



MINI REVIEW: FARMASI PLASMA

Gita Cahya Eka Darma

Program Studi Farmasi, FMIPA, Universitas Islam Bandung

Info Article

Submitted :

9 November 2021

Revised :

13 Desember 2021

Accepted :

21 Desember 2021

Corresponding Author :

Gita Cahya Eka Darma

Email :

g.c.ekadarma@gmail.com

ABSTRAK

Satu dekade terakhir ini, dunia telah mengenal adanya suatu cabang ilmu baru dalam bidang pengobatan yang menggunakan teknologi plasma dalam prosesnya yaitu *plasma medicine*. Suatu ilmu yang mendalami penerapan plasma fisika baik sebagai obat (alat kesehatan) maupun teknologi dalam pengobatan. Teknologi ini memiliki banyak keunggulan dibandingkan teknologi pengobatan pendahulunya sehingga sangat potensial untuk dikembangkan, namun di Indonesia pengetahuan ini masih belum banyak dikenal oleh para peneliti khususnya teknologi farmasi. Kajian ini bertujuan untuk memberikan pengetahuan tentang penerapan plasma khususnya *plasma medicine* atau farmasi plasma, dan menjadikan farmasi plasma sebagai cabang ilmu baru dalam teknologi farmasi. Pendekatan istilah *plasma medicine* ke dalam bahasa Indonesia juga menjadi bagian dari bahasan kajian ini, sebab jika diterjemahkan menjadi "obat plasma" sehingga dapat menimbulkan ambiguitas dalam pemaknaannya. Hasil kajian terhadap penelitian-penelitian *plasma medicine* menyimpulkan bahwa cabang ilmu baru ini memiliki ruang lingkup pengembangan yang sama dengan teknologi farmasi, sehingga penggunaan istilah "Farmasi Plasma" dapat diartikan sama dengan "*Plasma medicine*". Farmasi plasma adalah keilmuan yang mempelajari tentang penggunaan plasma yang diterapkan pada salah satu atau seluruh tahapan dalam pengobatan (preventif, kuratif dan rehabilitatif), sterilisasi dan kosmetika, selain plasma itu sendiri bertindak sebagai obat (*plasma medicine*) berupa alat kesehatan. Keilmuan ini dapat dijadikan cabang keilmuan baru dalam teknologi farmasi di Indonesia.

Kata kunci: *Plasma medicine*, Farmasi plasma, Plasma, Teknologi farmasi

Access this article



ABSTRACT

In the last decade, the world has recognized the existence of a new branch of science in the field of medicine that uses plasma technology in its process, namely plasma medicine. A science that explores the application of plasma physics both as a medicine (medical device) and technology in medicine. This technology has many advantages compared to its predecessor treatment technology, so it is very potential to be developed, but in Indonesia this knowledge is still not widely known by researchers, especially pharmaceutical technology. This study aims to provide knowledge about the application of plasma, especially plasma medicine or

plasma pharmacy, and make plasma pharmacy a new branch of science in pharmaceutical technology. The approach of the term plasma medicine into Indonesian is also part of the discussion of this study, because if it is translated into "obat plasma" it can cause ambiguity in its meaning. The results of the study of plasma medicine studies conclude that this new branch of science has the same scope of development as pharmaceutical technology, so that the use of the term "Plasma Pharmacy" can be interpreted the same as "Plasma medicine". Plasma pharmacy is a science that studies the use of plasma that is applied to one or all stages of treatment (preventive, curative and rehabilitative), sterilization and cosmetics, in addition to plasma itself acting as a drug (plasma medicine) in the form of a medical device. This science can be used as a new branch of science in pharmaceutical technology in Indonesia.

Keywords: *Plasma medicine, Plasma pharmacy, Plasma, Pharmaceutical technology*

1. PENDAHULUAN

Plasma adalah istilah umum yang lazim tersematkan kepada cairan darah dengan kandungan 90% air dan sisanya adalah garam mineral, karbohidrat dan protein. Cairan ini menempati sekitar 55% dari total volume darah di seluruh tubuh (Schaller *et al.*, 2008:12). Plasma yang akan kita bahas ini berbeda dengan plasma (biologi) sebelumnya, yaitu suatu wujud zat yang ke-4 setelah padat, cair dan gas sehingga untuk selanjutnya plasma (fisika). Fenomena ini diperkenalkan pertama kali oleh William Crookes (1878) melalui eksperimen yang dibuatnya yaitu "Crookes tube", kala itu dia menyebutnya sebagai "radiant matter" (Crookes, 1878). Sedangkan istilah "plasma" itu sendiri baru pertama kali digunakan dan diperkenalkan kepada dunia oleh Irving Langmuir (1928), dia mendeskripsikannya sebagai sistem gas terionisasi dengan mengambil analogi dari "plasma darah" (plasma biologi) sebab bentuknya menyerupai "jelly" atau "moldable substance" yaitu zat yang dapat dibentuk (Langmuir, 1928). Setelah itu

dimulai pada tahun 1950-an, ilmuwan mengategorikan penelitian ini ke dalam *Controlled Fusion Research* (CFR) sampai dengan saat ini (Auluck, 2021: 453).

Secara garis besar dan sudah menjadi pengetahuan umum bahwa teknologi plasma dibagi menjadi 2 (dua) berdasarkan sifat termalnya yaitu (1) plasma termal/plasma panas; dan (2) plasma non-termal/plasma dingin. Plasma yang tidak melibatkan atau menghasilkan panas dalam prosesnya inilah yang kemudian akan menjadi fokus bahasan kita, terutama penerapannya dalam dunia pengobatan/medis. Karakter non-termal ini sangat sesuai ketika diaplikasikan pada jaringan hidup atau bahkan dipaparkan langsung kepada tubuh hewan dan manusia, sifat ini juga cocok dengan bahan-bahan pengobatan yang cenderung didominasi oleh sifat mudah rusak/terurai akibat paparan panas (Fridman dan Friedman, 2013). Hal ini berkenaan dengan termolabilitas bahan baik saat produksi maupun tuntutan kondisi khusus seperti syarat sterilisasi

akhir produk, dimana yang paling mudah dan umum adalah sterilisasi dengan cara panas.

