

Penerbit

 **ISAINS
MEDIS**

PT. INTISARI SAINS MEDIS



UNIVERSITAS UDAYANA

BEDAH LASER FRAKSIONAL: PRINSIP DASAR, INDIKASI, CARA PENGGUNAAN DAN KOMPLIKASINYA

Penulis:

Ketut Kwartantaya Winaya

Kontributor:

Giorgio Barnes Komala

Aditya Permana

Penyunting:

Ida Bagus Amertha Putra Manuaba

Pande Agung Mahariski



BEDAH LASER FRAKSIONAL: PRINSIP DASAR, INDIKASI, CARA PENGGUNAAN DAN KOMPLIKASINYA

**Penulis:
Ketut Kwartantaya Winaya**

Penerbit :



BEDAH LASER FRAKSIONAL: PRINSIP DASAR, INDIKASI, CARA PENGGUNAAN DAN KOMPLIKASINYA

Penulis:

Dr. dr. Ketut Kwartantaya Winaya, Sp.D.V.E, Subsp. O.B.K, FINSDV, FAADV
Departemen Dermatologi dan Venereologi, Fakultas Kedokteran Universitas
Udayana, Denpasar, Bali, Indonesia
Rumah Sakit Universitas Udayana, Jimbaran, Bali, Indonesia

Penyunting:

dr. Ida Bagus Amertha Putra Manuaba, S.Ked, M.Biomed, Ph.D
Fakultas Kedokteran, Universitas Udayana

dr. Pande Agung Mahariski, S.Ked, Sp.D.V.E

Departemen Dermatologi dan Venereologi, Fakultas Kedokteran Universitas
Udayana, Denpasar, Bali, Indonesia

Kontributor:

dr. Giorgio Barnes Komala

Departemen Dermatologi dan Venereologi, Fakultas Kedokteran Universitas
Udayana, Denpasar, Bali, Indonesia

dr. Aditya Permana, M.Biomed, Sp.D.V.E

Departemen Dermatologi dan Venereologi, Fakultas Kedokteran Universitas
Udayana, Denpasar, Bali, Indonesia
Rumah Sakit Universitas Udayana, Jimbaran, Bali, Indonesia

Penerbit:

PT. Intisari Sains Medis
Bekerjasama dengan
Universitas Udayana

Edisi Pertama

Cetakan pertama: Oktober 2024

ISBN:

Hak cipta dilindungi undang-undang

**Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun
tanpa ijin tertulis dari penerbit**

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya yang telah memberikan kemampuan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan buku dengan judul **“Bedah Laser Fraksional: Prinsip Dasar, Indikasi, Cara Penggunaan dan Komplikasinya”**.

Tatalaksana bidang Onkologi Bedah Kulit dan Kosmetik Medik saat ini tidak hanya berpatokan pada penggunaan skalpel untuk tindakan pembedahan namun juga penggunaan *energy-based device* seperti penggunaan laser fraksional mulai terjadi peningkatan. Penggunaan laser fraksional untuk tatalaksana bedah di bidang Onkologi Bedah Kulit dan Kosmetik Medik tidak hanya dapat memberikan luaran terapi yang baik namun juga meminimalisir adanya efek samping tertentu yang dapat ditimbulkan dari pilihan terapi konvensional.

Buku ini difokuskan pada pembahasan mengenai bedah laser fraksional mulai dari prinsip dasar penggunaan laser fraksional, indikasi, cara penggunaan, dan komplikasinya. Dengan adanya bahasan mengenai bedah laser fraksional ini diharapkan dapat meningkatkan pemahaman dan kompetensi Dokter Spesialis Dermatologi Venereologi dan Estetika khususnya pada bidang Onkologi Bedah Kulit dan Kosmetik Medik.

Penulis menyadari bahwa buku ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan buku ini. Kiranya buku ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Ketut Kwartantaya Winaya

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

Sampul Depan	i
Halaman Judul	ii
Kata Pengantar.....	iii
Daftar Isi	v
Daftar Gambar.....	vii
Daftar Tabel.....	ix
BAGIAN 1 SELAYANG PANDANG.....	1
LASER	1
BAGIAN 2 PRINSIP DASAR LASER	4
PRINSIP DASAR CAHAYA	4
PRINSIP DASAR RADIASI ELEKTROMAGNETIK	5
KARAKTERISTIK LASER	7
KOMPONEN DAN PRODUKSI LASER	8
REAKSI JARINGAN TERHADAP CAHAYA LASER.....	12
PARAMETER LASER	17
FOTOTERMOLISIS FRAKSIONAL	22
BAGIAN 3 PRINSIIP DASAR LASER FRAKSIONAL	24
LASER FRAKSIONAL ABLATIF DAN NON-ABLATIF	24
PARAMETER LASER FRAKSIONAL	32

BAGIAN 4 INDIKASI LASER FRAKSIONAL	35
INDIKASI LASER FRAKSIONAL.....	35
KONTRAINDIKASI LASER FRAKSIONAL	38
BAGIAN 5 PROSEDUR LASER FRAKSIONAL	40
PREOPERATIF	40
INTRAOPERATIF	41
PASCAOPERATIF	43
BAGIAN 6 EFEK SAMPING DAN KOMPLIKASI LASER FRAKSIONAL	46
BAGIAN 7 PENUTUP	52
DAFTAR PUSTAKA	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Waktu pancaran laser	3
Gambar 2.1.	Proses sebuah atom menghasilkan foton ...	4
Gambar 2.2.	Spektrum elektromagnetik	5
Gambar 2.3.	Ilustrasi panjang gelombang dan amplitudo.....	6
Gambar 2.4.	Ilustrasi frekuensi	7
Gambar 2.5.	Karakteristik laser.....	9
Gambar 2.6.	Sistem laser	10
Gambar 2.7.	Proses produksi foton di dalam resonator laser	11
Gambar 2.8.	Proses amplifikasi cahaya dan pembentukan cahaya laser di dalam resonator laser	12
Gambar 2.9.	Articulated arm dan Optical fiber.....	12
Gambar 2.10.	Interaksi sinar laser pada jaringan kulit	13
Gambar 2.11.	Perbedaan panjang gelombang laser.....	14
Gambar 2.12.	Reaksi fototermal pada jaringan.....	15
Gambar 2.13.	Efek dari pulse duration dan energi terhadap jaringan	16
Gambar 2.14.	Laser tanpa fototermolisis selektif dan laser dengan fototermolisis selektif	17
Gambar 2.15.	Handpiece dengan spot size yang dapat disesuaikan	18
Gambar 2.16.	Fokus handpiece	18
Gambar 2.17.	Penetrasi laser berdasarkan panjang gelombang.....	19

Gambar 2.18.	Beam edge effect dan scattering effect.....	19
Gambar 2.19.	Mode pulse pada laser	20
Gambar 2.20.	Prinsip fototermolisis fraksional dengan MTZs	22
Gambar 3.1.	Perbedaan dari laser ablatif dan non-ablatif	24
Gambar 3.2.	Reaksi jaringan kulit setelah laser fraksional non-ablatif	26
Gambar 3.3.	Histologi kulit yang disebabkan oleh laser fraksional ablatif	28
Gambar 3.4.	Penyembuhan jaringan paska laser fraksional ablatif	29
Gambar 3.5.	Reorganisasi dari kolagen tipe I dan III setelah laser fraksional	30
Gambar 3.6.	Aktivasi fibroblas setelah laser fraksional..	31
Gambar 3.7.	Kepadatan kolagen menurun setelah laser fraksional	32
Gambar 3.8.	Tiga jalur aplikasi obat topikal	33
Gambar 5.1.	Pola mode scanning pada laser fraksional	42
Gambar 5.2.	Contoh pass tunggal dan pass overlapping dengan stamping mode	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Medium laser dan panjang gelombang laser ..	11
Tabel 2.2.	Komponen Kulit sesuai <i>Pulse Duration</i>	21
Tabel 2.3.	Thermal Relaxation Time (TRT) untuk struktur tertentu	21
Tabel 3.1.	Perbandingan antara laser fraksional ablatif dan non-ablatif	25
Tabel 4.1.	Indikasi terapi laser fraksional	36
Tabel 5.1.	Parameter Laser Fraksional CO2	44
Tabel 5.2.	Pengaturan energi dan densitas untuk laser fraksional ablatif	44
Tabel 6.1.	Efek Samping Laser Fraksional Ablatif dan Non-Ablatif	50
Tabel 6.2.	Komplikasi laser fraksional	51

LASER

Laser adalah sumber cahaya atau radiasi elektromagnetik yang memiliki karakteristik khusus dibandingkan sumber cahaya lainnya, seperti lampu.¹ Laser sendiri merupakan sebuah akronim dari *light amplification by stimulated emission of radiation*.¹⁻³ Cara kerja laser adalah melalui pemanasan jaringan secara presisi dimana energi optik diabsorpsi ke dalam kulit.²

Pada awalnya, teknologi tentang laser dimulai dari teori tentang kuantum oleh Max Planck pada tahun 1900, dikatakan bahwa cahaya dapat dilepaskan, dipindahkan, dan diabsorpsi dalam jumlah energi tertentu.³ Lalu, teori ini dikembangkan lagi oleh Einstein pada tahun 1917 pada publikasinya yang berjudul teori "*stimulated emission*", ketika foton dengan panjang gelombang tertentu melebur dengan atom, maka akan menghasilkan 2 foton yang dilepaskan secara bersamaan dengan frekuensi yang sama.^{3,4} Pada tahun 1960, laser pertama diciptakan menggunakan energi yang berasal dari batu kristal rubi oleh Theodore Maiman.⁴

Laser fraksional sendiri merupakan konsep laser yang realtif cukup baru dan digagas oleh Mainstein pada tahun 2004 dengan konsep fototermolisis fraksional.^{5,6} Konsep ini dikembangkan dengan tujuan untuk mengurangi efek samping dari konsep laser tradisional, terutama teknik laser *resurfacing*, yaitu waktu *downtime* paska tindakan yang panjang, risiko skar dan hiperpigmentasi paska inflamasi (HPI).⁶ Prinsip

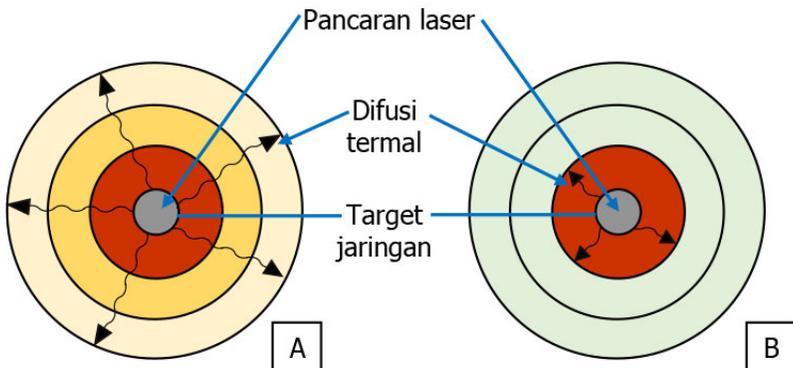
fototermolisis fraksional ini dapat menghasilkan pola *microscopic treatment zones* (MTZs), yang dimana akan meninggalkan kulit sekitar yang tidak rusak sehingga diharapkan dapat mempercepat penyembuhan dan mengurangi efek samping.⁷

Secara umum, prinsip fototermolisis fraksional memberikan efek samping yang lebih minimal dibandingkan laser ablatif konvensional.⁷ Secara umum prinsip foto termolisis dapat dilihat pada **Gambar 1.1**.³ Studi oleh Graber dan kawan-kawan pada 961 subjek yang dilakukan laser fraksional non ablatif, didapatkan bahwa kelompok yang memiliki komplikasi dari laser ini memiliki tipe kulit yang lebih gelap, dengan efek sampingnya adalah hiperpigmentasi pasca inflamasi (HPI).⁸ Namun, dengan pemilihan pasien yang tepat, edukasi pre-prosedural dan penggunaan teknik yang baik, serta penanganan yang segera dari komplikasi dapat meminimalkan efek samping yang dihasilkan oleh laser fraksional.⁷

Laser fraksional (Fraxel™) sudah mendapatkan pengakuan oleh *US Food and Drug Administration* (FDA) untuk pengobatan kerutan halus, kerutan, lesi berpigmen (melasma), skar akne, rejuvenasi kulit dan *resurfacing*.⁷ Sejak saat ini, laser fraksional telah banyak digunakan secara luas, terutama di bidang dermatologi dan estetik. Hal ini juga dibuktikan dari banyaknya publikasi di bidang dermatologi yang berkaitan dengan laser fraksional, dimana hal ini menunjukkan bahwa laser fraksional memiliki dampak yang kuat pada praktik klinis. Selain itu, keberhasilan laser ini juga ditunjukkan dari tersedianya alat-alat laser komersil yang memiliki fitur fraksional.⁶ Selain efek perbaikan kolagen, pengurangan pigmen, dan penutupan pembuluh darah kecil, laser fraksional juga memiliki efek untuk regenerasi jaringan, regulasi imun, dan perbaikan densitas saraf, sehingga untuk kedepannya laser fraksional masih akan terus

dikembangkan untuk indikasi selain estetik, termasuk penyakit dermatologi lainnya ataupun diluar bidang dermatologi.⁶

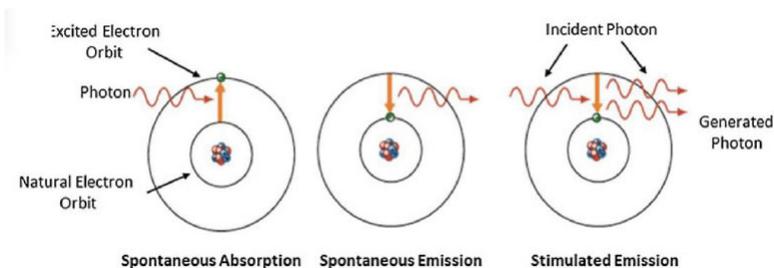
Adanya peningkatan penggunaan laser fraksional saat ini dan di masa mendatang, membuat penulis tertarik untuk membahas secara lengkap mengenai laser fraksional. Pengetahuan mengenai prinsip dasar laser fraksional, indikasi penggunaan, sampai komplikasi merupakan hal yang sangat penting untuk diketahui seorang dokter spesialis dermatologi, venereologi, dan estetika dalam praktik klinis sehari-hari sehingga dapat memberikan pelayanan, terutama dalam tindakan laser, yang aman dan komprehensif untuk pasien.



