bola mata, dan kontusio. Kulit memiliki ketahanan jaringan yang lebih besar, yaitu sebesar 23,99 J/cm², namun tetap ditemukan kasus penetrasi peluru plastik pada kulit area wajah dengan manifestasi klinis berupa kulit yang eritem dan peluru yang bersarang 5 mm di bawah kulit.

Kata Kunci: *Biomekanika forensik, Trauma, Peluru plastik, Airsoft gun.*

Forensic Biomechanic Aspect Of Trauma Due To Airsoft Gun Plastic Pellet

Ade Firmansyah Sugiharto, Ira Zefanya Pattihahuan

Department of Forensic and Medicolegal, University of Indonesia, Jakarta

Abstract

The biomechanical aspects of trauma caused by airsoft gun plastic pellets depend on the energy generated by the pellet and the tissue resistance. The airsoft gun plastic pellet creates lower energy compare to firearm, thus creating non-lethal effect to human body, but sufficient for creating tissue damage. This energy is determined by the velocity, weight, and diameter of the plastic pellet. Indonesia allows for a maximum of 2 Joule energy, 8 mm in diameter, and 0,4 gram in maximum weight for airsoft gun plastic pellet. When it hits body surface, this characteristics will create energy of 3,98 J/cm², and 7 J/cm² with 6 mm plastic pellet diameter. The most common case of injury due to airsoft gun plastic pellet is eye ball injury. With a resistance of 4.3-4.8 J/cm², trauma from airsoft gun plastic pellets can result in corneal abrasion, hyphema, contusion, and even rupture. Skin has much higher resistance, which is 23,99 J/cm². Some injury may still be found, including erythema and 5 mm skin penetration.

Keywords: Forensic biomechanic, Trauma, Plastic pellet, Airsoft gun.

Pendahuluan

Secara garis besar, senapan dibagi menjadi 2 jenis yaitu *Powder Gun* dan *Non Powder Gun* berdasarkan perbedaan pada mekanisme pelontaran peluru. *Powder Gun* memanfaatkan bubuk mesiu untuk menghasilkan energi kinetik dan lontaran peluru, sedangkan *Non Powder Gun* (NPG) memanfaatkan kekuatan tekanan udara atau pegas.¹ NPG terbagi secara luas menjadi senapan angin (air gun), *airsoft gun*, dan *paintball*.

Penggunaan NPG telah diatur dalam Peraturan Kepolisian Negara Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2022.² Senjata replika (*airsoft gun* dan *paintball*) dan senjata angin (pistol angin dan senapan angin) tergolong sebagai senjata api, yang hanya digunakan untuk kepentingan olahraga. Peraturan Kepolisian Negara Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2018 mengatur tentang persyaratan *airsoft gun* yang digunakan sebagai hobi, yaitu energi maksimal 2 Joule, berat peluru plastik maksimum 0,4 gram, dan diameter 8 mm.³ Spesifikasi *airsoft gun* yang sama juga diterapkan di Hongkong dengan energi maksimal sebesar 2 Joule, energi yang lebih besar dari itu akan dianggap sebagai senjata api.⁴ Di Inggris, energi maksimum *airsoft gun* tidak boleh melebihi 1,35 Joule.⁵

Meskipun regulasi spesifikasi dan

penggunaan *airsoft gun* telah ada, masih ditemukan kasus perlukaan akibat tembakan peluru plastik *airsoft gun*. Peredaran *airsoft gun* yang tidak sesuai dengan regulasi dapat menimbulkan energi kinetik *airsoft gun* yang melebihi batas maksimal tahanan tubuh manusia, sehingga terjadi perlukaan. Dua bagian tubuh yang paling banyak dilaporkan mengalami perlukaan akibat *airsoft gun* yaitu pada bola mata dan kulit.

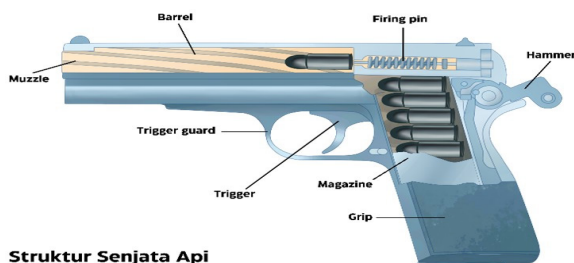
Pelontaran Peluru pada Airsoft Gun dan Senjata Api

Pelontaran peluru *airsoft gun* memiliki dua mekanisme, yaitu dengan menggunakan per atau tekanan angin. Pada *airsoft gun* jenis tekanan angin, digunakan beberapa gas bertekanan tinggi yang mampu melontarkan peluru. Dalam setiap tarikan pelatuk, peluru akan naik pada chamber dan gas akan dilepaskan sesuai masing-masing senjata. Senjata ini bersifat otomatis, sehingga tidak perlu dikokang dan akan melontarkan peluru dengan sangat cepat hingga 750-850 butir peluru setiap menit.⁵