Plasma non-termal ini diaplikasikan dalam dunia pengobatan tercatat baru dilakukan selama satu dekade terakhir, sehingga para ilmuwan yang menggeluti penelitian ini sepakat untuk membuat cabang ilmu baru yaitu "*Plasma Medicine*". Suatu keilmuan yang jika diterjemahkan ke dalam bahasa Indonesia menjadi "Obat Plasma" atau bila ditafsirkan bermakna "*Plasma yang sudah diklaim dapat menjadi obat atau digunakan sebagai metode utama dalam teknologi pengobatan suatu penyakit, berlandaskan hasil penelitian*" (Fridman dan Friedman, 2013). Pendekatan istilah atau definitif inilah yang menjadi gagasan penulis dari kajian ini, yaitu Farmasi Plasma.

Farmasi atau istilah globalnya adalah "*pharmaceutical*" merujuk kepada seluruh lingkup yang mencakup cara dan teknologi pembuatan obat dimulai dari persiapan bahan baku (aktif, tambahan dan pengemas), produksi, penyimpanan dan penyalurannya bahkan tahapan penemuan atau sintesis obat, isolasi dan pemurniannya, sampai dengan pengujian efek farmakologisnya yang menguntungkan dan tidak adanya masalah toksikologis yang serius (Aulton dan Taylor, 2018: 1). Sederhananya adalah membuat obat, seperti asal katanya dari bahasa Yunani yaitu "*pharmakon*" yang berarti "obat/guna-guna". Upaya pendekatan yang dimaksud penulis sebelumnya adalah dalam menerjemah dan menafsirkan "*Plasma Medicine*" ke dalam bahasa Indonesia yaitu "Farmasi Plasma". Pendekatan guna menyamakan

persepsi bahasan literasi dan keilmuan ini melalui ruang lingkup perkembangan dan penelitian cabang ilmu baru ini, alih-alih menggunakan istilah "*obat plasma*" atau tidak dapat ditranslasikan ke dalam bahasa kita sendiri, sehingga tetap menggunakan istilah asingnya.

Plasma non-termal ini begitu potensial, mudah diaplikasikan dan memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan para pendahulunya dalam penerapan teknologi fisika di dunia medis, sehingga sanggup melahirkan cabang ilmu baru di luar negeri yang sangat pesat perkembangannya. Penerapan teknologi plasma di Indonesia sebagian besar masih sebatas untuk pengolahan limbah (Agung dan Winata, 2010; Arifin, Warsito, dan Syakur, 2011; Djayati, 2013; Yulastri, Hazmi, dan Desmiarti, 2013; Kasih dan Nasution, 2015; Saphira, Syakur, dan Purwono, 2017). Teknologi ini juga telah mulai diterapkan pada bidang pertanian dan tekstil medis (Triadyaksa dkk., 2007; Sjaifuddin dan Sitohang, 2015; Putra dan Wijayono, 2019; Murti dan Putra, 2020; Purnama dkk, 2021; dan Nuraeni dkk, 2021).

Berdasarkan pemaparan sebelumnya, maka dirumuskan permasalahan antara lain: (1) Apa itu plasma; (2) Apa pengaruh reaksi fisika, kimia dan biologi plasma, sehingga dapat diaplikasikan pada bidang farmasi; (3) Bagaimana perkembangan *plasma medicine* sebagai cabang baru dalam teknologi medis; dan (4) Bagaimana kedekatan ruang lingkup keilmuan tersebut dengan Farmasi Plasma.

Tujuan dari kajian ini adalah (1) Memberikan pengetahuan tentang penerapan plasma khususnya *plasma medicine* atau farmasi plasma; dan (2) Menjadikan farmasi plasma sebagai cabang ilmu baru dalam teknologi farmasi. Kajian ini diharapkan dapat menjadi stimulan pemanfaatan plasma dalam lingkup farmasi secara paripurna, karena teknologi fisika ini tidak menggunakan bahan kimiawi, ramah lingkungan (*green energy*), tidak ada limbah, dapat diaplikasikan langsung pada jaringan hidup, makanan/minuman tanpa merusak jaringan sehat/kandungannya sehingga memenuhi kaedah *thoyyib*.

2. PEMBAHASAN

2.1 Plasma

Plasma adalah gas yang terionisasi; ionisasi berarti konversi atom atau molekul netral menjadi elektron dan ion positif dengan kata lain menjadi radikal bebas atau spesi aktif. Kondisi ini membuat plasma menjadi konduktif secara elektrik, interaktif secara internal dan sangat responsif terhadap medan elektromagnetik (Fridman dan Friedman, 2013). Secara umum plasma didefinisikan sebagai suatu sistem fisika juga kimia yang memiliki efek berantai berupa reaksi biokimia dan biomedisinal; berupa lingkungan gas dimana berhamburannya elektron, ion, dan atom bebas yang terurai dari molekul penyusun materi asalnya akibat "*bombardir*" arus listrik bertegangan tinggi dengan intensitas frekuensi lucutan yang tinggi pula oleh dua elektroda berbeda muatan. Sehingga baik molekul penyusun dari *gas-gas udara bebas*, *air udara*, dan *materi permukaan objek* yang terpapar mengalami ionisasi menjadi

radikal bebas, kondisi ini menciptakan atmosfer sistem plasma bersifat *konduktor listrik*, *elektrostatik* dan *elektromagnetik* namun *temperaturnya rendah* (Thompson, 1962; Bittencourt, 2004; Fridman, 2008; Harry, 2010; Bellan, 2012; Drummond, 2013; Fridman dan Friedman, 2013). Sederhananya, plasma akan menghasilkan medan listrik bertegangan tinggi disertai lucutan (sapan angin) berfrekuensi tinggi, tidak panas, menghasilkan spesi aktif pembunuh mikroorganisme (ozon, nitrogen oksida, peroksida, sinar UV) sehingga permukaan material yang terpapar akan menjadi aktif secara fisika dan kimiawi, bersih dari kontaminan serta steril dari mikroorganisme.