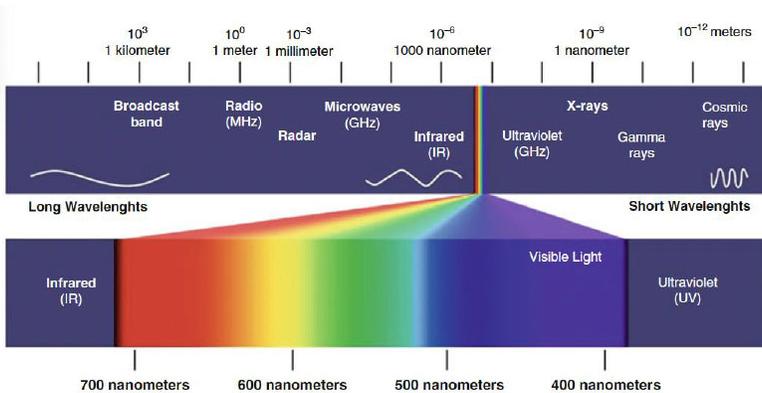
Gambar 1.1. Waktu pancaran laser yang lebih lama menghasilkan peningkatan difusi termal keluar dari target dan kerusakan pada struktur yang berdekatan (A). Cedera termal tambahan dapat dikurangi dengan memilih panjang gelombang yang secara khusus diserap oleh kromofor target dan dengan mempertahankan durasi *pulse* yang lebih pendek daripada waktu relaksasi termal (pendinginan) target (B). Hal ini disebut sebagai fototermolisis selektif.

PRINSIP DASAR CAHAYA

Untuk memahami tentang laser, kita harus memahami terlebih dahulu mengenai cahaya, karena laser menghasilkan energi dalam bentuk cahaya yang akan berinteraksi dengan jaringan.³ Cahaya adalah sebuah energi yang dihasilkan, dipancarkan, dan diabsorpsi oleh atom ataupun molekul.¹ Atom adalah satuan unit terkecil dari sebuah elemen yang dapat berpartisipasi pada perubahan kimia. Untuk memancarkan energi, sebuah atom harus terkeksitasi pada tingkat tertentu, di atas dari fase istirahat natural dari atom tersebut. Atom yang sudah tereksitasi tidak dapat mempertahankan fase eksitasi tersebut dalam waktu yang lama, sehingga atom tersebut harus kembali ke fase naturalnya dan melepaskan energi yang telah dihasilkan dalam bentuk partikel emisi yang disebut sebagai foton. Fenomena ini disebut juga sebagai *stimulated emission* (**Gambar 2.1**).¹



Gambar 2.1. Proses sebuah atom menghasilkan foton.¹



Gambar 2.2. Spektrum elektromagnetik.¹

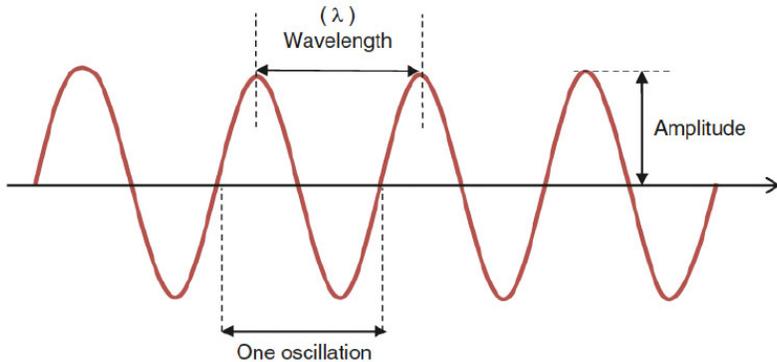
PRINSIP DASAR RADIASI ELEKTROMAGNETIK

Radiasi elektromagnetik, dalam hal ini termasuk cahaya, adalah jalaran energi yang berjalan terus-menerus (kontinu) yang membentang dari radiasi X sampai gelombang radio.⁴ Setiap atom atau molekul memiliki perbedaan mendasar pada kadar energi yang dapat mengeksitasinya. Setiap elemen melepaskan foton dengan energi dan panjang gelombang yang berbeda.¹ Cahaya dan bentuk radiasi elektromagnetik lain terdiri atas foton yang berjalan pada kecepatan yang konstan.³ Jalaran energi dari radiasi elektromagnetik ini disebut sebagai spektrum elektromagnetik (**Gambar 2.2**).⁴

Radiasi elektromagnetik memiliki beberapa karaktersitik yang penting, yaitu:

- a. Panjang gelombang/ *wavelength*

Panjang gelombang adalah jarak horizontal dari 2 palung atau puncak secara berurutan dari sebuah gelombang (**Gambar 2.3**). Panjang gelombang dalam laser biasanya ditulis dalam satuan mikrometer atau nanometer. Hal ini sangat penting dipahami karena dapat menentukan regio tertentu pada spektrum



Gambar 2.3. Ilustrasi panjang gelombang dan amplitudo.⁴

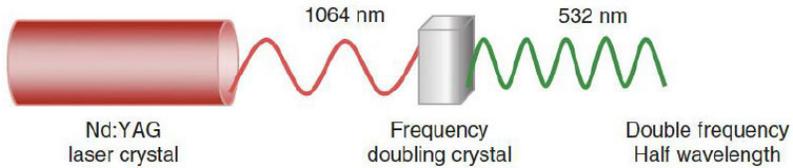
elektromagnetik, dapat menentukan warna dari sinar, dapat menentukan interaksi cahaya dengan jaringan (ditransmisikan atau diabsorpsi), dapat menentukan warna material untuk pelindung mata, dan mengetahui energi yang dibawa oleh gelombang tersebut.⁴

b. Amplitudo

Amplitudo adalah setengah tinggi dari sebuah gelombang mulai dari puncak gelombang pertama sampai ke dasar dari gelombang selanjutnya (Gambar 2.3). Semakin tinggi gelombang, semakin besar juga amplitudo. Hal ini akan mengukur besarnya *power* dari gelombang tersebut, yang dapat dilihat pada *pulse duration* dari laser.⁴

c. Frekuensi

Frekuensi adalah jumlah dari puncak gelombang yang berjalan setiap 1 detik dengan satuan *hertz* (Hz). Panjang gelombang dan frekuensi berbanding terbalik, dimana semakin pendek panjang gelombang maka semakin tinggi frekuensi yang dihasilkan



Gambar 2.4. Ilustrasi frekuensi.⁴

(lebih banyak puncak gelombang dapat berjalan selama 1 detik) dan sebaliknya (**Gambar 2.4**).

d. Velositas (kecepatan)

Velositas adalah kecepatan cahaya dimana gelombang berjalan. Semua panjang gelombang berjalan pada kecepatan yang sama, dengan konstanta 300.000 km per detik.⁴

Dapat disimpulkan dari karakteristik radiasi elektromagnetik diatas, bahwa panjang gelombang akan mempengaruhi energi dari sebuah foton. Cahaya dengan panjang gelombang yang panjang (merah) akan membawa energi yang lebih rendah dibandingkan dengan panjang gelombang yang pendek (biru).¹

KARAKTERISTIK LASER

Cahaya natural dan cahaya yang diemisikan secara spontan (lampu bohlam), dihasilkan dari foton yang dipancarkan ke berbagai arah dengan panjang gelombang yang berbeda beda, sehingga radiasi elektromagnetik ini bersifat inkoheren, divergen, dan berspektrum luas.³ Namun, hal ini sangatlah berbeda dengan karakteristik laser (**Gambar 2.5**), yaitu:

a. Monokromatik

Sifat monokromatik pada sinar laser menunjukkan bahwa laser hanya memiliki satu panjang gelombang, dimana hal ini berbeda dari cahaya natural.³ Dengan hanya memiliki satu panjang gelombang, seluruh foton yang dipancarkan akan memiliki energi yang sama.⁴ Hal ini sangat penting untuk absorpsi jaringan selektif pada jaringan manusia.¹

b. Koheren

Sifat koheren pada laser menandakan bahwa gelombang laser tersusun dalam fase yang seragam pada ruang dan waktu.^{1,3} Cahaya yang diamplifikasi dari peristiwa *stimulated emission* ini memiliki kekuatan yang sama, serta berjalan ke arah dan dengan waktu yang sama.¹ Hal ini akan mengurangi terjadinya divergensi.³

c. Kolimasi

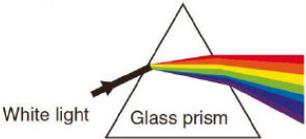
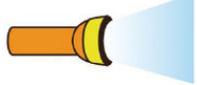
Cahaya laser juga berjalan secara kolimasi dimana semua foton dari cahaya laser akan berjalan secara paralel antara satu cahaya dengan cahaya lainnya.³ Sifat ini akan membuat sinar laser tidak menyebar ke arah lainnya⁹, dapat berjalan pada jarak yang panjang tanpa terjadi distorsi dan dispersi.³

d. Intensitas tinggi

Pada laser, foton yang dihasilkan dapat meningkat secara eksponensial sampai dengan $10^{20,9}$

KOMPONEN DAN PRODUKSI LASER

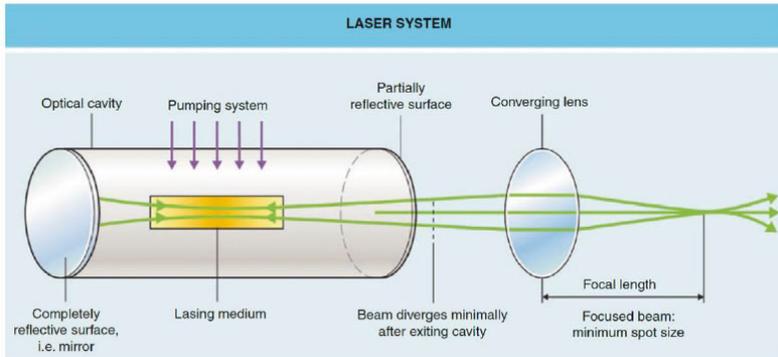
Mesin laser terdiri dari beberapa bagian, yaitu resonator, *articulated arm*, dan *handpiece*. Resonator atau *oscillator* terdiri dari *pumping system*, medium laser, dan ruang optik yang

	Laser light	Non-laser light(e.g., flashlight)
①	Monochromatic 	Polychromatic 
②	Coherent 	Incoherent 
③	Collimated 	Divergent 
④	High intensity	Low intensity

Gambar 2.5. Karakteristik laser.⁹

memiliki 2 cermin (**Gambar 2.6**). *Pumping system* merupakan bagian laser yang berfungsi sebagai sumber energi eksternal dengan fungsi untuk menyediakan energi.⁹

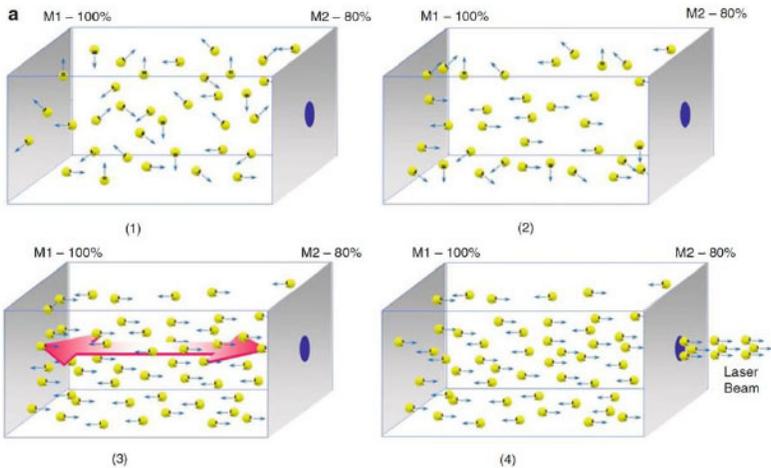
Medium laser merupakan penentu dari panjang gelombang dan sifat dari laser, dimana medium laser dapat berupa zat padat, cairan, atau gas.³ Beberapa jenis medium dan contohnya dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.⁹ Cermin pada kedua ujung ruang optik tersusun secara paralel dengan fungsi untuk memantulkan foton yang terbentuk, dimana cermin pada ujung pertama memiliki sifat reflektif 100%, cermin pada ujung kedua memiliki sifat reflektif 80% dan sisa 20% pada cermin ujung kedua merupakan tempat dimana sinar laser akan keluar menjadi sinar laser yang akan digunakan.¹



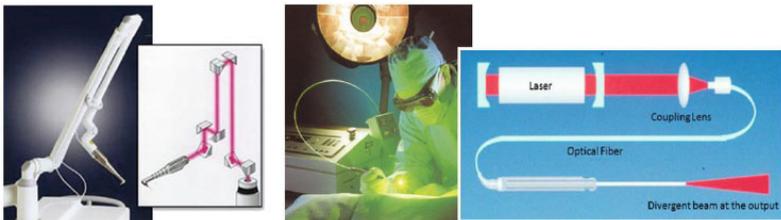
Gambar 2.6. Sistem laser.⁹

Proses terbentuknya cahaya di dalam ruang optik laser, berawal dari adanya energi yang dihasilkan oleh *pumping system* yang dapat mengeksitasi atom-atom dari medium laser. Para atom yang tereksitasi ini akan memancarkan foton yang berjalan dengan arah yang tidak beraturan. Foton yang berjalan mengenai dinding dari ruang optik akan terabsorpsi dan menghilang. Namun, foton yang terpancar secara paralel pada aksis longitudinal dari tabung, akan mengeksitasi atom lain dan menghasilkan foton tambahan yang bergerak pada arah yang sama. Kedua foton ini akan menstimulasi atom lainnya, sehingga menghasilkan dua foton yang sama lagi. Proses ini akan berlangsung terus menerus, dari 2 menjadi 4, 8, 16, 32, 62, dan seterusnya sampai tidak terhingga (**Gambar 2.7**).¹

Kedua cermin pada aksis longitudinal berfungsi untuk merefleksikan foton secara intensif pada ruang optik. Sampai pada akhirnya, terjadi proses amplifikasi cahaya, terbentuk cahaya laser yang siap digunakan dan keluar melalui ujung cermin 20% (**Gambar 2.8**).¹



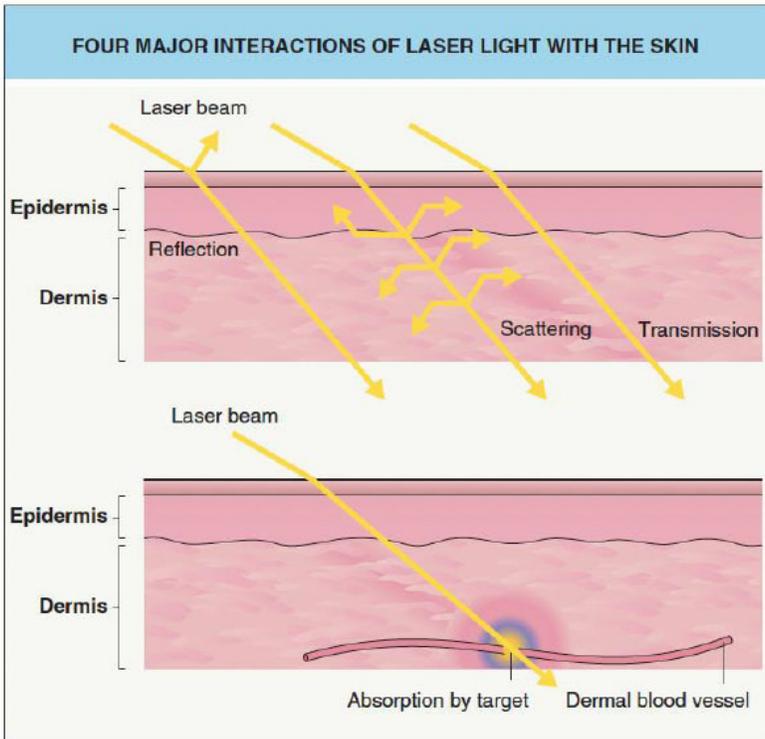
Gambar 2.8. Proses amplifikasi cahaya dan pembentukan cahaya laser di dalam resonator laser.¹