Penggunaan per dalam *airsoft gun* menggunakan *compression spring* yang memendek saat dilakukan pengokangan senjata dan akan memanjang saat pelatuk di tekan, sehingga peluru akan terlontar keluar. Kece-

patan lontaran akan bergantung dari kekuatan per yang digunakan di dalam mekanisme tersebut.⁶ Pelontaran peluru pada jenis per ini berjenis *single shot*, sehingga pada setiap pelontaran peluru harus dilakukan pengokanagan. *Airsoft gun* dengan mekanisme ini lebih banyak ditemukan dibandingkan *airsoft gun* yang menggunakan tekanan angin. Beberapa modifikasi dapat ditambahkan pada sistem per dengan mesin elektrik, sehingga senjata bersifat otomatis.⁵

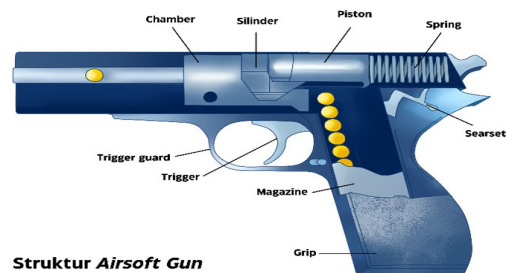
Berbeda dengan *airsoft gun*, mekanisme pelontaran peluru pada senjata api terjadi di dalam peluru itu sendiri. Senapan berperan dalam aktivasi bahan peledak primer pada peluru melalui *firing pin* yang mengkompresi bahan peledak primer di dalam peluru. Bahan peledak primer akan teraktivasi, memberikan energi melalui lubang flash dan bahan peledak tersier dalam selongsong akan teraktivasi. Bahan peledak tersier tersebut akan menghasilkan gas, mengakibatkan perbedaan tekanan, dan mendorong anak peluru ke segala arah. Selongsong peluru yang didesain untuk mencegah tekanan tersebut keluar ke belakang, mengakibatkan anak peluru terlontar ke depan dan keluar dari moncong senjata (*muzzle*).⁷



Struktur Senjata Api

kecepatan yang menurun drastis ketika kontak dengan jaringan.⁶

Pada senjata api, dua mekanisme perlukaan tersebut tidak dapat dihindarkan karena energi kinetik yang dihasilkan sangat besar. Semakin besar energi kinetik suatu peluru belum tentu mengakibatkan keparahan yang semakin besar. Ketika peluru menembus jaringan dan keluar dari tubuh, maka energi kinetik yang masih tersisa dapat diteruskan keluar dari tubuh. Perlukaan yang terjadi merupakan akibat dari sebagian energi kinetik yang melewati jaringan tubuh. Sedangkan energi kinetik yang habis saat peluru berada di dalam jaringan mengakibatkan kerusakan yang terjadi berupa kavitas. Perlukaan diakibatkan oleh seluruh energi kinetik dari peluru tersebut. Efek destruksi yang maksimal akibat pembentukan kavitas membutuhkan energi kinetik yang berbeda pada setiap jenis senjata, serta bergantung pada jenis organ yang terdampak. Faktor yang mempengaruhi ukuran kavitas adalah energi kinetik peluru saat pelontaran dan menumbuk jaringan, perputaran peluru, serta densitas, elastisitas, dan kekuatan jaringan.⁷



Struktur Airsoft Gun

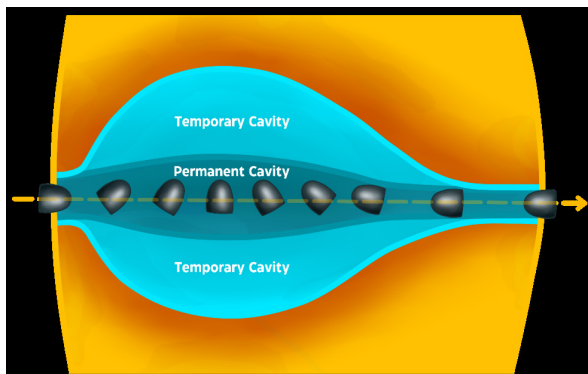
Gambar 1. Struktur Senjata Api dan *Airsoft Gun* dengan Mekanisme per (*spring*)
(Digambar ulang dari beberapa sumber)^{8,9}

Perbedaan Perlukaan pada Senjata Api dengan *Airsoft Gun*

Peluru pada senjata api mengakibatkan perlukaan melalui dua mekanisme. Pertama, kekuatan gaya yang membentur kulit dan laserasi membuka jalan masuk ke jaringan di bawah kulit. Berikutnya, peluru mengakibatkan jaringan meregang akibat gerakan peluru yang cepat dan memutar dan membentuk kavitas. Kavitas yang terbentuk pada awalnya bersifat sementara, yang akan bertahan sekitar 5-10 milisekon, sebelum kemudian menjadi permanen akibat tekanan positif dan negatif pada jalur peluru. Namun, pada penggunaan *airsoft gun*, dampak mekanisme perlukaan akibat masuknya peluru ke dalam tubuh lebih kecil, karena berat peluru yang ringan dan