Teknologi plasma yang telah berkembang sangatlah beragam dan berderivatif, secara prinsip dikelompokkan berdasarkan faktor temperaturnya menjadi (Harry, 2010):

1. Non-termal, terdiri dari
 - a) Plasma lucutan tekanan rendah dingin non-equilibrium
 - b) Plasma lucutan tekanan atmosfer non-equilibrium
2. Termal, yaitu plasma termal bermuatan equilibrium (*Arc processes*)

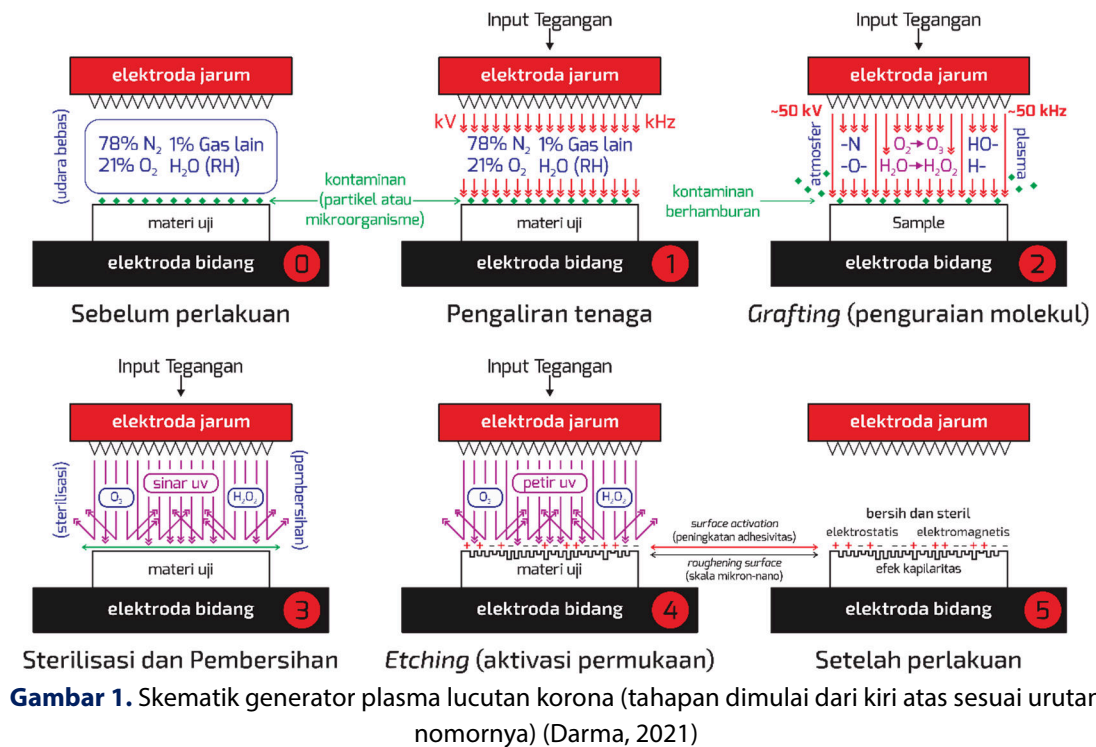
Untuk menghasilkan plasma, terdapat beberapa metode generator plasma yang telah berkembang, meliputi (Wong dan Mongkolnavin, 2016):

1. *DC Electrical Discharge*
 - a) *Electrically breakdown*
 - b) *The I-V characteristic of electrical discharge*
 - c) *The corona discharged*
 - d) *The glow discharged*
 - e) *The cathode discharged*
 - f) *The arc discharged*

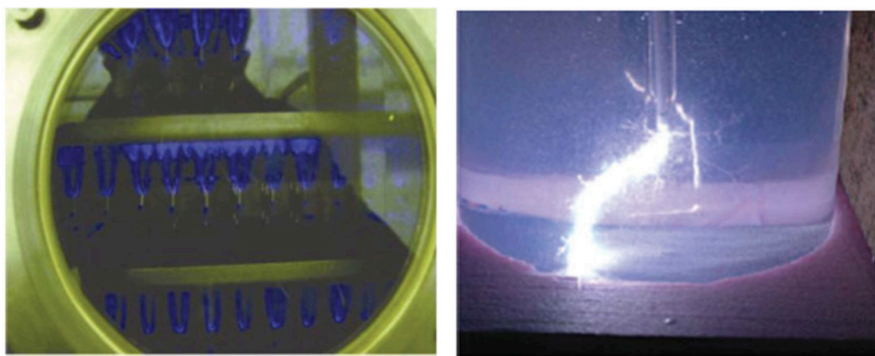
2. AC Discharge (Radio Frequency/RF)
3. Microwave Heating of Plasma
4. Pulse Plasma Discharges

Metode plasma non-termal yang paling banyak digunakan di Indonesia adalah plasma lucutan corona (*corona*

discharge plasma), berikut adalah mekanisme kerja umum dari plasma (**Gambar 1**) dan salah satu jenis generator plasma dengan teknik lucutan corona/*corona discharged* yaitu teknik yang paling sederhana pembuatan dan pengoperasiannya (**Gambar 2**):



Gambar 1. Skematik generator plasma lucutan korona (tahapan dimulai dari kiri atas sesuai urutan nomornya) (Darma, 2021)



Gambar 2. Generator dan pijar plasma lucutan corona (Fridman dan Friedman, 2013)

Teknik ini membutuhkan sistem pengeluaran listrik melalui konduktor dengan bentuk titik tajam (jarum), sehingga listrik yang dikeluarkan menjadi terkonsentrasi pada satu area saja. Plasma hasil lucutan korona ini selalu tidak

seragam, dengan medan listrik yang kuat, sehingga terjadi ionisasi dan luminositas (efek cahaya dari sinar UV) di sekitar satu elektroda (Fridman dan Friedman, 2013). Berikut adalah penjelasan dari **Gambar 1** dan **Gambar 2** di atas:

1. Variabel sistem plasma, meliputi: Asupan DC (~50 kV); frekuensi (~50 kHz); ruang udara (gas-gas udara bebas yang tersusun atas 78% N₂, 21% O₂, 1% gas lain dan H₂O) antara kutub anoda dengan preparat; kontaminan dan preparat
2. Pengaliran tegangan dan frekuensi akan menjadi katalisator terjadinya reaksi ionisasi, oksidasi dan peroksidasi yang akan membentuk spesi aktif plasma sebagai agen penentu interaksi plasma dengan sel/jaringan hidup (**Gambar 1.1**)
3. Reaksi kimia (*Grafting*): Adanya tegangan tinggi dan arus terjangan listrik yang begitu deras terjadilah reaksi pemutusan dan terurainya molekul gas udara bebas sehingga menjadi tidak berikatan dan tidak berpasangan (radikal bebas yaitu N, O, H, OH). Pada tahap ini terciptalah atmosfer plasma berupa reaksi ionisasi akibat pemasangan kembali radikal bebas gas tersebut menjadi atmosfer baru yang kaya akan nitrogen oksida (N₂O) berasal dari N₂ dan O₂; O₃ (ozon) berasal dari O₂; dan hidrogen peroksida (H₂O₂) berasal dari H₂O udara. Nitrogen oksida, ozon dan hidrogen peroksida merupakan senyawa aktif berupa gas yang dapat mematikan bakteri atau virus. Reaksi ini juga menghasilkan sinar UV yang memiliki kemampuan sebagai agen sterilisasi (**Gambar 1.2**).
4. Reaksi biologi (Sterilisasi dan pembersihan kontaminan mikroorganisme): Spesi aktif plasma yang tercipta dari reaksi kimia sebelumnya ditambah dengan sengatan listrik tegangan tinggi dengan arus deras yang bertubi-tubi ini mampu bekerja secara selektif dalam mematikan mikroorganisme patogen dan memberikan efek pembersihan terhadap kontaminan mikroorganisme yang terpapar pada preparat (**Gambar 1.3**).
5. Reaksi fisika (*Etching*): Yaitu proses pensketsaan permukaan preparat menjadi kasar dan berpori namun sangat halus dalam skala *mikron-nano*, tahap ini lazim juga disebut *roughening surface*. Reaksi ini menciptakan efek kapilaritas dan pencangkakan pada permukaan kasar/berpori tersebut, sehingga memiliki kemampuan menarik dan menjerap materi yang terpapar dipermukaannya. Selain teraktifasinya fisik permukaan preparat akibat tersedianya muatan listrik permukaan yang aktif (tidak berpasang) sehingga menghasilkan gaya elektrostatis dan elektromagnetis yang tinggi (**Gambar 1.4**).
6. Pasca perlakuan: Frekuensi arus listrik yang tinggi ini juga memberikan efek pembersihan (*cleaning*) terhadap kontaminan halus tidak kasat mata yang menempel, selain efek meningkatnya sifat adhesivitas permukaan preparat dan keterbasahannya (**Gambar 1.5**).

Generator ini memiliki beberapa keunggulan yang menjadi dasar klaim "*halal dan ramah lingkungan*", antara lain:

1. Tidak menggunakan bahan habis pakai seperti alkohol maupun bahan kimiawi lainnya, sehingga tidak menghasilkan residu dan limbah proses;
2. Sumber daya yang digunakan adalah asupan listrik bertenaga baterai (DC) yang dapat diisi ulang;

3. Operasional serta perawatannya mudah dan murah;

Aplikasinya dalam dunia medis antara lain efektif untuk koagulasi dan pemeriksaan komposisi darah, sterilisasi kulit dan jaringan hidup lainnya, sterilisasi instrumen penunjang medis, alat-alat sensitif terhadap panas, pembuatan biopolimer, rekayasa jaringan dan penyembuhan luka.

2.2 Pengaruh Reaksi Fisika, Kimia, dan Biologi Plasma terhadap Bidang Farmasi

Seperti yang telah diuraikan pada mekanisme kerja plasma sebelumnya, pada saat penerapan plasma terdapat reaksi fisika, kimia dan biologi yang mempengaruhi media paparannya. Berikut adalah penerapan pengaruh-pengaruh tersebut pada bidang farmasi:

1. Fisika

Pensketsaan permukaan preparat menjadi kasar dan berpori namun sangat halus dalam skala mikron-nano atau yang lazim juga disebut *roughening surface* ini dapat diaplikasikan untuk melakukan modifikasi fisika permukaan material seperti: (1) hidrofob menjadi hidrofil sehingga dapat meningkatkan keterbasahan (*wettability*) dan kelarutan zat aktif farmasi; (2) meningkatkan kemampuan penyerapan material hidrofob sehingga terdeposit dengan jumlah besar dalam waktu yang lama; (3) meningkatkan kemampuan adhesivitas preparat terhadap substansi yang berada di permukaannya; (4) efek pembersihan terhadap kontaminan yang berada pada permukaan material; dan (5) sinar uv yang dihasilkan dapat mensterilkan preparat.

2. Kimia (*grafting*)

Reaksi kimia plasma dapat digunakan sebagai metode dalam menghasilkan gas terionisasi dari udara bebas dan sinar UV yang dapat dimanfaatkan baik dalam farmasi. Hal ini dapat meliputi aspek preventif, kuratif dan rehabilitatif.