Gambar 2.9. (a) *Articulated arm.* (b) *Optical fiber.*¹

REAKSI JARINGAN TERHADAP CAHAYA LASER

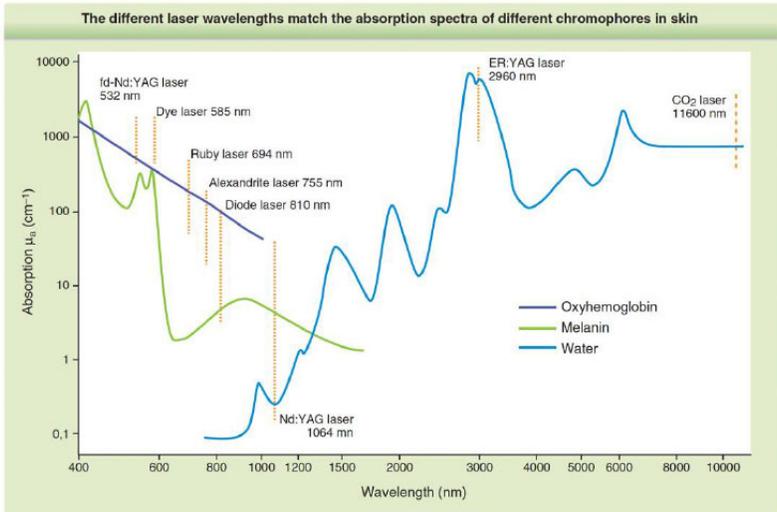
Sinar laser yang masuk ke dalam jaringan kulit dapat mengalami beberapa peristiwa yaitu direfleksikan, ditransmisikan, diabsorpsi, dan disebarakan (*scattering*) (**Gambar 2.10**).³ Tujuan utama dari laser adalah untuk meningkatkan absorpsi, dimana salah satunya dengan mengurangi refleksi, namun peristiwa transmisi seringnya diabaikan karena memiliki interkasi laser-jaringan yang minimal.⁹ Peristiwa refleksi terjadi apabila sinar laser mengenai permukaan kulit dengan sudut yang miring.³



Gambar 2.10. Interaksi sinar laser pada jaringan kulit.²

dapat dikurangi dengan memposisikan laser 90° (tegak lurus) terhadap permukaan kulit, namun ini saja masih terdapat refleksi sebesar 4-6%, yang utamanya terjadi di stratum korneum. Efek dari peristiwa refleksi ini dikhawatirkan dapat mengenai mata operator, sehingga harus menggunakan kacamata pelindung yang aman dan sesuai.⁹

Pada peristiwa absorpsi terjadi konversi energi laser menjadi energi panas, pada saat foton mengenai kromofor target.³ Peristiwa absorpsi dipengaruhi oleh karakteristik monokromatik dari laser, dimana cahaya laser hanya berjalan

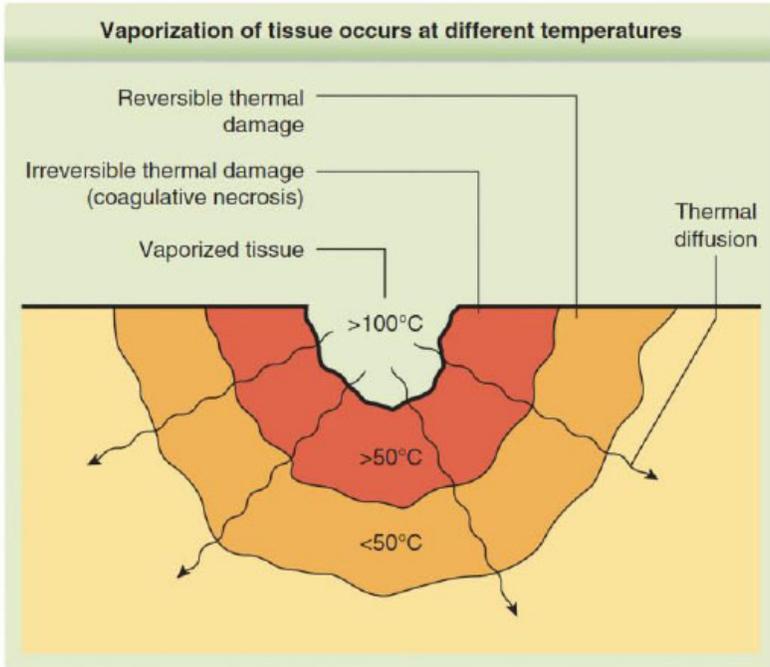


Gambar 2.11. Perbedaan panjang gelombang laser.³

pada 1 panjang gelombang tertentu, yang akan menentukan koefisien absorpsi (**Gambar 2.11**). Selain itu, koefisien ini juga dipengaruhi oleh kromofor. Kromofor adalah komponen pada kulit yang dapat menyerap cahaya tertentu.⁹ Hal ini akan berbeda pada cahaya polikromatik, dimana foton dari beberapa panjang gelombang dapat diabsorpsi oleh kromofor yang berbeda beda.³

Terdapat 3 kromofor utama pada kulit, yaitu melanin, hemoglobin (Hb), dan air. Saat ini, terdapat kromofor tambahan juga, yaitu tinta tato. Pada epidermis hanya didapatkan kromofor melanin dan air, sedangkan pada dermis didapatkan hemoglobin dan air, namun bisa juga didapatkan tinta tato dan melanin.¹⁰

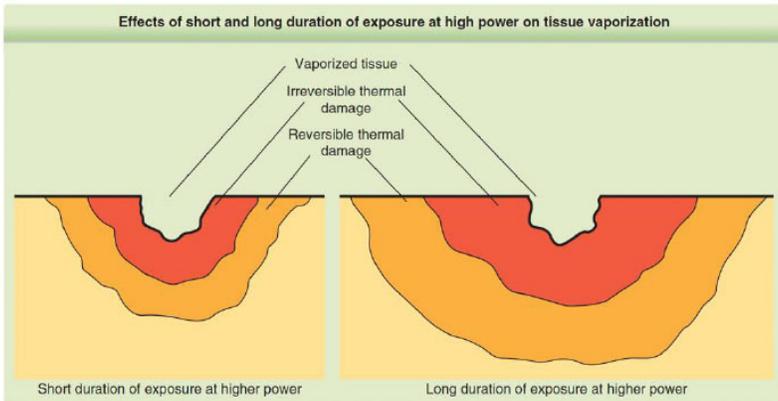
Peristiwa *scattering* terjadi ketika adanya inhomogenitas pada indeks refraktif, dimulai pada skala makroskopis (serat otot, lapisan kulit) sampai skala mikroskopis (nukleus sel, mitokondria, dan struktur intraseluler).⁴ Peristiwa ini dapat mengubah fokus dari cahaya laser dan meningkatkan distribusi



Gambar 2.12. Reaksi fototermal pada jaringan.³

energi laser ke area sekitar.³

Reaksi jaringan terhadap cahaya laser dapat terjadi 3 jenis, yaitu fotokimiawi, fotoakustik, dan fototermal. Reaksi fototermal merupakan mekanisme yang paling diharapkan dari laser, dimana energi cahaya yang diserap oleh kromofor dapat menyebabkan kerusakan langsung pada jaringan dan struktur sekitarnya. Pada intensitas rendah dan waktu paparan singkat, laser dapat meningkatkan suhu secara sedang. Apabila suhu $<50^{\circ}\text{C}$ terjadi kerusakan yang *reversible*, vasodilatasi lokal, dan aktivasi kaskade inflamasi. Pada suhu $50\text{-}100^{\circ}\text{C}$, protein di dalam jaringan akan mengalami denaturasi atau koagulasi yang *irreversible*. Namun, pada suhu mencapai $> 100^{\circ}\text{C}$ dapat terjadi

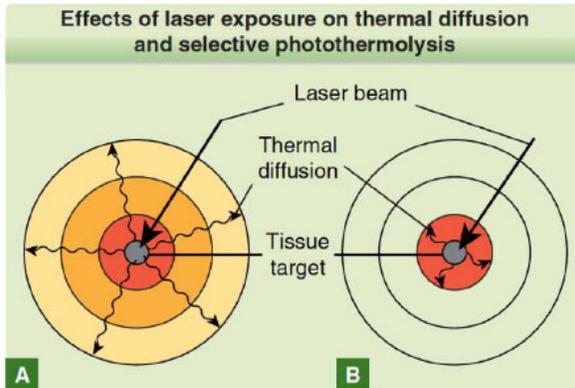


Gambar 2.13. Efek dari *pulse duration* dan energi terhadap jaringan.³

vaporasi jaringan, bahkan apabila diberikan energi yang tinggi dapat terbentuk *steam* pada jaringan (**Gambar 2.12**).³

Untuk mencapai target yang diinginkan, maka perlu dilakukan pengaturan energi yang dikeluarkan. Menggunakan energi yang lebih tinggi dan *pulse duration* yang lebih singkat dapat menghasilkan vaporasi jaringan dengan reaksi nekrosis koagulasi yang lebih minimal. Namun sebaliknya, dengan menggunakan energi yang lebih rendah namun *pulse duration* yang lebih panjang, maka dapat menghasilkan vaporasi yang minimal namun nekrosis koagulasi yang lebih berat (**Gambar 2.13**).³

Teori fototermolisis selektif telah dikeluarkan pada tahun 1983 oleh R. Anderson dan John A. Parrish, dimana diharapkan sinar laser ini dapat diberikan pada kromofor yang spesifik pada kulit tanpa merusak jaringan kulit sekitar.⁹ Hal ini dapat dicapai melalui 2 hal, yaitu dengan menentukan panjang gelombang yang sesuai dengan kromofor dan menentukan *pulse duration* yang tepat agar sinar laser hanya terbatas pada kromofor target tanpa merusak jaringan sekitar (**Gambar 2.14**).³



Gambar 2.14. (a) Laser tanpa fototermolisis selektif. (b) Laser dengan fototermolisis selektif.³

PARAMETER LASER

Laser memiliki beberapa parameter yang digunakan:

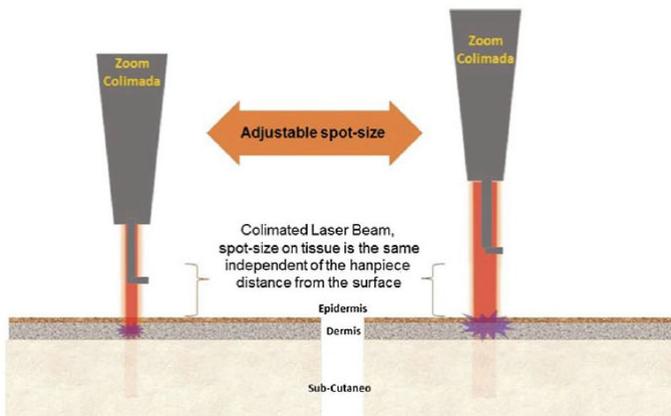
- a. *Energy* adalah jumlah kekuatan (*power*) yang dihantarkan ke jaringan dalam waktu tertentu atau dalam *pulse duration*.¹ Energi merupakan unit kerja dasar dari laser. Energi diukur dalam satuan unit Joules (J), sedangkan *power* dalam satuan unit Watts (W).²

$$\text{Energi (J)} = \text{power (W)} \times \text{waktu (s)}$$

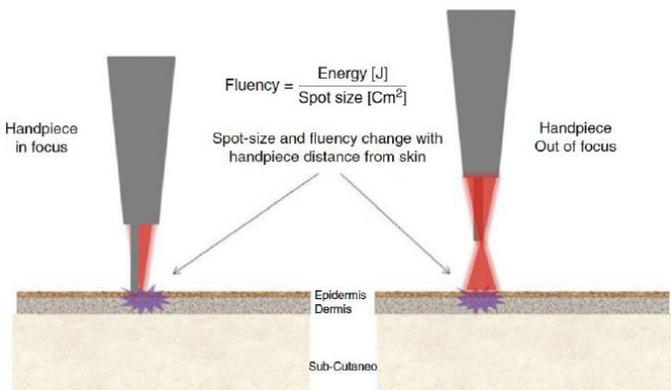
- b. *Fluence* adalah jumlah energi yang dihantarkan per unit area.² Satuan dari fluence adalah J/cm². *Fluence* yang semakin tinggi akan semakin meningkatkan suhu pada jaringan dan memberikan efek yang diinginkan. Namun, hal ini juga dipengaruhi oleh hal lainnya, seperti *pulse duration*, *spot size*, dan lainnya.¹ Pengaturan *fluence* dari *spot size* dapat dilakukan dengan beberapa cara. Untuk pengaturan yang sudah tetap, *spot size* dapat disesuaikan dari lensa fokus yang

ada di *handpiece* (**Gambar 2.15**) atau dengan memberikan jarak *handpiece* ke jaringan (**Gambar 2.16**).