Perhitungan Energi Peluru

Kerusakan pada jaringan tubuh dapat terjadi apabila kekuatan tahanan jaringan tubuh lebih rendah dibandingkan energi per luas permukaan peluru saat mengenai jaringan tubuh. Energi peluru saat mencapai permukaan tubuh manusia dipengaruhi oleh berat peluru, kecepatan peluru saat mencapai permukaan jaringan, dan diameter peluru.¹² Semakin berat dan cepat peluru maka semakin besar kekuatan penetrasi peluru tersebut, sedangkan semakin besar ukuran peluru maka semakin kecil kekuatan energi per luas permukaannya. Kecepatan peluru saat mencapai permukaan jaringan tubuh akan dipengaruhi oleh energi kinetik dan jarak target. Bentuk peluru juga memiliki peranan di dalam destruksi jaringan



Gambar 2. Mekanisme Perlukaan pada Senjata Api
(Digambar ulang dari beberapa sumber)^{10,11}

karena dapat memperkecil atau memperluas area kontak peluru.^{12,13} Energi penetrasi peluru pada tubuh akan diukur saat peluru mengenai jaringan tubuh dengan rumus energi kinetik = $\frac{1}{2} mv^2$ yang dibagi dengan luas lingkaran = $\frac{1}{4} \pi d^2$:

$$\frac{E}{a} = \frac{2mv^2}{\pi d^2}$$

- E = energi (J)
- a = luas permukaan peluru (lingkaran) (cm²)
- m = massa (kg)
- v = kecepatan (m/s)
- π = pi (3,14 atau 22/7)
- d = diameter (cm)

Peluru dengan diameter 8 mm, berat 0,12-0,4 gram, dan energi kinetik maksimal 2 Joule menurut regulasi di Indonesia akan menghasilkan energi per luas permukaan yang berbeda-beda. Berdasarkan literatur, penggunaan peluru plastik *airsoft gun* rata-rata memiliki diameter 6 mm, dengan berat yang berbeda-beda.¹⁴ Pada diameter 6 mm, dengan kecepatan antara 70-182 m/s, dapat diperoleh energi per luas permukaan maksimum sebesar 7,08 J/cm², sedangkan pada diameter 8 mm, dapat diperoleh energi per luas permukaan

Tabel 1. Tabel Energi per luas Permukaan Peluru Plastik *Airsoft gun* Berdasarkan Perpol No. 5 Tahun 2018

Berat Peluru (gram)	Kecepatan (m/s)	Energi Kinetik (J)	Diameter (cm)	Energi/Area Maksimum (J/cm ²)	Diameter (cm)	Energi/Area Maksimum (J/cm ²)
0,4	70	0,98	0,6	3,467799009	0,8	1.950636943
	80	1,28		4,529370134		2.547770701
	90	1,62		5,732484076		3.224522293
	100	2		7,077140835 (Tertinggi)		3.98089172 (Tertinggi)
0,25	70	0,6125	0,6	2,167374381	0,8	1.219148089
	80	0,8		2,830856334		1.592356688
	90	1,0125		3,582802548		2.015326433
	100	1,25		4,423213022		2.488057325
	110	1,5125		5,352087757		3.010549363
	120	1,8		6,369426752		3.582802548
0,2	126	1,9845	0,6	7,022292994	0,8	3.950039809
	70	0,49		1,733899505		0.975318471
	80	0,64		2,264685067		1.27388535
	90	0,81		2,866242038		1.612261146
	100	1		3,538570418		1.99044586
	110	1,21		4,281670205		2.40843949
0,12	120	1,44	0,6	5,095541401	0,8	2.866242038
	141	1,9881		7,035031847		3.957205414
	70	0,294		1,040339703 (Terendah)		0.585191083 (Terendah)
	80	0,384		1,35881104		0.76433121
	90	0,486		1,719745223		0.967356688
	100	0,6		2,123142251		1.194267516
	110	0,726	0,6	2,569002123	0,8	1.445063694
	120	0,864		3,057324841		1.719745223
	182	1,98744		7,032696391		3.95589172

maksimum sebesar 3,98 J/cm². Energi yang dituliskan di sini merupakan energi peluru pada saat terlontar pertama kali. Secara logika, energi ini akan menurun setelah menempuh jarak lintasan tertentu.