3. Biologi (sterilisasi dan pembersihan)

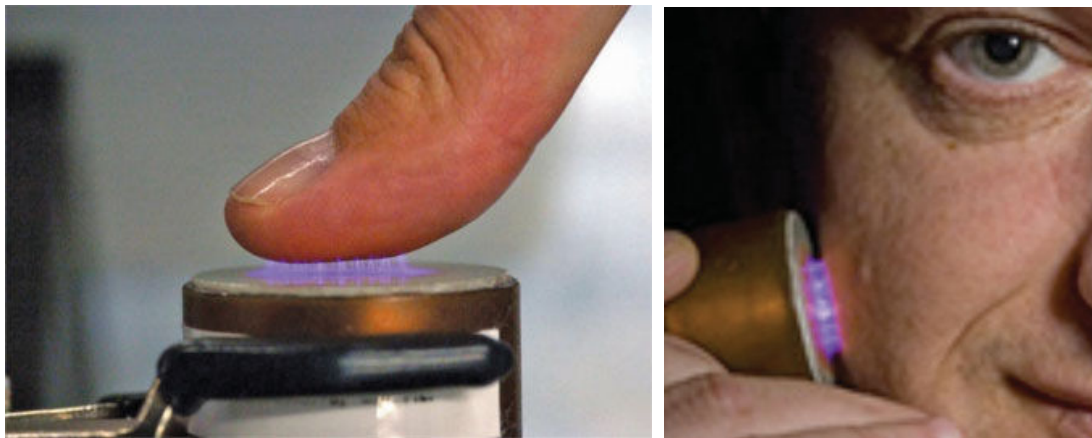
Spesi aktif plasma berupa nitrogen oksida (N_2O), ozon (O_3), hidrogen peroksida (H_2O_2) dan sinar UV yang dapat mematikan bakteri atau virus ini dapat diaplikasikan dalam pengobatan luka, kanker, sterilisasi, pengkondisian bakteri dalam ruangan (*plasmacluster*), mengawetkan makanan/minuman, tekstil medis dan pengolahan limbah.

2.3 Plasma Medicine sebagai Cabang Baru dalam Teknologi Medis

Plasma medicine sebagai pendatang baru ini menuntut multidisiplin ilmu terutama fisika, kimia, biologi, farmasi dan kedokteran tidak hanya dalam pengujian in vitro namun juga in vivo. Dengan terbentuknya *International Society for Plasma Medicine* (ISPM) pada 2009, menandakan pentingnya penelitian mendalam dan terperinci yang berfokus pada pemahaman mendasar tentang basis fisik, kimia, dan biologis dari *Plasma Medicine*. Dimana salah satu agenda besarnya adalah menyelenggarakan forum dunia terkait penelitian plasma-medis yaitu *the International Conferences on Plasma Medicine* (ICPM) yang dilaksanakan 1,5 – 2 tahun sekali dimulai dari 2010.

Penelitian eksperimental yang telah banyak dilakukan pada universitas besar, pusat penelitian, dan rumah sakit di seluruh dunia dalam dekade terakhir menunjukkan hasil bahwa plasma non-termal dapat memberikan solusi terobosan untuk permasalahan medis yang belum terpecahkan oleh teknologi medis pendahulunya. Metode ini sangat efektif dalam mensterilkan permukaan material baik jaringan hidup, disinfeksi udara dan air berskala besar, menginaktivasi patogen berbahaya

termasuk yang ada di dalam makanan dan minuman, bahkan mampu menghentikan pendarahan serius tanpa merusak jaringan sehat (Fridman dan Friedman, 2013). Berikut adalah gambar dari contoh pengaplikasian plasma dalam bidang pengobatan atau sebagai "obat", dimana penggunaannya langsung dipaparkan ke salah satu bagian tubuh dalam bentuk alat kesehatan (*medical device*) (**Gambar 3**), juga penggunaannya dalam penanganan luka dan kedokteran gigi (**Gambar 4**).



Gambar 3. Paparan plasma pada tubuh (Fridman dan Friedman, 2013)



Gambar 4. Plasma medicine atau plasma sebagai obat (Gostev dan Dobrynin, 2006)

Sekarang, bidang *plasma medicine* mencakup beberapa teknik pengaplikasian pada plasma suhu rendah atau non-termal (plasma dingin) hal ini meliputi:

1. Sterilisasi, disinfeksi dan dekontaminasi
Plasma digunakan sebagai teknik untuk sterilisasi, disinfeksi dan dekontaminasi (Fridman *et al.*, 2007; Laroussi *et al.*, 2008; Morris *et al.*, 2009; Grundmann, 2009; Ehlbeck *et al.*, 2011; Laroussi *et al.*, 2011; Zimmermann *et al.*, 2012; Barekzi *et al.*, 2014)
2. Penyembuhan luka
Penggunaan plasma dingin dalam penanganan pasien luka kronis (Fridman *et al.*, 2007; Isbary *et al.*, 2010; dan Babaeva *et al.*, 2013)
3. Kedokteran gigi plasma
Pemutih dan pemutihan gigi (Lee, 2009; Claiborne *et al.*, 2013), plasma di saluran akar gigi (Xiong *et al.*, 2011)
4. Pengobatan kanker atau onkologi plasma
Plasma dalam pengobatan tumor dan kanker (Fridman *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2010; Vandamme *et al.*, 2010; Huang *et al.*, 2011; Keidar *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2011; Barekzi *et al.*, 2012; Tanaka *et al.*, 2012; Volotskova *et al.*, 2012; Köritzner *et al.*, 2013; Laroussi *et al.*, 2013; Schlegel *et al.*, 2013; Tanaka *et al.*, 2013; Utsumi *et al.*, 2013; Laroussi *et al.*, 2014; Mohades *et al.*, 2014; Tanaka *et al.*, 2014; dan Tanaka *et al.*, 2016).

5. Farmakologi plasma
Pemaparan plasma langsung pada jaringan hidup (Shashurin *et al.*, 2008), parameter plasma dan estimasi resiko (Weltmann *et al.*, 2009), penerapan plasma dingin dalam pengobatan dan biologi (McCombs *et al.*, 2012)
6. Kosmetika
Plasma kosmetik sebagai penata-
ulangan jaringan (Elsaie, 2008; dan Foster, 2008).

Penerapan teknologi ini juga menjadi masiv saat dunia dilanda pandemik global COVID-19, terutama sebagai metode sterilisasi, disinfeksi dan dekontaminasi.