- c. Panjang gelombang (*wavelength*) juga merupakan parameter yang penting dalam laser. Sifat monokromatik dari laser akan mempengaruhi absorpsi dari target kromofor yang ada di

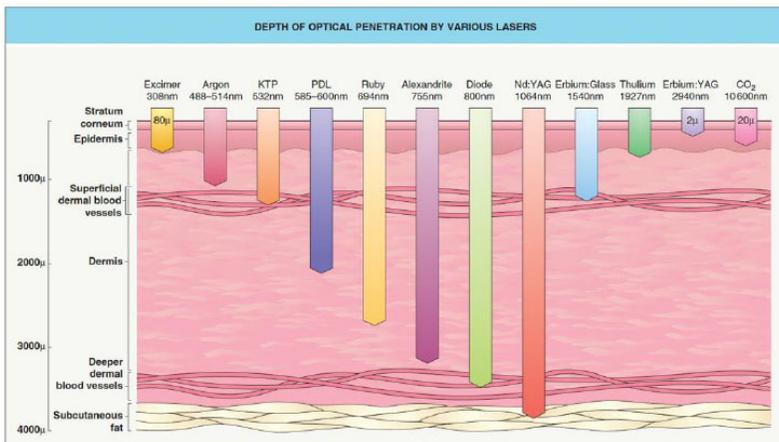


Gambar 2.15. *Handpiece* dengan *spot size* yang dapat disesuaikan.¹

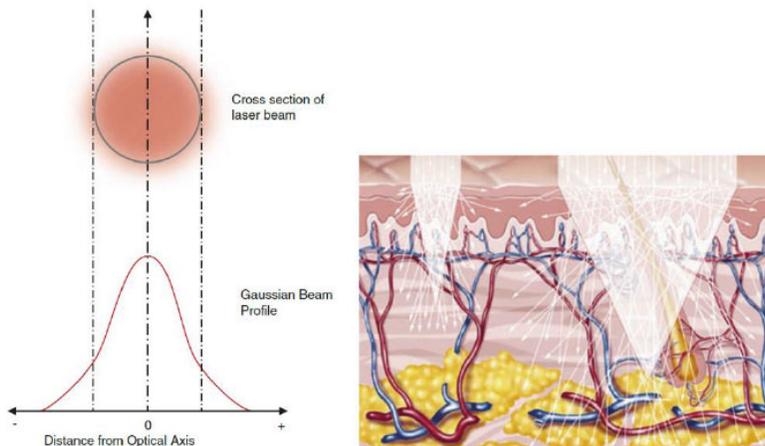


Gambar 2.16. Fokus *handpiece*.¹

kulit sehingga akan berhubungan dengan pemilihan laser untuk kondisi kulit tertentu (**Gambar 2.17**).³

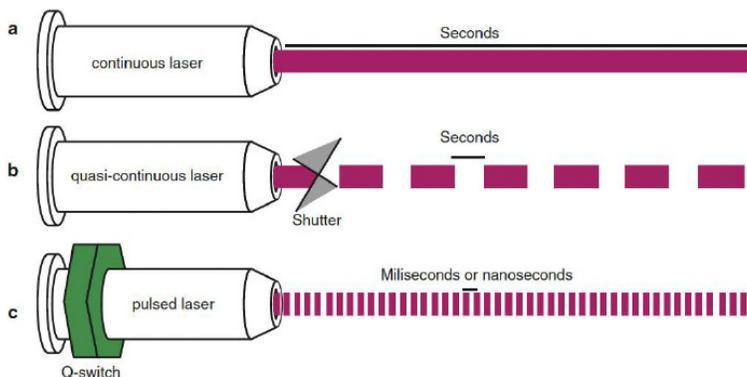


Gambar 2.17. Penetrasi laser berdasarkan panjang gelombang.²



Gambar 2.18. (a) *Beam edge effect.* (b) *Scattering effect.*⁹

- d. *Spot size* adalah diameter dari sinar laser pada permukaan kulit, biasanya diukur dalam satuan milimeter (mm).² *Spot size* memiliki *beam edge effect* atau *the beam dispersion effect*, dimana jumlah foton yang diabsorpsi akan meningkat pada titik tengah dan jumlah foton akan semakin berkurang pada bagian perifer (**Gambar 2.18a**). Selain itu juga, semakin dalam sinar laser masuk ke dalam lapisan kulit, akan semakin berkurang jumlah foton yang diabsorpsi, disebut juga *scattering effect*. (**Gambar 2.18b**).⁹
- e. *Pulse duration* atau *pulse width* adalah durasi atau lama dari paparan sinar laser terhadap jaringan. *Pulse duration* yang sesuai sangat penting untuk memfokuskan energi panas pada target saja³ dan diukur dalam satuan detik/ *seconds* (s).² Berdasarkan jenis *pulse duration*, sistem *pulsed* dapat diklasifikasikan menjadi¹ (**Gambar 2.19**):
- *Long pulses* (10^{-3} s), *millisecond* (ms), digunakan untuk menghilangkan rambut atau pengobatan varises.



Gambar 2.19. Mode *pulse* pada laser.⁹

- Quasi-CW (10^{-6} s), *microsecond* (μs), digunakan untuk rejuvenasi kulit, onikomikosis, dan akne inflamatorik.
- Q-Switched (10^{-9} s), *nanosecond* (ns), digunakan untuk terapi melasma atau penghilangan tato.
- *Mode-Locked* (10^{-12} s), *picosecond* (ps), digunakan untuk terapi melasma atau penghilangan tato.
- Femto (10^{-15} s), *femtosecond* (fs), digunakan untuk operasi refraksi untuk oftalmologi.

Mode penghantaran laser, dapat dihantarkan secara *pulse* ataupun secara kontinu. Mode kontinu (*continuous wave* - CW) menyerupai sinar lampu biasa, yang memberikan energi secara terus menerus, dan biasanya digunakan di dalam ruang operasi untuk koagulasi atau vaporisasi. Sedangkan mode *pulse*, sinar laser diberikan secara interval terkontrol sehingga dapat memberikan energi yang lebih efektif dengan

Tabel 2.2. Komponen Kulit sesuai *Pulse Duration*⁹

Waktu	Komponen Kulit
<i>Nanosecond</i>	Skala organel subseluler (melanosom)
<i>Microsecond</i>	Skala sel spesifik (eritrosit)
<i>Milisecond</i>	Struktur vaskular non kapiler (epidermis)

Tabel 2.3. Thermal Relaxation Time (TRT) untuk struktur tertentu⁹

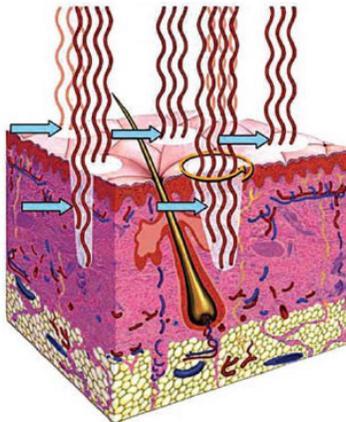
Struktur	TRT
Melanosom	< 1 μs (250-1000 ns)
Pigmen tato	20 ns – 3 ms
Melanosit	1 – 30 μs
Lapisan basal	0.4 ms
Epidermis	2 ms (1-10 ms)
Kapiler	4.5 ms
Folikel rambut	40 ms (10 – 100 ms)
Air	<1 ms pada laser CO ₂ , 1 μs pada laser Er:YAG

efek samping terhadap jaringan sekitar yang minimal (**Gambar 2.19**).¹

f. *Thermal Relaxation Time* (TRT) adalah waktu yang dibutuhkan oleh jaringan yang dipanaskan untuk kehilangan 50% energi panasnya melalui proses difusi. Parameter ini diukur dalam satuan detik/*seconds* (s) (**Tabel 2.3**).²

FOTOTERMOLISIS FRAKSIONAL

Prinsip utama dalam fototermolisis fraksional adalah menghasilkan lajur area mikrotermal yang terdistribusi secara teratur, yang disebut *microscopic treatment zones* (MTZs), sementara masih menyisakan kulit sehat sekitarnya yang tidak terjadi kerusakan (**Gambar 2.20**).⁶ Energi yang digunakan untuk menghasilkan lajur dari MTZs cukup untuk memberikan energi panas (ablasi) tanpa menyebarkan ke jaringan sekitar. Radiasi dari fraksional dapat berpenetrasi ke lapisan dermis yang lebih dalam, menyebabkan denaturasi yang terkontrol,



Gambar 2.20. Prinsip fototermolisis fraksional dengan MTZs.⁶

eliminasi transepidermal dari debris koagulasi, *remodelling* kolagen, dengan tetap mempertahankan keutuhan epidermis, waktu penyembuhan lebih cepat, dan efek samping yang lebih berkurang.³

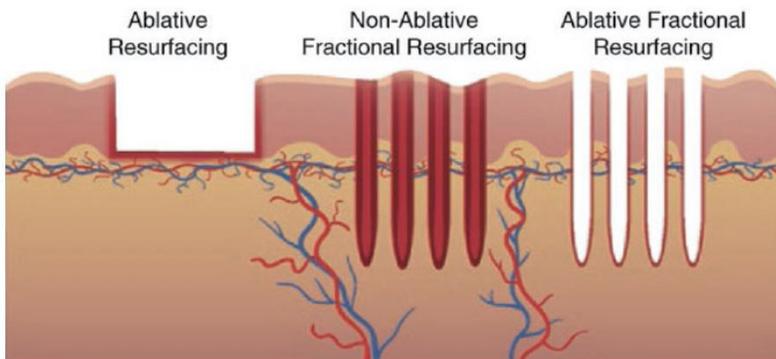
Kedalaman dari lajur MTZs dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu panjang gelombang, dosis, *pulse duration*, densitas, dan temperatur dari jaringan target. Lajur dari MTZs dapat mencapai lapisan kulit dermis dan pada pemeriksaan mikroskopik didapatkan debris nekrotik epidermal mikroskopis/ *microscopic epidermal necrotic debris* (MEND) yang akan menutup dalam 24 jam, diikuti oleh regenerasi kolagen. Area MEND mengandung melanin, elastin, dan isi dermis lainnya yang berguna untuk memperbaiki pigmentasi dan pengencangan kulit.⁷ Pada satu sesi terapi, kurang lebih 5-50% kulit diterapi dan sisanya adalah kulit intak, yang mempercepat penyembuhan jaringan.⁵ Kedalaman dari MTZs biasanya berkisar antara 300 – 700 mikron dan diameter sekitar 100 – 400 mikron.⁷

LASER FRAKSIONAL ABLATIF DAN NON-ABLATIF

Secara umum, laser fraksional dapat diklasifikasikan menjadi 2 tipe, yaitu ablatif dan non ablatif. Laser fraksional ablatif dibagi menjadi 3 jenis yaitu laser fraksional CO₂ (10.600-nm), laser fraksional Er:YAG (2940-nm), dan laser fraksional Erbium: yttrium scandinum gallium garnet (Er:YSGG) (2970-nm). Sedangkan laser fraksional non ablatif termasuk laser dengan panjang gelombang 1410, 1440, 1540, 1550, dan 1927 nm.¹¹

Terdapat beberapa hal yang membedakan antara laser ablatif konvensional dengan laser fraksional (ablatif dan non-ablatif) (**Gambar 3.1**).⁵

Perbedaan mengenai laser fraksional ablatif dan non-ablatif, dimulai dari kerusakan stratum korneum, waktu *downtime*, waktu penyembuhan, kedalaman, keterlibatan



Gambar 3.1. Perbedaan dari laser ablatif dan non-ablatif.¹²

Tabel 3.1. Perbandingan antara laser fraksional ablatif dan non-ablatif^{5,7}

Parameter	Laser fraksional ablatif	Laser fraksional non-ablatif
Panjang gelombang	10.600 nm, 2940 nm, dan 2970 nm	1410 nm, 1440 nm, 1540 nm, 1550 nm, dan 1927 nm
Kerusakan stratum korneum	Ya	Tidak
Keterlibatan dermis	Ya	Tidak
Kedalaman	1,6 mm	1,4 mm
Waktu dapat kembali kerja	3-5 hari	0-2 hari
Menghindari matahari	5 hari	1-3 hari
Waktu penyembuhan	2-4 minggu	3-10 hari
Risiko	Kurang baik untuk gangguan pigmentasi atau pasien dengan tipe kulit gelap. Risiko komplikasi yang lebih tinggi (infeksi dan skar)	Insiden efek samping yang lebih rendah daripada ablatif
Jumlah sesi terapi	1-3 sesi	4-6 sesi

dermis, indikasi, jumlah sesi terapi dan risiko terjadinya HPI (Tabel 3.1).^{5,7}

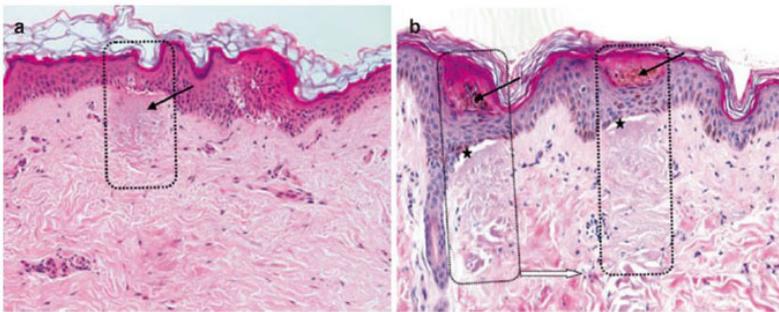
Reaksi Jaringan pada Laser Fraksional Non-Ablatif

Reaksi jaringan yang terjadi setelah laser fraksional non ablatif adalah terbentuknya lajur epidermis dan dermis yang terdenaturasi secara *irreversible* oleh energi panas (50-70°C) yang menghasilkan MTZs.^{13,14} Selain itu, kerusakan *dermo-epidermal junction* (DEJ) juga terjadi, sehingga bisa didapatkan celah subepidermal di area MTZs. Namun, stratum korneum di atas MTZs dan jaringan di sekitar MTZs tidak terjadi kerusakan,

dimana stratum korneum ini berfungsi sebagai sawar kulit yang melindungi setelah prosedur laser fraksional non ablatif.⁶

Dalam 24 jam setelah tindakan, sel nekrotik epidermis digantikan oleh keratinosit baru yang bermigrasi ke area MTZs, sehingga mendorong debris sel nekrotik ke permukaan kulit, membentuk bola jaringan, MEND (berisi sel nekrotik, melanin, jaringan dermis elastin, dan lainnya), sampai pada akhirnya MEND ini akan terlepas seperti skuama (**Gambar 3.2**). Setelah 1 minggu paska tindakan dari laser fraksional non-ablatif, epidermis akan tampak normal kembali.⁶

Dari reaksi jaringan yang dihasilkan, laser ini dapat menghilangkan pigmen secara bertahap dari semua jenis warna kulit dengan mengatur densitas dari MTZs, karena laser ini tidak bergantung pada kromofor melanin. Oleh karena itu, laser ini sangat baik untuk menghilangkan pigmen pada lesi dengan kontras rendah (dimana perbedaan tingkat pigmentasi diantara lesi dan sekitar kulit cenderung sedikit). Pada lapisan dermis



Gambar 3.2. (a) reaksi jaringan kulit setelah laser fraksional non-ablatif menunjukkan lajur kolagen yang terdenaturasi (panah hitam) di didalam MTZs (kotak hitam). (b) Reaksi jaringan kulit setelah 24 jam tindakan laser fraksional non ablatif menunjukkan adanya MTZs (kotak hitam), MEND (panah hitam), celah subepidermal (bintang hitam), dan infiltrat inflamasi perivascular (panah putih).⁶