Lintasan proyektil setelah meninggalkan laras berupa lintasan parabola, yang dipengaruhi oleh gravitasi, hambatan udara, sudut peluncuran, dan efek gyroskopis pada laras. Jarak lintasan proyektil mengacu pada pergerakan proyektil sebelum kehilangan energi kinetiknya secara signifikan atau sebelum menyimpang dari lintasan proyektil. Jarak efektif merupakan jarak maksimum senjata secara akurat mengenai target, sedangkan jarak maksimum merupakan jarak terjauh yang dapat ditempuh oleh proyektil.¹⁵ Jarak efektif peluru plastik *airsoft gun* dengan *muzzle velocity* antara 70-120 m/s yaitu antara 30-50 meter.¹³ Rumus penurunan proyektil pada waktu tertentu dapat dihitung menggunakan rumus berikut:^{15,16}

$$h = \frac{1}{2}gt^2$$

h = penurunan proyektil (m)
 g = gravitasi (9,8 m/s)
 t = waktu lintasan proyektil (s)

Contoh: Seseorang ingin mengetahui penurunan proyektil pada waktu 0,25 detik.

$$h = \frac{1}{2} \times 9,8 \times 0,25^2 = 0,306 \text{ m} = 30,6 \text{ cm}$$

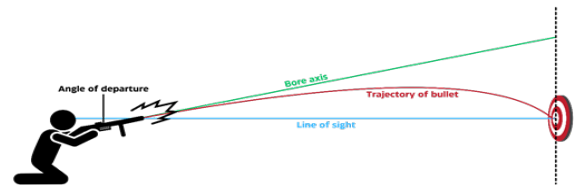
Perkiraan penurunan proyektil berdasarkan waktu lintasan dapat dihitung menggunakan rumus di atas, yang menunjukkan bahwa pada detik tertentu, pergerakan peluru akan mengalami penurunan berupa lengkungan ke bawah sesuai gravitasi dari lintasan mendatar awal. Pada rumus tersebut, dapat diperkirakan bahwa pada waktu 0,25 detik, proyektil dapat mengalami penurunan sebesar 30,6 cm, berapa pun *muzzle velocity* senjata.⁹ *Muzzle velocity* akan mempengaruhi berapa jarak penurunan proyektil dari titik penembakan awal, bukan seberapa besar penurunan yang terjadi pada proyektil. Dengan melihat rumus di atas dan menerapkannya pada rumus berikut, maka dapat ditentukan jarak penurunan proyektil tersebut:

$$s = vt$$

s = jarak maksimum (m)
 v = *muzzle velocity* (m/s)
 t = waktu lintasan proyektil (s)

Contoh: Seseorang ingin mengetahui pada jarak berapa terjadi penurunan proyektil 30,6 cm, dengan *muzzle velocity* 100 m/s.
 $s = 100 \times 0,25 = 25 \text{ m}$

Sebagai contoh, apabila seseorang menembak dengan *muzzle velocity* 100 m/s, maka dalam waktu 0,25 detik, maka proyektil akan mengalami penurunan sebesar 30,6 cm pada jarak 25 m. Apabila *muzzle velocity* ditambah menjadi 120 m/s, maka proyektil akan mengalami penurunan sebesar 30,6 cm pada jarak 30 m, dan dalam waktu 0,1 detik akan mengalami penurunan sebesar 4 cm pada jarak 4 m. Jarak proyektil juga dipengaruhi oleh ketinggian awal penembakan. Misalnya, ketika seseorang menembak dari ketinggian 10 cm di atas tanah, maka pada waktu 0,25 detik, peluru akan mendarat di tanah sebelum menempuh jarak yang seharusnya.



Gambar 3. Lintasan Proyektil
 (Digambar ulang dari beberapa sumber)⁹

Secara umum, faktor-faktor eksternal yang mempengaruhi jarak dan lintasan proyektil berupa:^{15,16}

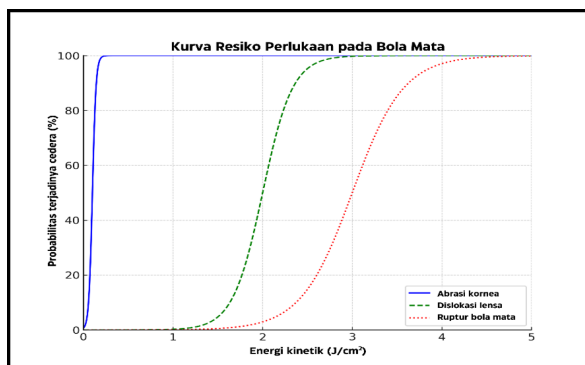
1. Gravitasi: akselerasi akibat gravitasi menarik proyektil ke arah bawah, sehingga lintasan proyektil secara umum akan berbentuk melengkung ke bawah.
2. Hambatan udara (*air resistance*): merupakan gaya yang berlawanan dengan arah lintasan proyektil, yang akan mengurangi energi kinetik dan kecepatan proyektil. Semakin luas permukaan proyektil, maka semakin tinggi pula hambatan udara di sekitar proyektil. Nilai hambatan udara di sekitar proyektil disebut *drag*. Koefisien *drag* pada peluru berbentuk bulat seperti pada peluru plastik *airsoft gun* sebesar 0,543.¹⁷
3. Angin: arah lintasan peluru dapat berubah sesuai dengan proporsi arah angin dan kecepatan angin yang melewati lintasan tersebut.⁹
4. Suhu udara: suhu udara yang rendah akibat presipitasi menyebabkan udara yang lebih padat, sedangkan suhu udara yang tinggi menyebabkan udara yang lebih ringan, sehingga tahanan pada lintasan peluru lebih rendah.¹⁶
5. Kelembaban: pada udara yang lembab,