2.4 Kedekatan Lingkup Plasma Medicine dengan Keilmuan Farmasi Plasma

Berdasarkan pemaparan sebelumnya, kita dapat melakukan pendekatan berdasarkan ruang lingkup perkembangan dan penelitian terkini dari cabang ilmu baru ini dengan cakupan bidang farmasi. Kita dapat melihat benang merah antara keduanya, bahwa baik *plasma medicine* maupun kefarmasian yang menggunakan plasma dalam penerapan keilmuannya adalah keilmuan yang sama. Sehingga penulis mencoba menafsirkan bahwa **Farmasi plasma** merujuk kepada penggunaan plasma yang diterapkan pada salah satu atau seluruh tahapan dalam pengobatan (preventif, kuratif dan rehabilitatif), pengawetan dan kosmetika, selain plasma itu sendiri bertindak sebagai obat berupa alat kesehatan. Sementara farmasi plasma bahkan dapat lebih dalam dan luas lagi dalam penerapannya pada tahapan pra-produksi bahan baku obat

(bahan aktif, tambahan dan pengemasan), sebab plasma dapat mempengaruhi fisika permukaan material dengan peningkatan adhesivitas dan keterbasahan bahan-bahan hidrofob.

3. KESIMPULAN

Plasma adalah wujud zat keempat yang dapat menghasilkan atmosfer plasma berupa spesi aktif farmasi dalam wujud gas terionisasi. Plasma melibatkan reaksi fisika, kimia dan biologi saat perlakuannya, meliputi kimiawi (*etching*), biologis (sterilisasi), dan fisikawi (*grafting*). Berdasarkan penelitian tentang *plasma medicine* dapat disimpulkan bahwa cabang ilmu baru ini memiliki ruang lingkup pengembangan yang sama dengan teknologi farmasi, sehingga penggunaan istilah "Farmasi Plasma" dapat diartikan sama dengan "*Plasma medicine*". Farmasi plasma adalah keilmuan yang mempelajari tentang penggunaan plasma yang diterapkan pada salah satu atau seluruh tahapan dalam pengobatan (preventif, kuratif dan rehabilitatif), sterilisasi dan kosmetika, selain plasma itu sendiri bertindak sebagai obat (*plasma medicine*) berupa alat kesehatan. Keilmuan ini dapat dijadikan cabang keilmuan baru dalam teknologi farmasi di Indonesia.

4. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas Rahmat-Nya sehingga karya ini dapat terselesaikan, tim redaksi Farmasyifa, ilmuwan *Plasma medicine* atas dedikasi dan kontribusinya untuk dunia pengobatan tanpa mengonsumsi bahan-bahan obat.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung T. dan Winata HR., 2010. Pengolahan Air Limbah Industri Tahu dengan Menggunakan Teknologi Plasma, *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, **2**(2): 19 – 28.
- Arifin F., Warsito A., dan Syakur A., 2011. Perancangan Pembangkit tegangan Tinggi Impuls untuk Aplikasi Pengolahan Limbah Cair Industri Minuman Ringan dengan Teknologi Plasma Lucutan Korona, *Tesis*, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- Aulton ME. dan Taylor KMG., 2018. *Aulton's Pharmaceutics: The Design and Manufacture of Medicines 5th^{ed}*, Elsevier Ltd., London: 1.
- Auluck S., *et al.*, 2021. Review: Update on the Scientific Status of the Plasma Focus, *Plasma*, **4**: 450 – 669.
- Babaeva NY., Kushner MJ., 2013. Reactive fluxes delivered by dielectric barrier discharge filaments to slightly wounded skin. *J. Phys. D Appl. Phys.*, **46**, 025401: 1 – 20.
- Barekzi N., Laroussi M., 2012. Dose-dependent killing of leukemia cells by low-temperature plasma. *J. Phys. D Appl. Phys.*, **45**, 422002: 1 – 6.
- Barekzi N., Laroussi M., 2014. Fibroblasts Cell Morphology Altered by Low Temperature Atmospheric Pressure Plasma. *IEEE Trans. Plasma Sci.*, **42**(10): 2738 – 2739.
- Bellan PM., 2012. *Fundamentals of Plasma Physics*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Bittencourt JA., 2004. *Fundamentals of Plasma Physics 3th^{ed}*, Springer Science+Business Media, LLC., New York.
- Claiborne D., McCombs G., Lemaster M., Akman MA., Laroussi M., 2013. Low Temperature Atmospheric Pressure Plasma Enhanced Tooth Whitening: The Next Generation Technology. *Int. J. Dent. Hygiene*, **12**(2): 108 – 114.
- Crookes W., 1878. *Radiant Matter: A resume of the principal lectures and papers on Fourth State of Matter*, James W. Queen & Co. Philadelphia, London.
- Darma GCE., 2021. Penerapan Teknologi Plasma sebagai Metode Desinfeksi Virus Covid-19, Bunga Rampai Peringatan Milad