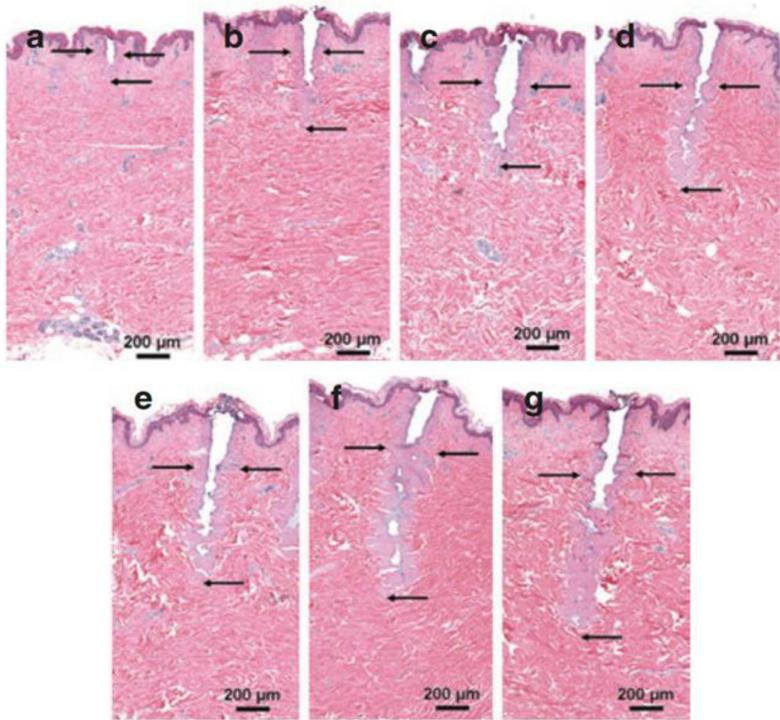
juga dilaporkan terjadi *remodelling* dan restorasi, sehingga laser ini juga baik untuk perbaikan kolagen. Selain untuk pigmen dan *remodelling* kolagen, laser ini juga ternyata bisa digunakan untuk lesi vaskular yang berukuran kecil.⁶

Reaksi Jaringan pada Laser Fraksional Ablatif

Laser fraksional ablatif menggunakan panjang gelombang yang diabsorpsi lebih kuat oleh jaringan dibandingkan dengan non-ablatif, menghasilkan reaksi termal dengan suhu $> 100^{\circ}\text{C}$, sehingga menyebabkan vaporasi dari jaringan.⁷ Vaporasi jaringan dari MTZs membentuk lajur/ rongga yang dilapisi oleh lapisan eskar yang tipis. Lapisan eskar ini diselubungi oleh zona koagulasi yang mengandung denaturasi kolagen dan nekrosis sel. Tindakan ini juga dapat menghasilkan kerusakan akibat panas terhadap jaringan sekitar, sehingga menyerupai laser ablatif konvensional. Zona koagulasi juga bervariasi dari masing-masing laser, dimana laser CO₂ lebih menghasilkan kerusakan residual dibandingkan laser Er:YAG.⁶

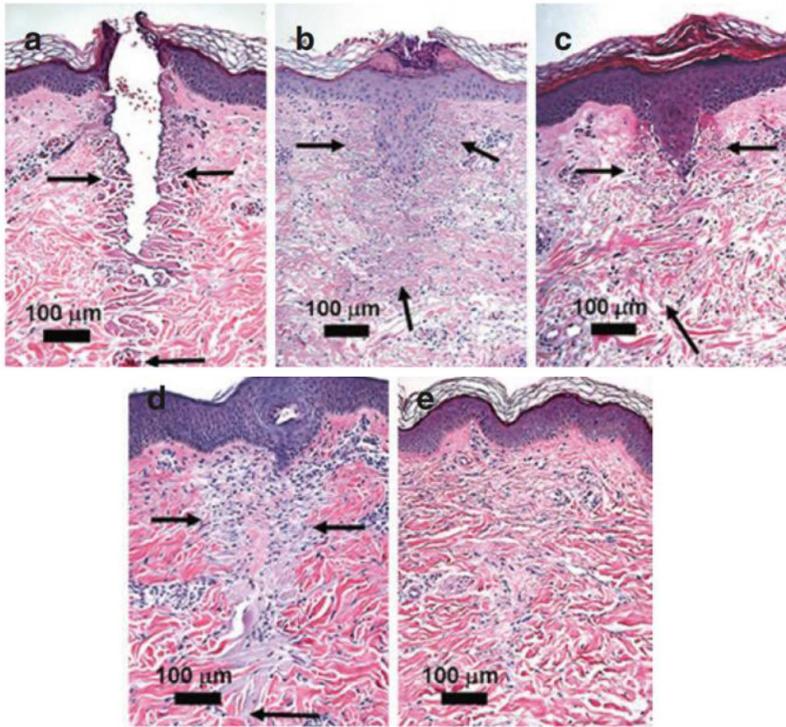
Reaksi cepat jaringan terhadap laser fraksional ablatif adalah *skin shrinkage*, dimana hal ini berkaitan dengan denaturasi kolagen yang dihilangkan pada saat pembentukan rongga MTZs. Selain itu, terjadi juga kontraksi jaringan secara cepat, dimana kedua hal ini menjadi indikator dari pengencangan kulit.

Laser fraksional ablatif dapat merusak sawar epidermis karena vaporasi jaringan yang terjadi di MTZs, sehingga menghilangkan fungsi sawar epidermis. Hal ini dapat digunakan sebagai metode untuk memberikan obat ke dalam jaringan, yang disebut *laser assisted drug delivery* (LADD). Namun, hal ini juga dapat meningkatkan risiko terjadinya infeksi bakteri. Kedalaman dan diameter dari MTZs dapat diatur dari energi yang diberikan (**Gambar 3.3**).⁶



Gambar 3.3. Histologi kulit yang disebabkan oleh laser fraksional ablatif menggunakan beberapa tingkat energi. (a) 10 mJ. (b) 20 mJ. (c) 30 mJ. (d) 40 mJ. (e) 50 mJ. (f) 60 mJ. (g) 70 mJ.⁶

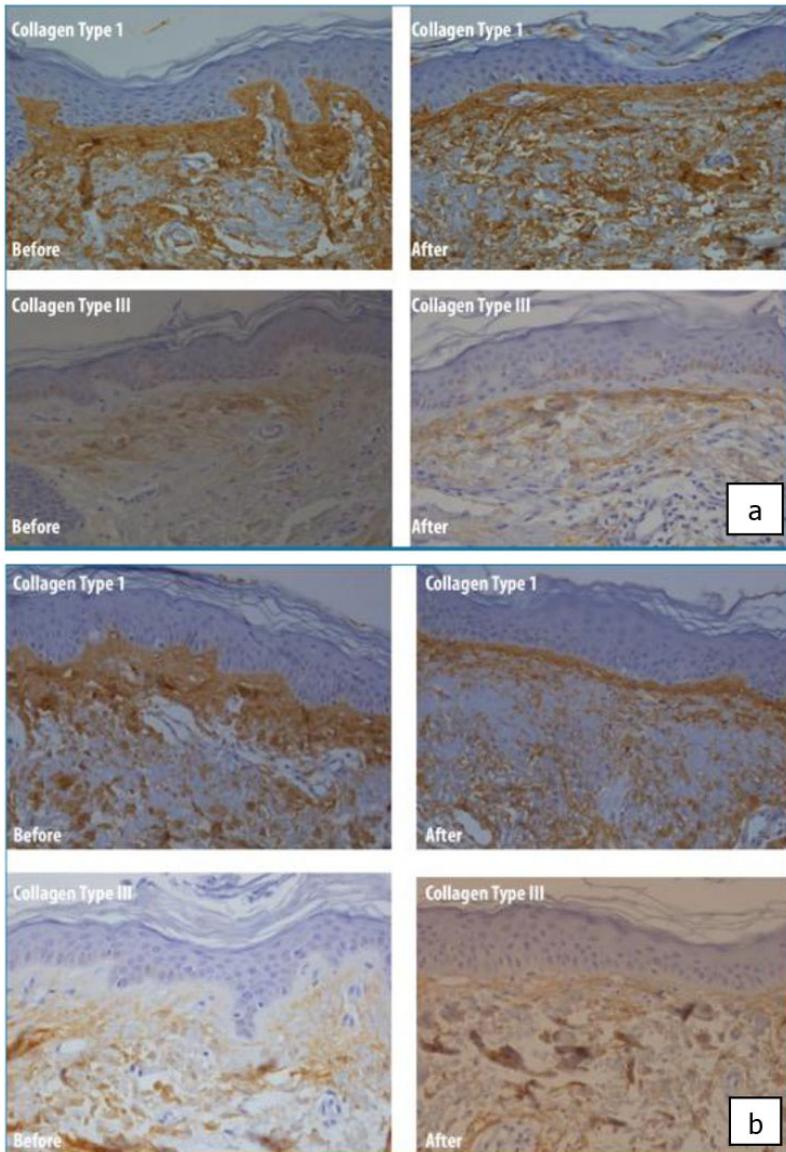
Perubahan jaringan pasca laser fraksional ablatif dimulai dari re-epitelisasi yang terjadi pada 48 jam pasca terapi. Pada hari ke-7, membrana basalis sudah terjadi restorasi. Zona koagulasi masih dapat dilihat sampai satu bulan pasca prosedur (**Gambar 3.4**). Waktu penyembuhan dari laser fraksional ablatif lebih singkat dibandingkan dengan laser ablatif konvensional, namun memang cenderung lebih lama dibandingkan dengan laser fraksional non-ablatif.⁶ Saat ini laser fraksional ablatif



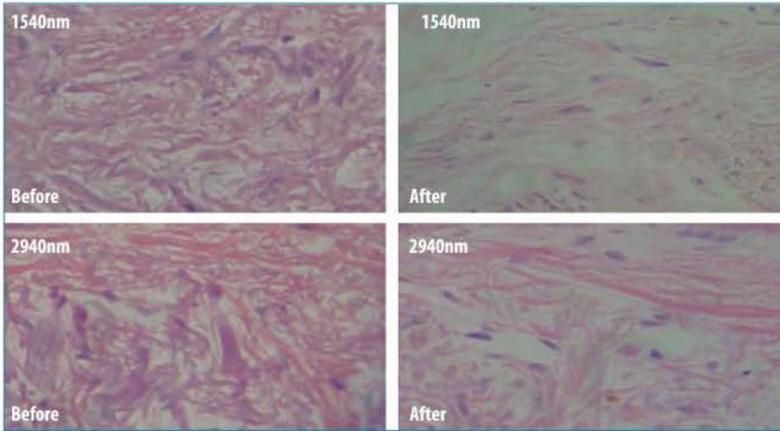
Gambar 3.4. Penyembuhan jaringan pasca laser fraksional ablatif. (a) Hari ke-0. (b) Hari ke-2. (c) Hari ke-7. (d) Hari ke-30. (e) Hari ke-90.⁶

digunakan untuk kondisi dermatologi yang memerlukan *remodelling* kolagen.⁶

Reaksi jaringan dermis setelah dilakukan laser fraksional pada *photoaging*, baik ablatif dan non-ablatif, ternyata dapat menginduksi neokolagenesis dan edema kutan yang dibuktikan oleh studi dari Borges dan kawan-kawan. Pada studinya didapatkan serat kolagen tipe I dan III kehilangan homogenitasnya, pecah menjadi fragmen, dan menjadi teroganisir kembali secara horizontal (**Gambar 3.5**).



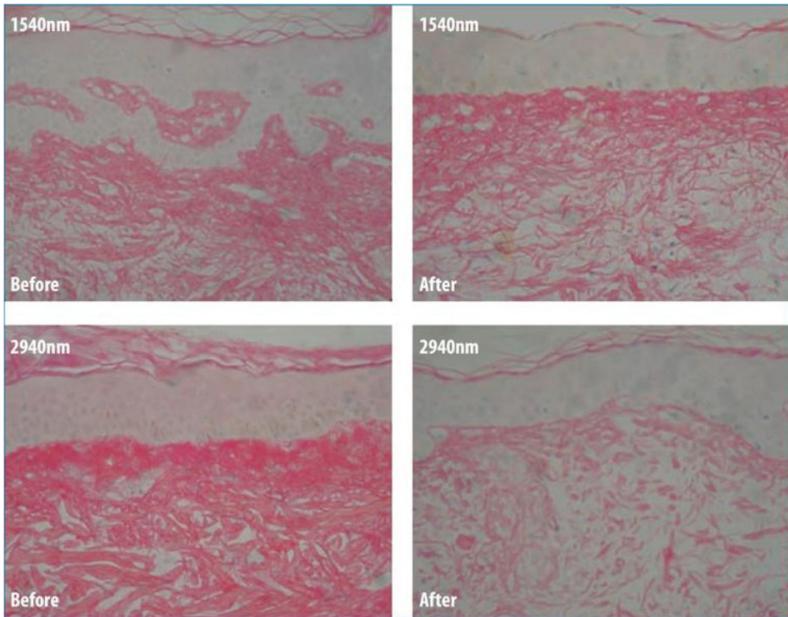
Gambar 3.5. Reorganisasi dari kolagen tipe I dan III setelah laser fraksional. (a) Non-ablatif. (b) Ablatif.¹⁵



Gambar 3.6. Aktivasi fibroblas setelah laser fraksional.¹⁵

Sel fibroblas juga didapatkan menjadi lebih aktif, dengan terlihatnya sel berbentuk fusiform dan nukleus yang memanjang, berbeda dengan sel sebelum dilakukan laser fraksional (**Gambar 3.6**). Namun, kepadatan dari serat kolagen menjadi berkurang, yang merupakan karakteristik dari edema (**Gambar 3.7**).¹⁵

Sekilas mengenai LADD, laser fraksional dapat merubah restriksi fisiokimia dari stratum korneum terhadap penyerapan obat topikal, sehingga memungkinkan terjadinya penghantaran obat yang sangat hidrofilik dan memiliki berat molekul yang tinggi. Secara fisiologis, difusi obat topikal dipengaruhi oleh koefisien partisi oktanol-air ($\text{Log } P$) dan berat molekul, yang dimana obat yang bersifat hidrofilik dengan $\text{Log } P$ yang negatif memiliki penetrasi yang rendah pada lapisan kulit atas yang bersifat hidrofobik. Namun sebaliknya, obat dengan sifat lipofilik ($\text{Log } P \geq 1$) akan memudahkan absorpsi dan terkumpul pada stratum korneum. Untuk berat molekul memiliki sifat yang berlawanan dengan difusi obat di stratum korneum, dimana agen dengan berat molekul > 500 dalton memiliki penyerapan yang lebih terbatas.¹⁶