udara lebih ringan dan lintasan proyektil lebih mendatar dibandingkan pada udara yang kering.¹⁶

Biomekanika Trauma Luka Tembak Akibat Peluru Plastik pada Bola Mata

Penelitian menembak bola mata pada hewan coba berupa babi dilakukan oleh Kratz et al., dengan kecepatan peluru 73 m/s, berat peluru 0,12 gram, energi kinetik sebesar 0,32 Joule, dan energi per luas permukaan sebesar 1,13 J/cm². Pada hasil penelitian, didapatkan erosi kornea dan hifema, namun tidak terjadi penetrasi pada bola mata babi.¹³ Pada penelitian lain oleh Marshall et al., ditemukan ruptur bola mata pada sampel babi dengan kekuatan sebesar 4,3-4,8 J/cm² menggunakan peluru plastik dengan berat 0,11 gram dan diameter 6 mm, serta jarak tembak 2 inci.¹² Pada penelitian oleh Kennedy et al., dilakukan analisis dari literatur yang sudah ada, dengan penelitian eksperimental menggunakan bola mata manusia dan bola mata babi, yang ditembakkan menggunakan proyektil berbahan aluminium, *ball-bearing*, *airsoft pellets*, dan peluru *paintball*. Didapatkan 50% risiko ruptur bola mata manusia pada energi per luas permukaan 3,6 J/cm² (CI 3,2-4,1 J/cm²). Data tersebut menunjukkan bahwa bola mata manusia memiliki resistensi jaringan yang lebih rendah dibandingkan bola mata babi, yaitu sebesar 7,1 J/cm² (CI 6,3-8 J/cm²).¹⁸

Berdasarkan penelitian oleh Duma et al., didapatkan data-data publikasi penetrasi berbagai proyektil pada bola mata manusia. Diperoleh kemungkinan sebesar 50% untuk terjadi kerusakan akibat peluru plastik berupa erosi kornea dengan energi 0,15 J/cm² (CI 0,08-0,22 J/cm²), dislokasi lensa pada 1,92 J/cm² (CI 0,14-2,42 J/cm²), hifema pada 2,02 J/cm², ruptur bola mata pada 2,38 J/cm² dan kerusakan retina pada 3,04 J/cm² (CI 2,02-3,07 J/cm²).¹⁹



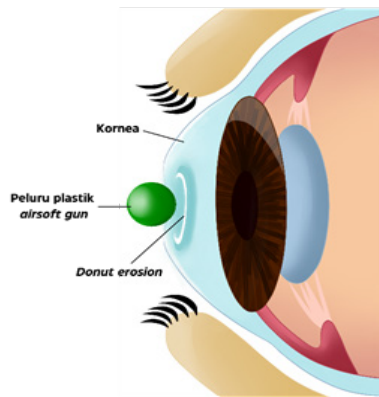
Gambar 4. Kurva Risiko Perlukaan pada Bola Mata
(Digambar ulang dari beberapa sumber)¹⁰

Beberapa laporan kasus trauma pada bola mata manusia akibat peluru plastik *airsoft gun*, menunjukkan adanya penetrasi peluru plastik yang mengakibatkan ablasi retina, sehingga berpotensi mengakibatkan cacat permanen pada bola mata. Berdasarkan Perpol No. 5 Tahun 2018, maka energi maksimal per luas permukaan yang dihasilkan oleh peluru *airsoft gun* dengan diameter 6 mm hanya sebesar 7 J/cm², sehingga risiko terjadinya ruptur kornea sangat kecil. Tidak disebutkan data mengenai berat dan kecepatan *airsoft gun* pada laporan kasus tersebut.²⁰ Apabila spesifikasi *airsoft gun* sesuai dengan aturan, maka kejadian ruptur kornea sangat kecil, karena energi per luas permukaan yang dihasilkan maksimum sebesar 7 J/cm². Dengan energi per luas permukaan 10 J/cm², kecepatan 120 m/s, berat peluru 0,4 gram, dan diameter 6 mm, kemungkinan kejadian enukleasi sebesar 10%.