- Program Studi Farmasi FMIPA Unisba ke-15, CV. Sadari, Bandung: 9 – 18.
- Djayati S., 2013. Perakitan dan Aplikasi Reaktor Plasma Dielektrik Barrier Discharge untuk Mereduksi Emisi SO₂ dari Hasil Pembakaran Minyak Industri, *Jurnal Riset Industri*, **7**(3): 231 – 242.
- Drummond JE., 2013. *Plasma Physics*. McGraw-Hill Book Co., Mineola.
- Ehlbeck J., Schnabel U., Polak M., Winter J., von Woedtke T., Brandenburg R., von dem Hagen T., Weltmann K., 2011. Low temperature atmospheric pressure plasma sources for microbial decontamination, *J. Phys. D Appl. Phys.*, **44**(1): 1 – 33, 013002.
- Elsaie ML., and Kammer JN., 2008. Evaluation of plasma skin regeneration technology for cutaneous remodeling, *J. Cosmet. Dermatol.*, **7**: 309 – 311.
- Foster KW., Moy RL., and Fincher EF., 2008. Advances in plasma skin regeneration, *J. Cosmet. Dermatol.*, **7**: 169 – 179.
- Fridman A., 2008. *Plasma Chemistry*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Fridman A. and Friedman G., 2013. *Plasma Medicine*, John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex: 1.
- Fridman G., Brooks A., Balasubramanian M., Fridman A., Gutsol A., Vasilets V., Ayan H., Friedman G., 2007. Comparison of direct and indirect effects of non-thermal atmospheric-pressure plasma on bacteria, *Plasma Process. Polym.*, **4**(4): 370 – 375.
- Fridman G., Shereshevsky A., Jost MM., Brooks AD., Fridman A., Gutsol A., Vasilets V., Friedman G., 2007. Floating electrode dielectric barrier discharge plasma in air promoting apoptotic behavior in melanoma skin cancer cell lines, *Plasma Chem. Plasma Process.*, **27**(2): 163 – 176.
- Gostev V. and Dobrynin D., 2006. *Medical microplasmatron*, 3rd International Workshop on Microplasmas (IWM-2006), Greifswald, Germany.
- Grundmann H., Aires-de-Sousa M., Boyce J., and Tiemersma E., 2006. Emergence and resurgence of meticillin-resistant *Staphylococcus aureus* as a public-health threat, *Lancet*, **368**: 874 – 885.
- Harry JE., 2010. *Introduction to Plasma Technology: Science, Engineering and Applications*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, Weinheim.
- Huang J., Li H., Chen W., Lv G.-H., Wang X.-Q., Zhang G.-P., Ostrikov K., Wang P.-Y., Yang S.-Z., 2011. Dielectric barrier discharge plasma in Ar/O₂ promoting apoptosis behavior in A549 cancer cells. *Appl. Phys. Lett.*, **99**, 253701.
- Isbary G., Morfill G., Schmidt HU., Georgi M., Ramrath K., Heinlin, J., 2010. A first prospective randomized controlled trial to decrease bacterial load using cold atmospheric argon plasma on chronic wounds in patients, *Br. J. Dermatol.*, **163**(1): 78 – 82.
- Kasih TP. dan Nasution J., 2015. Pengembangan Teknologi Plasma Dingin untuk Modifikasi Karakteristik Permukaan Material tanpa Mengubah Sifat Dasar Material, *Jurnal PASTI*, **10**(3): 373 – 379.
- Keidar M., Walk R., Shashurin A., Srinivasan P., Sandler A., Dasgupta S., Ravi R., Guerrero-Preston R., Trink B., 2011. Cold Plasma Selectivity and the Possibility of a Paradigm Shift in Cancer Therapy, *Br. J. Cancer.*, **105**(9): 1295 – 1301.
- Kim CH., Bahn JH., Lee S-H., Kim G.-Y., Jun S.-I., Lee K., Baek SJ., 2010. Induction of cell growth arrest by atmospheric non-thermal plasma in colorectal cancer cells. *J. Biotechnol.*, **150**(4): 530 – 538.
- Kim Y., Ballato J., Foy P., Hawkins T., Wei Y., Li J., Kim SO., 2011. Apoptosis of lung carcinoma cells induced by a flexible optical fiber-based cold microplasma. *Biosens. Bioelectron.*, **28**(1): 333 – 338.
- Köritzer J., Boxhammer V., Schäfer A., Shimizu T., Klämpfl TG., Li Y.-F., Welz C., Schwenk-Zieger F., Morfill GE., Zimmermann JL., Schlegel J., 2013. Restoration of sensitivity in chemo-resistant glioma cells by cold atmospheric plasma, *PLoS ONE*, **8**(5): 1 – 10, e64498.
- Langmuir I., 1928. Oscillations in Ionized Gases. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **14**(8): 627 – 637.
- Laroussi M. *Interaction of Low Temperature Plasma with Prokaryotic and Eukaryotic cells*. In Proceedings of the 61st Gaseous Electronics Conference, Dallas, TX, USA, 13–17 October 2008; American Physical Society: Ridge, NY, USA; p. 29.