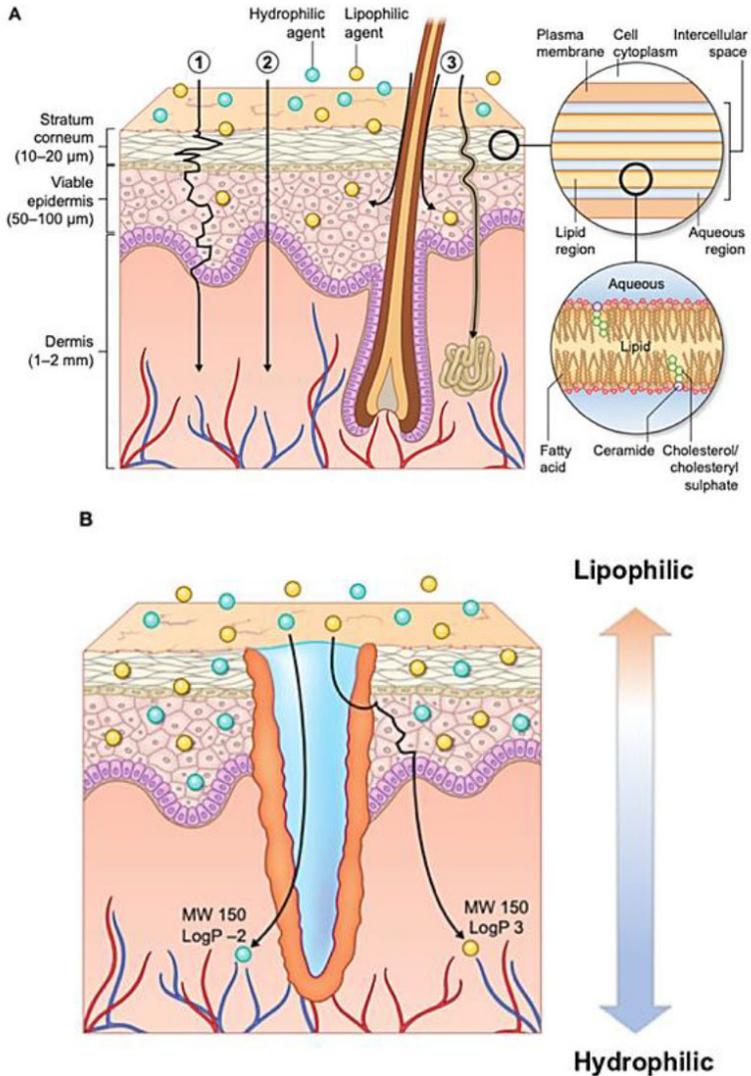


Gambar 3.7. Kepadatan kolagen menurun setelah laser fraksional.¹⁵

Laser fraksional ini akan mempengaruhi koefisien permeabilitas dengan menghilangkan lapisan stratum korneum secara parsial, yang secara fisiologis dapat memberikan resistensi terhadap difusi obat, dan menghasilkan *microchannels*. *Microchannels* yang terbentuk dari laser ini akan mengurangi jarak difusi dari obat sehingga memperkuat proses difusi dengan meningkatkan area absorpsi dan menambahkan sebagai wadah untuk penghantaran obat (**Gambar 3.8**).¹⁶

PARAMETER LASER FRAKSIONAL

Terdapat 4 parameter utama yang mempengaruhi luaran dari laser fraksional, yaitu densitas, diameter *microwound* (*spot size*), kedalaman (energi), dan panjang gelombang.¹¹



Gambar 3.8. (a) jalur aplikasi obat topikal dapat melalui 3 jalur, yaitu jalur interselular, jalur transselular, dan jalur apendegogi. (b) Setelah terbentuk *microchannels* dari laser fraksional ablatif dapat meningkatkan penetrasi obat.¹⁶

- a. Densitas adalah rasio dimana terdapat fraksi yang diradiasi dan fraksi yang tidak diradiasi.¹¹ Densitas dari laser bervariasi antara 100-1000 titik/*probe*.⁵ Semakin pendek jarak antara sinar laser, maka kepadatan atau densitas akan semakin tinggi, begitu juga sebaliknya.¹² Semakin tinggi proporsi area yang diradiasi, akan semakin besar efikasi dan efek samping yang didapatkan.¹¹ Untuk mengukur densitas, beberapa laser fraksional menggunakan unit “%” atau “*Spots/cm²*” atau “milimeter (mm)”. Jarak antara sinar laser dapat diatur dari 0,1 mm – 2,0 mm, dimana jarak < 1,0 mm dipergunakan untuk meningkatkan densitas terapi, dan jarak > 1,0 mm dipergunakan untuk menurunkan densitas terapi.¹²
- b. Diameter *microwound* ini dipengaruhi oleh *spot size*. Selain itu besarnya energi yang diberikan juga akan mempengaruhi diameter dari *microwound*. Diameter ini akan mempengaruhi rasio fraksi dari terapi sendiri.¹¹ Jenis luka yang dihasilkan dapat dibagi menjadi 2, yaitu *microwound* (75-150 μm) dan *macrowound* (>300 μm). Biasanya 1 *pass* meliputi 3-10% permukaan area kulit yang diterapi, dengan jumlah *pass* berkisar antara 3-8 *pass* dan total area yang diliputi berkisar 15-30% per sesi terapi.⁵
- c. Kedalaman dari MTZs ditentukan oleh energi. Semakin dalam kerusakan yang terjadi, maka efektivitas akan meningkat, begitu juga efek samping dari laser fraksional.¹¹
- d. Panjang gelombang dari laser juga merupakan parameter kunci pada laser fraksional dan masih berhubungan dengan koefisien absorpsi dari panjang gelombang tiap masing masing laser. Laser CO₂ memiliki rasio ablasi:koagulasi 70:30, sehingga paling efektif. Untuk laser fraksional Er:YAG memiliki rasio 90:10 dan laser fraksional non-ablatif memiliki rasio 0:100, sehingga keduanya kurang efektif dibandingkan CO₂.¹¹

INDIKASI LASER FRAKSIONAL

Pasien yang ideal untuk laser *resurfacing* kutaneus memiliki warna kulit yang cerah (tipe kulit Fitzpatrick I atau II) dengan kulit wajah yang mengalami *fotodamage* atau bekas luka. Pasien dengan warna kulit yang lebih gelap (tipe kulit Fitzpatrick III hingga VI) paling baik dirawat dengan sistem fraksional karena profil dispigmentasi pasca operasi yang lebih rendah. Yang penting, pasien harus memiliki harapan yang realistis terhadap proses perawatan dan hasil klinis yang diantisipasi. Evaluasi dan edukasi pasien sebelum operasi yang memadai sangat penting untuk mengoptimalkan hasil klinis. Kemampuan emosional pasien untuk mentoleransi pemulihan yang lama merupakan faktor penting dalam menentukan pilihan laser yang paling tepat untuk perawatan.^{3,5} Indikasi laser fraksional dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

Laser skin resurfacing merupakan penggunaan alat non-invasif yang efektif untuk menghilangkan skar, pigmentasi, dan kerutan pada kulit. Studi ulasan sistematis oleh Mirza dan kawan-kawan, mengenai perbandingan laser ablatif dan non-ablatif untuk *resurfacing*, didapatkan bahwa laser ablatif memberikan hasil yang lebih superior dibandingkan non-ablatif. Namun, beberapa studi juga mendapatkan bahwa terdapat perbaikan yang signifikan untuk kombinasi laser ablatif dan non-ablatif.¹⁷

Kasus kerutan (*rhytides*) dan *photoaging* juga sudah banyak dilakukan. Studi ulasan sistematis oleh Estupinan dan

Tabel 4.1. Indikasi terapi laser fraksional⁵

Laser Fraksional	Indikasi
Laser fraksional ablatif	<ul style="list-style-type: none">- Skar akne (<i>rolling/boxcar</i>)- Skar lainnya (trauma, operasi, atrofi, luka bakar)- Striae distensiae- Kerutan sedang dan dalam- Kulit kendur- Solar elastosis- Diskromia- Melasma (epidermal)- Poikiloderma- Kerutan diinduksi oleh cahaya
Laser fraksional non-ablatif	<ul style="list-style-type: none">- Skar akne (<i>rolling/boxcar</i>)- Rejuvenasi- <i>Photodamaged skin</i> ringan - sedang- Kerutan halus- Perubahan pigmentasi (poikiloderma, diskromia, hiperpigmentasi, melasma, lentigen, tatoo)- Abnormalitas vaskular- Tekstur kulit

kawan-kawan didapatkan pada 70% pasien yang diterapi dengan laser fraksional mengalami perbaikan untuk kerutan periorbita derajat sedang-berat sebesar 76-100% dari skor *the Global Aesthetic Improvement Scale (GAIS)*.¹⁸

Penggunaan laser fraksional CO₂ untuk terapi skar akne yang depresi sudah banyak dilakukan. Studi ulasan sistematis dan meta analisis oleh Lin dan kawan-kawan mendapatkan bahwa pasien dengan skar akne depresi yang diterapi dengan laser fraksional mengalami perbaikan dalam *smoothness* (kehalusan) kulit dan perbaikan skor jumlah lesi total dibandingkan dengan yang tidak dilakukan laser fraksional.¹⁹

Studi ulasan sistematis oleh Sitohang dan kawan-kawan tentang bedah laser fraksional CO₂ untuk skar hipertrofik didapatkan bahwa terdapat perubahan yang bermakna pada

pliabilitas (kelunakan), vaskularitas, dan kepadatan serabut elastin dari skar tersebut. Pada studi ini juga disebutkan bahwa laser fraksional CO₂ lebih superior daripada laser erbium. Perbaikan dari skar hipertrofik ini juga dibuktikan oleh pemeriksaan histopatologi yang menunjukkan adanya pembuluh darah yang memisahkan serabut kolagen, peningkatan kadar enzim *matrix metalloproteinase* (MMP)-9 pada pembuluh darah endotel dan fibroblas dermis. Selain pemeriksaan objektif, ternyata kepuasan pasien juga lebih tinggi pada pasien yang diterapi dengan laser fraksional CO₂ daripada laser fraksional erbium.²⁰

Terdapat juga ulasan sistematis dan meta-analisis dari Choi dan kawan-kawan mengenai laser fraksional CO₂ untuk skar dari luka bakar dan didapatkan bahwa 80% dari studi mendapatkan perbaikan yang signifikan pada skor *Vancouver Scar Scale* (VSS), yang mencakup skor pigmentasi, vaskular, pliabilitas, dan tinggi dari skar. Selain VSS, terdapat juga perbaikan yang bermakna dari *Dermatology Life Quality Index* (DLQI). Terdapat efek samping ringan pada beberapa studi seperti hiperpigmentasi, eritema, dan gatal.²¹ Studi ini juga didukung oleh studi yang dilakukan oleh Zhang dan kawan-kawan, dimana didapatkan laser fraksional CO₂ memberikan perbaikan yang signifikan dari pigmentasi (48,2%), vaskularisasi (55,9%), pliabilitas (60,7%), dan ketebalan (56,6%).²² Studi ini juga didukung oleh studi dari Buhalog dan kawan-kawan, dimana didapatkan perbaikan pada skor VSS.²³

Striae distensiae atau *stretch marks* merupakan lesi dermis yang dapat terjadi selama kehamilan, remaja, obesitas, dan penyakit lainnya (sindrom Cushing's atau penggunaan kortikosteroid kronis). Penggunaan laser fraksional, baik CO₂ atau Er:YAG, memiliki efektivitas yang tidak jauh berbeda,

namun Er:YAG memiliki efek samping yang lebih minimal (eritema, edema, dan HPI), sehingga laser fraksional Er:YAG lebih dipilih untuk tipe kulit IV-VI. Terdapat studi laser Er:YAG untuk kasus striae distensiae, didapatkan perbaikan sebesar 85%, pada ketebalan kulit, elastisitas, dan kualitas.²⁴

Meskipun laser CO₂ atau laser ablatif Er:YAG termodulasi menghasilkan hasil klinis yang paling dramatis, beberapa pasien mungkin tidak dapat mentolerir periode pemulihan intensif yang diperlukan. Pemulihan pasca laser ablatif memerlukan 7 hingga 10 hari penyembuhan luka yang intens selama proses reepitelisasi, diikuti oleh eritema intens selama beberapa minggu. Untuk pasien yang tidak dapat berkomitmen untuk melakukan proses pemulihan yang lama, laser nonablatif atau fraksional mungkin merupakan pilihan yang lebih tepat. Laser nonablatif biasanya menghasilkan eritema dan edema ringan, yang akan sembuh secara spontan dalam waktu 24 jam. Berbeda dengan sistem ablatif, laser nonablatif dan fraksional dapat diterapkan dengan aman pada area non fasial karena tidak ada gangguan epidermal dan area dengan kelenjar pilosebacea yang relatif sedikit yang diperlukan untuk reepitelisasi (seperti leher dan dada bagian depan) dapat dirawat dengan aman.³

KONTRAINDIKASI LASER FRAKSIONAL

Ketika mempertimbangkan seorang pasien untuk menjalani laser *resurfacing*, ada beberapa kontraindikasi yang harus diketahui oleh dokter. Pertama dan terutama, pasien harus diberi konseling yang memadai sehingga harapan mereka sesuai dengan hasil klinis yang dapat diharapkan dari prosedur laser *resurfacing*. Infeksi kulit aktif baik bakteri, virus, atau jamur merupakan kontraindikasi absolut untuk prosedur laser *resurfacing*. Selain itu, karena kulit yang diablasi sembuh dari

sel progenitor yang terkandung di dalam unit pilosebacea, pasien dengan kelainan adneksa mungkin memiliki masalah yang signifikan dengan penyembuhan luka pasca operasi dan tidak boleh menjalani laser *resurfacing* ablatif. Pasien ini termasuk mereka yang sebelumnya telah menjalani iradiasi kulit terapeutik yang sering kali membahayakan adneksa lokal. Karena isotretinoin dan retinoid sistemik lainnya memengaruhi fungsi unit sebaceous, kendala laser *resurfacing* ablatif pada pasien yang telah menerima terapi isotretinoin masih menjadi kontroversi.^{3,5,6}

PREOPERATIF

Anamnesis mengenai riwayat medis pasien, termasuk riwayat penyakit dahulu, riwayat pengobatan, dan riwayat pemakaian kosmetik perlu kita ketahui.⁷ Riwayat penyakit seperti keloid, skar hipertrofi, herpes labialis, penyakit vitiligo atau penyakit kulit yang memiliki fenomena Koebner, penyakit jaringan konektif juga harus ditanyakan karena dapat mengganggu proses penyembuhan.⁵ Kondisi hamil atau menyusui juga harus ditanyakan, apabila pasien sedang hamil atau menyusui, tindakan laser fraksional lebih baik ditunda. Riwayat tindakan seperti *waxing*, mikrodermabrasi, *peeling* dan toksin botulinum⁵ harus dihindari 1 minggu sebelum tindakan laser. Riwayat pemakaian antikoagulan atau anti pembekuan darah (*aspirin*, *fish oils*, *ibuprofen*, dan obat *photosensitizer*) juga harus dihentikan.⁷

Pasien juga diinstruksikan untuk menghindari paparan sinar matahari secara ketat dalam 6 minggu sebelum tindakan laser, serta menggunakan tabir surya.²⁵ Pasien dengan tipe kulit gelap (III-VI), perlu dilakukan persiapan *preconditioning* yaitu dilakukan dengan pemberian krim asam retinoat 0,025% atau hidrokuinon selama 2-6 minggu sebelum tindakan laser untuk mempercepat re-epitelisasi. Namun, retinoid oral harus dihindari selama 6 bulan sebelum tindakan. Pemberian obat sistemik seperti antibiotik dapat diberikan 2 hari sebelum dan 2 hari sesudah tindakan untuk mengurangi infeksi bakteri. Antivirus (asiklovir 800 mg dua kali sehari) dapat diberikan

mulai 2 hari sebelum tindakan sampai 5 hari paska tindakan untuk pasien yang memiliki riwayat infeksi herpes simpleks.²⁶