Pada kasus non-penetrasi di 59 mata, peluru plastik *airsoft gun* mengakibatkan kerusakan pada segmen anterior mata berupa hifema (66,1%), edema kornea (61%), erosi kornea yang khas seperti donat (59,3%), midriasis traumatik (25,4%), peningkatan tekanan intraokuler (1,7%) dan katarak traumatik (1,7%). Pada segmen posterior mata, kerusakan dapat berupa edema retina (22%) dan perdarahan retina serta vitreous (2,1%).¹³

Efek jangka panjang perlukaan non-penetrasi pada bola mata dapat mengakibatkan kelainan pada *trabecular meshwork*, lensa, dan retina. Pada 28 kasus dengan rata-rata waktu *follow up* selama 7 tahun, didapatkan 18 kasus (64%) perubahan sudut pada *trabecular meshwork*, 5 kasus (17%) *local anterior capsular traumatic cataract*, dan 5 kasus (17%) atrofi retina. Keluhan ringan yang dialami berupa fotofobia pada 11 kasus (39%), gangguan membaca pada 9 kasus (32%), gangguan akomodasi pada 8 kasus (28%), pengurangan deteksi warna pada 3 kasus (10%), dan 2 kasus ketidaknyamanan pada mata (7%).²³

Penggunaan pelindung mata khusus mampu mengurangi risiko trauma bola mata, tetapi tidak menghilangkan sepenuhnya. Pelindung mata khusus ini mengikuti pedoman *American Society for Testing and Materials* (ASTM), yaitu lubang harus lebih kecil dari 4,5 mm.²⁴ Pada sebuah laporan, ditunjukkan adanya kasus trauma bola mata non-penetrasi yang masih dapat terjadi ketika peluru plastik *airsoft gun* pecah dan menembus lubang tersebut.²⁵ Pecahan peluru dengan diameter lebih kecil dari 1,5 mm akan memberikan en-



Gambar 5. Donut erosion pada Kornea yang Khas pada Perlukaan Bola Mata Akibat peluru Plastik
(Digambar ulang dari beberapa sumber)¹⁰

ergi per luas permukaan sebesar $11,56 \text{ J/cm}^2$. Pada senjata api berupa handgun, energi kinetik dapat dihasilkan hingga sebesar $1.316,5 \text{ Joule}$ ($0,44 \text{ Magnum}$).⁷ Energi ini sangat besar bila dibandingkan dengan *airsoft gun*. Sebuah penelitian epidemiologi perlukaan pada bola mata akibat senjata api menunjukkan bahwa pada $55,3\%$ kasus luka tembak pada bola mata dapat terjadi cedera otak, diikuti oleh luka terbuka pada bola mata sebesar $41,6\%$ kasus, dan fraktur orbita sebesar 30% kasus.²⁶

Biomekanika Trauma Luka Tembak Akibat Peluru Plastik pada Kulit

Ketahanan jaringan kulit lebih besar dibandingkan jaringan bola mata. Pada kulit, membutuhkan *threshold* yang lebih besar untuk memperoleh 50% risiko penetrasi, yaitu sebesar $23,99 \text{ J/cm}^2$ pada kulit yang menyelubungi tulang iga bagian depan ($p=0,000$), $33,30 \text{ J/cm}^2$ pada kulit area sela iga bagian depan, sampai $52,74 \text{ J/cm}^2$ pada kulit area iga bagian belakang ($p=0,001$). Penelitian ini dilakukan dengan menembakkan roket berbahan karet pada 8 kadaver manusia yang tidak dilakukan embalming.²⁷ Dengan regulasi mengenai *airsoft gun* di Indonesia yaitu sebesar 2 Joule , maksimum energi per luas permukaan yang dihasilkan akan terlalu kecil untuk melukai kulit. Di luar negeri terdapat beberapa laporan kasus yang memaparkan dampak penetrasi peluru *airsoft gun* pada kulit. Sebuah laporan kasus di Inggris oleh Strong dan Martin pada tahun 2014 menunjukkan bahwa penggunaan peluru plastik *airsoft gun* mampu menembus kulit pada area wajah. Saat dilakukan pembedahan, ditemukan peluru plastik berukuran 6 mm dengan berat $0,2 \text{ g}$ yang me-

nembus kulit pipi kiri sedalam 5 mm .¹⁴ Kasus lain di Hongkong, ditemukan nodul eritem yang menyerupai jerawat pada wajah. Hasil dari USG yaitu terdapat massa hipoeoik dengan inti hiperekoik dengan ukuran 6 mm .⁴

Pada kedua laporan kasus tersebut, hanya dilaporkan mengenai diameter dan bahan peluru berupa plastik, namun tidak disebutkan kecepatan saat menumbuk jaringan. Terdapat dua kemungkinan peluru plastik tersebut dapat menembus kulit. Pertama, *threshold* pada kulit wajah lebih kecil daripada bagian tubuh lain, atau terdapat penggunaan *airsoft gun* dengan energi yang melebihi 2 Joule .^{4,14}

Hingga studi literatur ini dibuat, belum terdapat studi kasus yang membahas mengenai perlukaan akibat penetrasi peluru plastik *airsoft gun* pada area batang tubuh, hal ini mungkin disebabkan karena area tubuh memiliki kulit dan lapisan lemak yang lebih tebal dari wajah,²⁸ dan cenderung tertutup pakaian. Namun, trauma tumpul akibat peluru plastik *airsoft gun* yang termasuk ke dalam kekerasan tumpul pada kulit dapat menimbulkan memar atau lecet pada tubuh.