- Laroussi M., 2014. From Killing Bacteria to Destroying Cancer Cells: Twenty Years of Plasma Medicine. *Plasma Process. Polym.*, **11**(12): 1138 – 1141.
- Laroussi M., Barekzi N., 2013. Effects of Low Temperature Plasma on Two Eukaryotic Cell Lines: Epithelial Cells and Prostate Cancer Cells. In *Proceedings of the 31st ICPIG*, Granada, Spain, 14–19 July 2013.
- Laroussi M., Keidar M., 2014. Plasma & Cancer. *Plasma Process. Polym.*, **11**, 1118 – 1119.
- Laroussi M., Karakas E., Hynes W., 2011. Influence of Cell Type, Initial Concentration, and Medium on the Inactivation Efficiency of Low Temperature Plasma, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, **39**(11): 2960 – 2961.
- Laroussi M., VanWay L., Mohades S., Barekzi N., 2014. Images of SCaBER Cells Treated by Low Temperature Plasma. *IEEE Trans. Plasma Sci.*, **42**(10): 2468.
- McCombs GB., Darby M., Laroussi M., 2012. Dental Applications. In *Plasma Medicine: Applications of Low Temperature Gas Plasmas in Medicine and Biology*; Laroussi M., Kong M., Morfill G., Stolz W., Eds., Cambridge University Press: Cambridge, UK.
- Mohades S., Barekzi N., Laroussi M., 2014. Efficacy of Low Temperature Plasma against SCaBER Cancer Cells, *Plasma Process. Polym.*, **11**(12): 1150 – 1155.
- Morris AD., McCombs GB., Akan T., Hynes W., Laroussi M., Tolle SL., 2009. Cold Plasma Technology: Bactericidal Effects on *Geobacillus Stearothermophilus* and *Bacillus Cereus* Microorganisms, *J. Dent. Hyg.*, **83**(2): 55 – 61.
- Murti W. dan Putra VGV., 2020. Studi Pengaruh Perlakuan Plasma Terhadap Sifat Material Antibakteri Kain Kassa Menggunakan Minyak Atsiri (*Zingiber Officinale Rosc.*), *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, **08**(1): 69 – 76.
- Nuraeni M., Darma GCE., dan Putra VGV., 2021. Penerapan Teknologi Plasma Lucutan Pijar Korona terhadap Peningkatan Efektivitas Minyak Atsiri Nilam (*Patchouli essential oil*) Sebagai Antibakteri pada Tetoron Cotton, *Prosiding Farmasi*, **7**(2): 421 – 426.
- Purnama SA., Darma GCE., dan Soewondo BP., 2021. Penerapan Metode Plasma Pijar Korona dalam Penjerapan Minyak Lemon (*Citrus limon* L Osbeck) serta Uji Efektivitas Antibakterinya Pada Kaos Dalam, *Prosiding Farmasi*, **7**(2): 113 – 121.
- Putra VGV. dan Wijayono A., 2019. Suatu Studi Awal Modifikasi Sifat Pembasahan pada Permukaan Kain Tekstil Poliester 100% menggunakan Teknologi Plasma Pijar Korona. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (SNF)*.
- Saphira DB., Syukur A., dan Purwono, 2017. Pemanfaatan Kitosan dan Teknologi Plasma untuk Penyisihan COD, TSS dan Warna pada Limbah Cair Industri Paper and Packaging, *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, **14**(2): 62 – 67.
- Schaller J., Gerber S., Kampfer U., Lejon S., Trachsel C., 2008. *Human Blood Plasma Proteins: Structure and Fuction*, John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex: 12.
- Schlegel J., Koritzer J., Boxhammer V., 2013. Plasma in Cancer Treatment, *Clin. Plasma Med.*, **1**(2): 2 – 7.
- Shashurin A., Keidar M., Bronnikov S., Jurjus RA., Stepp MA., 2008. Living tissue under treatment of cold plasma atmospheric jet, *Appl. Phys. Lett.*, **93**(18), 181501.
- Sjaifuddin A. dan Sitohang KH., 2015. Rancang Bangun Prototip Mesin Plasma Tekstil Lucutan Korona pada Tekanan Atmosfir Skala Laboratorium, *Arena Tekstil*, **30**(1): 25 – 36.
- Tanaka H., Mizuno M., Ishikawa K., Takeda K., Nakamura K., Utsumi F., Kajiyama H., Kano H., Okazaki Y., Toyokuni S., et al., 2014. Plasma Medical Science for Cancer Therapy: Toward Cancer Therapy Using Nonthermal Atmospheric Pressure Plasma, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, **42**, 3760.
- Tanaka H., Mizuno M., Ishikawa K., Nakamura K., Kajiyama H., Kano H., Kikkawa F., Hori M., 2013. Plasma activated medium selectively kills glioblastoma brain tumor cells by down-regulating a survival signaling molecule, AKT kinase, *Plasma Med.*, **1**(3-4): 265 – 277.
- Tanaka H., Mizuno M., Ishikawa K., Nakamura K., Utsumi F., Kajiyama H., Kano H., Maruyama S., Kikkawa F., Hori M., 2012. Cell survival and proliferation signaling pathways are downregulated by plasma

- activated medium in glioblastoma brain tumor cells, *Plasma Med.*, **2**, 207 – 220.
- Tanaka H., Mizuno M., Kikkawa F., Hori M., 2016. Interactions between a plasma-activated medium and cancer cells, *Plasma Med.*, **6**(1): 101 – 106.
- Thompson WB., 1962. *An Introduction to Plasma Physics 2nd^{ed}*, Pergamon Press, Oxford.
- Triadyaksa P., Nasruddin, Wasiq J., dan Nur M., 2007. Rancang Bangun dan Pengujian Sistem Reaktor Plasma Lucutan Pijar Korona guna Mempercepat Pertumbuhan Tanaman Mangrove, *Berkala Fisika*, **10**(3): 137 – 144.
- Utsumi F., Kjiyama H., Nakamura K., Tanaka H., Mizuno M., Ishikawa K., Kondo H., Kano H., Hori M., Kikkawa F., 2013. Effect of Indirect Nonequilibrium Atmospheric Pressure Plasma on Anti-Proliferative Activity against Chronic Chemo-Resistant Ovarian Cancer Cells In Vitro and In Vivo, *PLoS ONE*, **8**(12), e81576.
- Vandamme M., Robert E., Pesnele S., Barbosa E., Dozias S., Sobilo J., Lerondel S., Le Pape A., Pouvesle J.-M., 2010. Antitumor Effects of Plasma Treatment on U87 Glioma Xenografts: Preliminary Results, *Plasma Process. Polym.*, **7**(3-4): 264 – 273.
- Volotskova O., Hawley TS., Stepp MA., Keidar M., 2012. Targeting the cancer cell cycle by cold atmospheric plasma, *Sci Rep.*, **2**: 636.
- Weltmann K.-D., Kindel E., Brandenburg R., Meyer C., Bussiahn C., Wilke C., von Woedtke T., 2009. Atmospheric Pressure Plasma Jet for Medical Therapy: Plasma Parameters and Risk Estimation, *Contrib. Plasma Plasma Phys.*, **49**(9): 631 – 640.
- Wong CS. dan Mongklonavin R., 2016. *Elements of Plasma Technology*, Springer Nature is an imprint of Springer Science+Business Media Pte Ltd., Singapore.
- Xiong Z., Cao Y., Lu X., Du T., 2011. Plasmas in tooth root canal, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, **39**(11): 2968 – 2969.
- Yulastri, Hazmi A., dan Desmiarti R., 2013. Aplikasi Plasma dengan Metode Dielectric Barrier Discharge (DBD) untuk Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit, *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, **2**(2): 46 – 50.
- Zimmermann JL., Shimizu T., Boxhammer V., Morfill GE., 2012. Disinfection through different textiles using low-temperature atmospheric pressure plasma. *Plasma Process. Polym.*, **9**(8): 1 – 7.



Copyright © 2020 The author(s). You are free to **Share** — copy and redistribute the material in any medium or format. **Adapt** — remix, transform, and build upon the material. Under the following terms: **Attribution** — You must give appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made. You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use. **NonCommercial** — You may not use the material for commercial purposes. **ShareAlike** — If you remix, transform, or build upon the material, you must distribute your contributions under the same license as the original. **No additional restrictions** — You may not apply legal terms or technological measures that legally restrict others from doing anything the license permits.