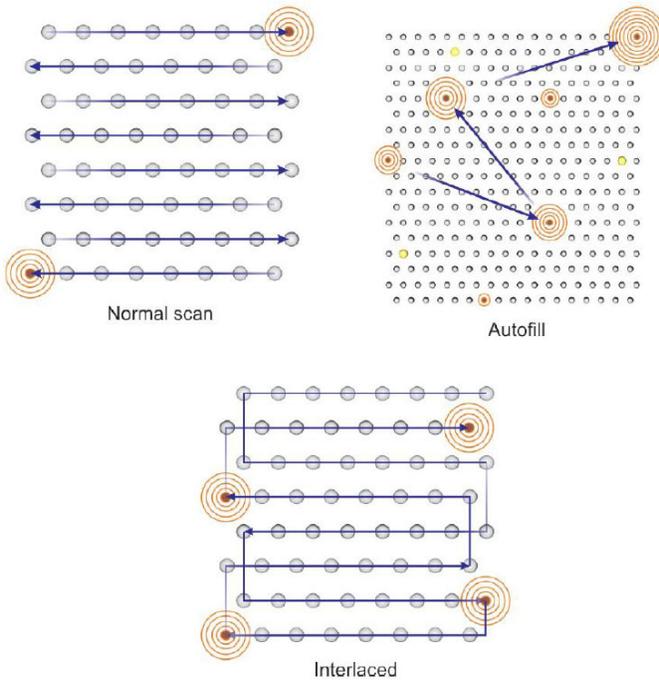
Pada pemeriksaan fisik, kita harus menilai terlebih dahulu tipe kulit pasien (Tipe kulit I-VI)⁵. Area kulit yang akan dilakukan terapi harus bebas dari infeksi kulit (seperti impetigo atau herpes simpleks) atau penyakit kulit lainnya (seperti dermatitis, psoriasis, dan lainnya). Pengambilan foto harus dilakukan sebelum tindakan untuk melakukan evaluasi setelah tindakan.⁷

Pasien juga diberikan premedikasi untuk mengurangi nyeri pada saat tindakan dengan lidokain dan tetrakain topikal 1 jam sebelum tindakan. Pemberian injeksi ketorolak 60 miligram intramuskular juga dapat diberikan apabila pasien direncanakan untuk diberikan laser fraksional yang agresif. Ekspektasi pasien juga harus didiskusikan, agar tidak berlebihan.⁸

INTRAOPERATIF

Prinsip dalam menggunakan laser fraksional, baik ablatif maupun non-ablatif, sebaiknya menghindari penggunaan energi dan densitas yang terlalu tinggi, hindari *pass counts* yang terlalu banyak, dan hindari *bulk heating*.⁸ Biasanya, penggunaan energi yang lebih tinggi diikuti oleh densitas yang lebih rendah. Ketika akan digunakan beberapa *pass*, sebaiknya diberikan interval waktu yang cukup lama untuk menurunkan suhu jaringan diantara *pass*, atau dapat juga digunakan mesin *external cooling (forced air colling)*.⁵

Salah satu metode pengaturan laser fraksional dapat adalah mode *scanning*, yang terdiri dari mode normal, mode *interlaced*, dan *autofill*. Dimana mode *interlaced* dipilih untuk mengurangi efek panas pada saat terapi dan mode *autofill* digunakan untuk mengurangi panas yang berlebihan pada jaringan (**Gambar 5.1**).⁵



Gambar 5.1. Pola mode *scanning* pada laser fraksional.⁵



Gambar 5.2. Contoh *pass* tunggal dan *pass* *overlapping* dengan *stamping mode*.⁵

Selain menggunakan mode *scanning*, bisa juga digunakan mode *stamping*, yang artinya ketika sudah diberikan 1 *pass*, maka diberikan lagi *pass* kedua, namun *probe* dari *handpiece* diputar 45° (**Gambar 5.2**). Cara alternatif lainnya dapat juga diberikan *double pass* dengan teknik 50% *overlap*.⁵

Setiap indikasi dari kelainan kulit memiliki dosis yang berbeda, terutama untuk kelainan patologis pada dermis seperti skar akne. Terdapat beberapa prinsip mengenai dosis yang dapat kita terapkan yaitu densitas tinggi dan dosis rendah digunakan untuk kelainan epidermis, namun densitas rendah dan dosis yang tinggi digunakan untuk kelainan dermis. Ketika mengobati skar atau *photodamage* sedang sampai berat, maka dibutuhkan energi dan densitas yang lebih tinggi. Parameter laser yang lebih rendah harus digunakan pada pengobatan di daerah kelopak, preaurikular, daerah rahang, dan kulit leher. Apabila akan digunakan terapi kombinasi, maka laser fraksional non-ablatif harus dilakukan terlebih dahulu dibandingkan dengan laser fraksional ablatif. Untuk sesi terapi, secara umum biasanya diperlukan sekitar 3-5 sesi terapi, dengan jarak interval kurang lebih 6-8 minggu.⁵ Beberapa parameter laser fraksional CO² ditunjukkan pada **Tabel 5.1**¹² dan klasifikasi pengaturan energi untuk laser fraksional ablatif pada **Tabel 5.2**.²⁵

Prinsip penggunaan laser fraksional untuk tipe kulit gelap (tipe III-VI), dengan mengurangi densitas dan *pulse energy*, kurang lebih sebesar 20-33%. Interval terapi dapat diperpanjang, yang rata-rata awalnya 6-8 minggu, bisa diperpanjang menjadi setiap 12 minggu.²⁵

PASCAOPERATIF

Pasien yang dilakukan laser fraksional ablatif, lebih baik diberikan kompres dingin selama 30 menit, namun untuk laser

fraksional non-ablatif, tidak diperlukan.⁵ Pasien dianjurkan untuk menggunakan masker steril dan menutupi area yang diterapi dengan emolien yang bersifat non-komedogenik. Pasien juga dianjurkan untuk menggunakan perlindungan terhadap

Tabel 5.1. Parameter Laser Fraksional CO2¹²

Indikasi	Energi (mJ)	Densitas (mm)	Scanning size (mm)
Rejuvenasi kulit (T zone, pipi depan, lipatan nasolabial)	10-12	0,8-1,0	20 x 20
Rejuvenasi kulit (dahi, periorbital, sisi wajah)	10-12	1,0 – 1,2	20 x 20
Pori pori besar (T Zone, pipi depan, dan lipatan nasolabial)	14-24	0,8 – 1,0	20 x 20
Pori besar (dahi, periorbital, sisi wajah)	14-20	1,0 – 1,2	20 x 20
<i>Focal Acne Scar Treatment</i> (FAST) method	18-22	0,8	≤ 5 x 5
<i>Boxcar scar</i>	24-40	1,2 – 1,4	≤ 5 x 5
Skar hipertrofik	20-40	1,0 – 1,2	≥ 5 x 5
Keratosi seboroik	5	0,2	≥ 5 x 5
<i>Skin booster</i>	5	0,7 – 0,8	20 x 20

Tabel 5.2. Pengaturan energi dan densitas untuk laser fraksional ablatif²⁵

Parameter	Unit
<i>Pulse energy</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Tinggi: >80 mJ (kedalaman >1,8 mm, hanya digunakan dengan densitas yang rendah) - Sedang: 30-80 mJ (kedalaman 0,9-1,8 mm, digunakan dengan densitas rendah sampai sedang) - Rendah: <30 mJ (kedalaman < 0,9 mm, kedalaman sedang secara sistem)
Densitas	<ul style="list-style-type: none"> - Tinggi: ≥ 10% (gunakan dengan hati-hati dan dengan energi rendah) - Sedang: 5% - Rendah: 1-3%

matahari seperti tabir surya, topi, dan pelindung lainnya, untuk mengurangi terjadinya PIH. Apabila pasien mengalami edema, dapat diberikan kompres es dan prednison 60 miligram selama 3 hari.⁸

Pasien juga diberikan edukasi bahwa nanti kulit dapat kering dan mengelupas dalam 3-7 hari. Untuk pasien yang sensitif terjadi akne, sangat baik untuk memberikan antibiotik oral paska terapi laser selama 10-14 hari.⁵

Perawatan paska tindakan laser fraksional pada orang dengan tipe kulit gelap (III-VI), pasien dapat diberikan terapi topikal asam azaleat 15%, hidrokuinon 4% selama 2-6 minggu setelah terapi. Untuk sesi terapi selanjutnya, ditunggu sampai PIH membaik, kurang lebih 4 minggu atau lebih.²⁵

Efek samping pada prosedur laser fraksional bervariasi dan terkait dengan keahlian operator, lokasi anatomi yang ditangani, fototipe kulit pasien, kondisi kulit yang mendasari, agresivitas prosedur laser, perawatan luka pasca operasi, dan beberapa faktor lainnya. Ketika sebagian besar teknik laser kulit *resurfacing* ablatif dibandingkan (*single-pass CO₂ vs multipass, Er:YAG long pulse*), waktu penyembuhan pasca operasi dan profil komplikasi sebanding, bahkan pada pasien dengan fototipe kulit yang lebih gelap. Efek samping yang umumnya terjadi pada penggunaan laser fraksional dapat dilihat pada **Tabel 6.1**.^{3,8}

Prolonged erythema adalah eritema yang menetap lebih dari 4 hari setelah laser non-ablatif atau lebih dari 1 bulan setelah laser ablatif.⁷ Sebuah studi mendapatkan eritema pasca operatif dari laser CO₂ dapat terjadi rata-rata selama 4,5 minggu dan untuk laser Er: YAG dapat terjadi rata-rata selama 3,6 minggu.²⁸ Laser Er:YAG menghasilkan eritema yang lebih ringan dan lebih singkat.²⁷ Hal ini dapat terjadi bila menggunakan *fluence* yang tinggi.⁷ Hal ini dapat dihindari dengan menghindari tindakan laser pada kulit yang inflamasi (akne atau rosacea) dan menghindari pemakaian produk yang dapat menjadi bahan iritan (asam askorbat). Pada lokasi eritema dengan indurasi dan nyeri tekan (sebagai tanda pembentukan skar awal), dapat diberikan kortikosteroid dan/atau *pulsed dye laser* (PDL) atau *light emitting diode* (LED)²⁷

Akne atau milia dapat terjadi dalam 1-2 minggu paska bedah laser²⁷ dan ditemukan pada 83% pasien yang dilakukan tindakan laser fraksional ablatif, namun hanya 10% saja pada laser fraksional non-ablatif.⁸ Hal ini terjadi biasanya akibat penggunaan *wound dressing* yang oklusif atau salap, namun dapat hilang spontan.²⁸ Bila akne masi aktif, lebih baik tindakan bedah laser fraksional ditunda.⁷ Penggunaan *wound dressing* yang tidak oklusif dan kompres basah dapat memperbaiki kondisi ini.²⁶

Risiko toksisitas dari anestesi sangatlah minimal, dengan angka kejadian 1 dari 1000 tindakan, dimana hal tersebut dapat terjadi apabila diaplikasikan lidokain 30% pda area wajah dan leher.⁸

Dermatitis kontak dilaporkan terjadi sebesar 50% setelah tindakan laser *resurfacing*.²⁷ Setelah tindakan laser, integritas dari perlindungan kulit akan terganggu, menyebabkan kulit menjadi sensitif.⁷ Kondisi ini dapat terjadi karena respon kulit yang sensitif terhadap obat topikal, sabun, dan pelembab yang dipergunakan paskaoperatif, sehingga bahan topikal yang mengandung antibiotik, pewangi, dan pengawet harus dihindari.²⁸ Kortikosteroid topikal dapat diberikan untuk tatalaksana kondisi ini.⁷

Dispigmentasi atau perubahan pigmen merupakan efek samping yang berat dari laser ablatif, namun hal ini sudah berkurang sejak ditemukannya laser fraksional.⁸ Dispigmentasi yang terjadi dapat berupa hiperpigmentasi atau hipopigmentasi.²⁸ Hiperpigmentasi biasanya terjadi pada 30% pasien yang menerima laser *resurfacing*, terutama pada tipe kulit yang lebih gelap, dan terjadi secara transien.²⁷ Parameter *fluence* yang tinggi/densitas rendah dan interval terapi yang lebih panjang dapat mengurangi efek samping ini.⁷

Hiperpigmentasi ini dapat timbul 3-4 minggu setelah tindakan dan bertahan beberapa bulan apabila tidak diterapi.²⁷ Efek samping hiperpigmentasi ini dapat menghilang seiring dengan waktu, namun dapat dikurangi dengan menggunakan obat topikal paska operatif seperti hidrokuinon, asam retinoat, asam azaleat, asam kojik, dan asam glikolat.²⁸ Semua obat topikal untuk hiperpigmentasi ini hanya boleh digunakan setelah fase penyembuhannya (eritema) telah selesai.²⁷ Penggunaan tabir surya juga sangat penting.²⁸ Hipopigmentasi merupakan efek samping jarang yang tidak langsung timbul setelah tindakan laser *resurfacing*, biasanya dapat muncul beberapa bulan (6-12 bulan) paska tindakan.²⁷ Hipopigmentasi terjadi akibat trauma termal pada melanosit dan dapat bersifat permanen.⁷ Penggunaan laser *excimer* atau fotokemoterapi topikal dapat memperbaiki pigmentasi.²⁸

Risiko infeksi meningkat pada minggu pertama setelah tindakan bedah laser *resurfacing*, yaitu infeksi tersebut dapat disebabkan oleh virus, bakteri, ataupun jamur.²⁷ Infeksi yang paling sering setelah laser ablatif *resurfacing* adalah reaktivasi infeksi HSV labial, sekitar 7% setelah laser CO₂.²⁸ Infeksi HSV dapat dikurangi dengan memberikan antiviral profilaksis menggunakan asiklovir atau valasiklovir selama 7-14 paska terapi, seiring dengan selesainya proses re-epitelisasi.²⁷ Infeksi bakteri seperti infeksi *staphylococcus* atau *pseudomonas* dan infeksi jamur (kandidiasis) dapat terjadi. Infeksi paska operasi harus ditatalaksana secara cepat dengan antibiotik atau antifungal yang sesuai.²⁸ Studi mengenai penggunaan antibiotik sebagai profilaksis masih belum konsisten, namun penggunaan kompres antimikrobal (asam asetat atau asam hipoklorit yang dilarutkan) dapat mengurangi kontaminasi bakteri saat proses re-epitelisasi. Pasien juga diedukasi untuk mencuci tangan

dengan sabun antiseptik apabila ingin mengoleskan krim atau mengganti *dressing*.²⁷