Penggunaan pakaian dapat mengurangi risiko terjadinya penetrasi peluru pada kulit. Sebuah penelitian oleh Wightman tahun 2014 menggunakan *ballistic gel* yang dilapisi berbagai jenis pakaian dan berbagai bentuk peluru besi. Hasil dari penelitian ini adalah peluru bulat memiliki kekuatan penetrasi yang terbesar dibandingkan jenis peluru lainnya, yaitu *pointed*, *flat*, dan *hollow-point*. Bentuk peluru bulat akan mengurangi koefisien gesekan dengan *muzzle* sehingga kecepatan yang dicapai saat terlontar akan lebih besar dibandingkan peluru lainnya.²⁹

Bahan pakaian yang menjadi protektor terluar dari gel menjadi salah satu penilaian dari penelitian ini. Penggunaan pakaian longgar dengan bahan yang sama dapat lebih meredam gaya yang dihasilkan peluru. Pada pakaian yang ketat, bahan katun cenderung lebih melindungi tubuh dari benturan dibandingkan campuran katun dengan polyester. Urutan bahan pakaian yang paling baik melindungi gel yaitu jaket tenun, diikuti oleh *jeans*, kaos dan yang terakhir adalah *fleece* (imitasi wol). Pada jarak tembak $18,3 \text{ meter}$, bahan jaket tenun, *jeans* dan kaos mampu menghentikan penetrasi jika dikenakan dengan longgar.²⁹

Kesimpulan

Energi kontak yang dihasilkan baik oleh *powder gun* maupun *non-powder gun*, termasuk *airsoft gun* dipengaruhi oleh berat,

kecepatan, ukuran, dan bentuk dari peluru. Kekuatan penetrasi peluru pada tubuh manusia dipengaruhi oleh kekuatan jaringan dan pelindung yang melekat. Penggunaan *airsoft gun* di Indonesia diatur dengan maksimal energi 2 Joule yang mampu menghasilkan energi kontak maksimum 7 J/cm². Secara teori, energi tersebut memiliki kemungkinan yang sangat kecil untuk mengakibatkan penetrasi pada bola mata maupun kulit.

Daftar Pustaka

- Loder RT, Luster T. Fractures in children due to firearm activity. *Children* 2023;10(4); doi: 10.3390/children10040651.
- Kepala Kepolisian Negara Republik Indonesia. Peraturan Kepolisian Negara Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2022 Tentang Perizinan, Pengawasan, Dan Pengendalian Senjata Api Standar Kepolisian Negara Republik Indonesia, Senjata Api Non Organik Kepolisian Negara Republik Indonesia/Tentara Nasional Indonesia, Dan Peralatan Keamanan Yang Digolongkan Senjata Api. Indonesia; 2022.
- Kepala Kepolisian Negara Republik Indonesia. Peraturan Kepolisian Negara Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2018 Tentang Pengawasan Dan Pengendalian Replika Senjata Jenis Airsoft Gun Dan Paintball. Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2018 Nomor 637: Indonesia; 2018.
- Tsui C, Tsui K, Tang Y. Ball bearing (BB) gun injuries. *Hong Kong Journal of Emergency Medicine* 2010;17(5):488–91.
- Grocock C, McCarthy R, Williams DJ. Ball bearing (BB) guns, ease of purchase and potential for significant injury. *Ann R Coll Surg Engl* 2006;88(4):402–4; doi: 10.1308/003588406X98630.
- Bligh-Glover WZ. One-in-a-million shot: A homicidal thoracic air rifle wound, a case report, and a review of the literature. *American Journal of Forensic Medicine and Pathology* 2012;33(1):98–101; doi: 10.1097/PAF.0b013e318221b8a9.
- DiMaio VJM. *Gunshot Wounds: Practical Aspects of Firearms, Ballistics, and Forensic Techniques*. 3rd ed. (Geberth VJ. ed). CRC Press: Boca Raton; 2016.
- Aziz F. Ilustrasi 3D Mekanisme Airsoft Gun Spring. 2018. Available from: <https://youtu.be/40t7M6UjHY?si=gx-TVPHIbVH15xjR> [Last accessed: 2/6/2025].
- Heard BJ. *Handbook of Firearms and Ballistics: Examining and Interpreting Forensic Evidence*. 2nd ed. John Wiley & Sons Ltd: United Kingdom; 2008.
- Ditkofsky N, Elbanna KY, Robins J, Ali IT, O'Keeffe M, Berger FH. Ballistic injury imaging: the basics. *Curr Radiol Rep* 2018;6(12); doi: 10.1007/s40134-018-0304-6.
- Stefanopoulos PK, Hadjigeorgiou GF, Filippakis K, Gyftokostas D. Gunshot wounds: A review of ballistics related to penetrating trauma. *Journal of Acute Disease* 2014;3(3):178–85; doi: 10.1016/s2221-6189(14)60041-x.
- Marshall JW, Dahlstrom DB, Powley KD. Minimum velocity necessary for nonconventional projectiles to penetrate the eye: An experimental study using pig eyes. *American Journal of Forensic Medicine and Pathology* 2011;32(2):100–3; doi: 10.1097/PAF.0b013e31820c2be2.
- Kratz A, Levy J, Cheles D, Ashkenazy Z, Tsumi E, Lifshitz T. Airsoft Gun-Related Ocular Injuries: Novel findings, ballistics investigation, and histopathologic Study. *Am J Ophthalmol* 2010;149(1); doi: 10.1016/j.ajo.2009.08.013.
- Strong B, Coady M. Penetrating facial injury with an “Airsoft” Pellet: A case report. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 2014;52(9):e129–e131; doi: 10.1016/j.bjoms.2014.05.007.
- Bolton-King R, Schulze J, Bolton-King R. *Firearms and Ballistics*. In: *Practical Veterinary Forensics*. (Bailey D. ed) CAB International: United Kingdom; 2016; pp. 81–117.
- Massaro PP. *Big Book of Ballistics*. (Graff C. ed). Gun Digest Books: United States of America; 2017.
- Ladommatos N. Drag coefficients of air rifle pellets with wide range of geometries. *Proc Inst Mech Eng C J Mech Eng Sci* 2021;235(21):5365–84; doi: 10.1177/0954406221991190.
- Kennedy EA, Ng TP, McNally C, Stitzel JD, Duma SM. Risk functions for human and porcine eye rupture based on projectile characteristics of blunt objects. *Stapp Car Crash J* 2006;50:651–71; doi: 10.4271/2006-22-0026.
- Duma SM, Ng TP, Kennedy EA, Stitzel JD, Herring IP, Kuhn F. Determination of significant parameters for eye injury risk from projectiles. *Journal of Trauma - Injury, Infection and Critical Care* 2005;59(4):960–4; doi: 10.1097/01.

- ta.0000174830.55282.32.
20. Adyanthaya R, Chou T, Parhiz AT. Penetrating ocular trauma from airsoft gun. *Archives of Ophthalmology* 2012;130(7):944–5; doi: 10.1001/archophthalmol.2012.4.
 21. Kopel J, Keshvani C, Mitchell K, Ted Reid. The activity of Substance P (SP) on the corneal epithelium. *Journal of Clinical & Translational Ophthalmology* 2023;1(2):35–51; doi: 10.3390/jcto1020006.
 22. Wylee O. Cornea: Anatomy, Function, and Associated Eye Problems. 2024. Available from: <https://www.oscarwylee.com.au/glasses/eye/cornea> [Last accessed: 2/6/2025].
 23. Saunte JP. Ocular long term effects of airsoft gun pellet injury, the most frequent ocular trauma mechanism among Danish children: a 7-year follow-up study of 28 cases. *Journal of American Association for Pediatric Ophthalmology and Strabismus* 2015;19(4):e59–e60; doi: 10.1016/j.jaapos.2015.07.189.
 24. American Standard Testing and Material. Standard Specification for Eye Protective Devices for Airsoft Sports. 2021;1–6; doi: 10.1520/F2879-1.
 25. Zhou Y, Osuji E, Beal C. Ocular injury from plastic airsoft bullet through protective steel mesh mask. *Am J Ophthalmol Case Rep* 2022;26; doi: 10.1016/j.ajoc.2022.101567.
 26. Weiss R, He C, Gise R, Parsikia A, Mbekeani JN. Patterns of pediatric Firearm-Related ocular trauma in the United States. *JAMA Ophthalmol* 2019;137(12):1363–70; doi: 10.1001/jamaophthalmol.2019.3562.
 27. Bir CA, Ressler M, Stewart S. Skin penetration surrogate for the evaluation of less lethal kinetic energy munitions. *Forensic Sci Int* 2012;220(1–3):126–; doi: 10.1016/j.forsciint.2012.02.008.
 28. Lauralee S. *Human Physiology : From Cells to Systems*. 9th ed. Boston, MA : Cengage Learning: United States; 2016.
 29. Wightman G, Wark K, Thomson J. The interaction between clothing and air weapon pellets. *Forensic Sci Int* 2015;246:6–16; doi: 10.1016/j.forsciint.2014.10.039.