Keratoakantoma eruptif merupakan karsinoma derajat rendah yang kita dapatkan dari *resurfacing* ablatif dan suatu komplikasi yang jarang.⁸ Meltzer dan kawan-kawan melaporkan 2 kasus skuamosa atipia eruptif paska laser fraksional untuk rejuvinasi.²⁹ Terapi utama untuk keratoakantoma adalah eksisi. Bedah mikrografik Mohs juga bisa digunakan untuk keratoakantoma yang besar atau destruktif.³⁰

Skar hipertrofik dan ektropion merupakan komplikasi paling berat dari laser *resurfacing*.²⁸ Ektropion sikatrikal biasanya terjadi pembengkakan pada kelopak bawah dan pipi, lalu terjadi *oozing* serosanguinis pada hari ke-2. Lalu palpebra bawah menjadi lebih tebal dan *drooping* pada minggu ke-1. Sampai akhirnya pada bulan pertama, terbentuk skar pada palpebra bawah dengan ektropion.⁸ Laser ablatif dengan jumlah unit pilosebaceus yang berkurang, fungsi kurang baik, atau bahkan tidak ada (kelopak, leher, dada) dapat meningkatkan risiko terjadinya skar.²⁸ Faktor lain adalah *stacking* atau *overlapping* dari laser *pulse*, dan penggunaan *fluence* yang terlalu besar.²⁷ Skar eritema dapat diterapi lebih awal menggunakan kortikosteroid topikal poten atau intralesi, 5-flourourasil (5-FU) intralesi, atau PDL.²⁷ Kondisi ini dapat diterapi menggunakan injeksi triamsinolon asetonid 5 mg/ml sebanyak 0,1 ml.⁸ Komplikasi laser fraksional dapat dilihat pada **Tabel 6.2**.^{8,27}

Tabel 6.1. Efek Samping Laser Fraksional Ablatif dan Non-Ablatif⁸

Efek Samping	Laser fraksional ablatif	Laser fraksional non-ablatif
Eritema	Semua pasien, selama 1 minggu, beberapa pasien dapat bertahan sampai 4 minggu, menghilang dalam 3 bulan.	Semua pasien, menghilang dalam 3 hari.
Xerosis	Jarang ditemukan	86,6% pasien, timbul dalam 2 hari dan menghilang pada hari ke-5 atau ke-6.
Edema lokal	Semua pasien, selama 1 minggu, beberapa pasien dapat bertahan sampai 4 minggu, menghilang dalam 3 bulan.	Reaksi cepat dan menghilang pada hari ke-3.
Skuama (<i>flaking</i>)	Jarang ditemukan	60% pasien, timbul pada hari ke-2 dan hilang pada hari ke-5
Pruritis	Jarang ditemukan	37% pasien, timbul pada hari ke-3
Superficial <i>scratches</i> <i>Bronzing</i>	Jarang ditemukan Semua pasien mengalami <i>bronzing</i> atau <i>oozing</i> , Sebagian pasien menghilang dalam 2 minggu.	46,6% pasien 26,6% pasien
Peningkatan sensitivitas	Jarang ditemukan	10% pasien, menghilang dalam 2 minggu
Nyeri	Ditemukan	100% pasien, pada saat Tindakan/
<i>Petechie</i>	53% pasien, menghilang dalam 7 hari	Jarang ditemukan

Efek Samping	Laser fraksional ablatif	Laser fraksional non-ablatif
Krusta/ perdarahan <i>pinpoint</i>	50% pasien, menghilang dalam 72 jam	Jarang ditemukan
Erosi dan lepuh	Sering ditemukan	Jarang ditemukan

Tabel 6.2. Komplikasi laser fraksional^{8,27}

Efek samping yang jarang dan komplikasi
- <i>Prolonged erythema</i>
- Akne/ milia
- Toksisitas anestesi
- Ektropion sikatrikal
- Dermatitis
- Dispigmentasi
- Edema
- Keratoakantoma eruptif
- Infeksi
- Skar (hipertrofik)

Laser adalah sumber cahaya atau radiasi elektromagnetik yang memiliki karakteristik khusus dibandingkan sumber cahaya lainnya, seperti lampu. Cara kerja laser melalui pemanasan jaringan secara presisi dimana energi optik yang diabsorpsi ke dalam kulit.

Laser fraksional sendiri merupakan konsep laser yang relatif cukup baru dan digagas oleh Mainstein pada tahun 2004 dengan konsep fototermolisis fraksional. Prinsip fototermolisis fraksional ini dapat menghasilkan pola *microscopic treatment zones* (MTZs), yang dimana akan meninggalkan kulit sekitar yang tidak rusak sehingga diharapkan dapat mempercepat penyembuhan dan mengurangi terjadinya efek samping.

Terapi bedah laser fraksional, baik laser fraksional ablatif ataupun non-ablatif, semakin banyak digunakan saat ini, terutama untuk indikasi kosmetik. Oleh karena itu, pengetahuan dan keterampilan klinis mengenai bedah laser fraksional harus dipahami dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Alvaro Boechat. Biophotonics. In: Issa MCA, Tamura B, editors. *Lasers, Light and Other Technologies*. Switzerland: Springer; 2018. p. 1–48.
2. Sakamoto FH, Avram MM, Anderson RR. Lasers and Other Energy-Based Technologies - Principles and Skin Interactions. In: Bologna JL, Schaffer J V., Cerroni L, editors. *Dermatology*. 4th ed. New Haven: Elsevier; 2018. p. 2354–63.
3. Ibrahim O, Dover JS. Fundamentals of Laser and Light-Based Treatments. In: Kang S, Amagai M, Bruckner AL, Enk AH, Margolis DJ, McMichael AJ, editors. *Fitzpatrick's Dermatology in General Medicine*. 9th ed. New York: McGraw Hill; 2019. p. 3820–33.
4. Brown ER. Fundamentals of Lasers and Light Devices in Dermatology. In: Madan V, editor. *Practical Introduction to Laser Dermatology*. Switzerland: Springer; 2020. p. 1–52.
5. Sardana K, Chakravarty P, Tenani A. Fractional Photothermolysis. In: Sardana K, Gard VK, editors. *Lasers in Dermatological Practice*. 1st ed. New Dehli: Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd; 2014. p. 172–235.
6. Manstein D, Laubac H-J, Iglesia S, Dormishian A, Rajabi-Estarabadi A, Nouri and K. Fractional Photothermolysis. In: Nouri K, editor. *Lasers in Dermatology and Medicine*. 2nd ed. Switzerland: Springer; 2018. p. 165–96.
7. Felton S, Madan V. Fractional Laser Technology. In: Madan V, editor. *Practical Introduction to Laser Dermatology*. Switzerland: Springer; 2020. p. 163–73.
8. Anolik R, Genonemus RG. Complications of Fractional Lasers (Ablative and Nonablative). In: Tosti A, Beer K,

- Padova MP De, editors. Management of Complications of Cosmetic Procedures. London: Springer; 2012. p. 23–35.
9. Lee JD, Oh MJM, Lee JK, editors. Principles of Laser. In: Principles and Choice of Laser Treatment in Dermatology. Singapore: Springer; 2020. p. 3–35.
 10. Lloyd AA, Graves MS, Ross EV. Laser-Tissue Interactions. In: Keyvan Nouri, editor. Lasers in Dermatology and Medicine. 2nd ed. Switzerland: Springer; 2018. p. 1–36.
 11. Lee JD, Oh MJM, Lee JK, editors. Ablative lasers and Fractional Lasers. In: Principles and Choice of Laser Treatment in Dermatology. Singapore: Springer; 2020. p. 211–33.
 12. Lee JD, Oh MJM. CO2 Fractional Laser and Fractional Photothermolysis. In: Lee JD, Oh MJM, editors. Lasers in Dermatology: Parameters and Choice. Singapore: Springer; 2022. p. 127–35.
 13. Manstein D, Laubac H-J, Iglesia S, Dormishian A, Rajabi-Estarabadi A, Nouri K. Fractional Photothermolysis. In: Nouri K, editor. Lasers in Dermatology and Medicine. 2nd ed. Switzerland: Springer; 2018. p. 165–96.
 14. Kauvar ANB, Kubicki SL, Suggs AK, Friedman PM. Laser Therapy of Traumatic and Surgical Scars and an Algorithm for Their Treatment. *Lasers Surg Med.* 2020;52(2):125–36.
 15. Borges J, Araújo L, Cuzzi T, Martinez L, Gonzales Y, Manela-Azulay M. Fractional Laser Resurfacing Treats Photoaging by Promoting Neocollagenesis and Cutaneous Edema. *J Clin Aesthet Dermatol.* 2020;13(1):22–7.
 16. Wenande E, Anderson RR, Haedersdal M. Fundamentals of fractional laser-assisted drug delivery: An in-depth guide to experimental methodology and data interpretation. *Adv*

- Drug Deliv Rev [Internet]. 2020;153:169–84. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2019.10.003>
17. Mirza HN, Mirza FN, Khatri KA. Outcomes and adverse effects of ablative vs nonablative lasers for skin resurfacing: A systematic review of 1093 patients. *Dermatol Ther.* 2021;34(1).
 18. Souchik A, Kiszluk A, Desai S. Comprehensive Review of Thermomechanical. 2024;17(2):32–42.
 19. Lin L, Liao G, Chen J, Chen X. A systematic review and meta-analysis on the effects of the ultra-pulse CO2 fractional laser in the treatment of depressed acne scars. *Ann Palliat Med.* 2022;11(2):743–55.
 20. Simbolon Sitohang IB, Sirait SAP, Safira FD. Fractional carbon dioxide laser for treating hypertrophic scars: A systematic review of randomised trials. *Australas J Dermatol.* 2022;63(1):27–35.
 21. Choi KJ, Williams EA, Pham CH, Collier ZJ, Dang J, Yenikomshian HA, et al. Fractional CO2 laser treatment for burn scar improvement: A systematic review and meta-analysis. *Burns* [Internet]. 2021;47(2):259–69. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.burns.2020.10.026>
 22. Zhang C, Yin K, Shen Y ming. Efficacy of fractional carbon dioxide laser therapy for burn scars: a meta-analysis. *J Dermatolog Treat.* 2021;32(7):845–50.
 23. Buhalog B, Moustafa F, Arkin L, Lee K, Siwy K, Donelan M, et al. Ablative fractional laser treatment of hypertrophic burn and traumatic scars: a systematic review of the literature. *Arch Dermatol Res.* 2021;313(5):301–17.
 24. Huang Q, Xu LL, Wu T, Mu YZ. New Progress in Therapeutic Modalities of Striae Distensae. *Clin Cosmet Investig Dermatol.* 2022;15:2101–15.

25. Seago M, Shumaker PR, Spring LK, Alam M, Al-Niimi F, Anderson RR, et al. Laser Treatment of Traumatic Scars and Contractures: 2020 International Consensus Recommendations. *Lasers Surg Med.* 2020;52:96–116.
26. Carniol PJ, DeJoseph LM. Fractional Laser Skin Resurfacing. In: IV WHT, editor. *Lasers and Light, Peels and Abrasions.* New York: Thieme Medical Publishers, Inc.; 2016. p. 28–35.
27. Alster TS, Li MK. Dermatologic Laser Side Effects and Complications: Prevention and Management. *Am J Clin Dermatol.* 2020;21(5):711–23.
28. McIlwee BE, Alster TS. Laser Skin Resurfacing: Cosmetic and Medical Applications. In: Kang S, Amagai M, Bruckner AL, Enk AH, Margolis DJ, McMichael AJ, editors. *Fitzpatrick's Dermatology.* 9th ed. New York: Mc-Graw Hill; 2019. p. 3833–45.
29. Meltzer OA, Liem WH, Daines SM. Development of Eruptive Squamous Atypia 2 Weeks Post Fractional Carbon Dioxide Laser Resurfacing. *JAMA Otolaryngol - Head Neck Surg.* 2020;146(8):766–8.
30. Ambur A, Clark A, Nathoo R. An Updated Review of the Therapeutic Management of Keratoacanthomas. *J Clin Aesthet Dermatol.* 2022;15(11):30–6.

Tatalaksana bidang Onkologi Bedah Kulit dan Kosmetik Medik saat ini tidak hanya berpatokan pada penggunaan skalpel untuk tindakan pembedahan namun juga penggunaan energy-based device seperti penggunaan laser fraksional mulai terjadi peningkatan. Penggunaan laser fraksional untuk tatalaksana bedah di bidang Onkologi Bedah Kulit dan Kosmetik Medik tidak hanya dapat memberikan luaran terapi yang baik namun juga meminimalisir adanya efek samping tertentu yang dapat ditimbulkan dari pilihan terapi konvensional.

Buku ini difokuskan pada pembahasan mengenai bedah laser fraksional mulai dari prinsip dasar penggunaan laser fraksional, indikasi, cara penggunaan, dan komplikasinya. Dengan adanya bahasan mengenai bedah laser fraksional ini diharapkan dapat meningkatkan pemahaman dan kompetensi Dokter Spesialis Dermatologi Venereologi dan Estetika khususnya pada bidang Onkologi Bedah Kulit dan Kosmetik Medik.



Dr. dr. Ketut Kwartantaya Winaya, Sp.KK(K), FINSDV, FAADV atau yang lebih dikenal dengan dr. Kwartan merupakan seorang dosen tetap Departemen Dematologi dan Venereologi, Fakultas Kedokteran Universitas Udayana. Saat ini beliau menjabat sebagai Koordinator Program Studi Dematologi dan Venereologi, Fakultas Kedokteran Universitas Udayana sejak tahun 2021. Beliau lahir di Yogyakarta, 20 September 1963.

Riwayat pendidikan beliau ditempuh dari pendidikan dokter umum di Fakultas Kedokteran Universitas Udayana tahun 1983-1991; pendidikan dokter Spesialis Kulit dan Kelamin di Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin tahun 1998 – 2002; pendidikan doktoral di Pascasarjana Ilmu Kedokteran tahun 2014 – 2018. Beliau mendapatkan gelar konsultan dari Perhimpunan Dokter Spesialis Kulit dan Kelamin Indonesia (PERDOSKI) pada tahun 2020 dengan bidang keahlian tumor dan bedah kulit.

Pada tahun 2008, dr. Kwartan pernah menjabat sebagai Ketua Komite Medik dan kepala SMF Bagian Kulit dan Kelamin di RS Indera hingga tahun 2014 dan menjabat sebagai ketua PERDOSKI Provinsi Bali selama 2 periode yaitu tahun 2011 – 2014 dan tahun 2014 – 2017. Beliau merupakan founder dan direktur dari AKL Clinic sejak 2002 hingga sekarang. Beliau juga aktif dalam organisasi Internasional sebagai member of European Academy of Dermatology and Venereology dan member of America Academy of Dermatology.

Penerbit



PT. INTISARI SAINS MEDIS

