

DOI: doi.org/10.21009/03.SNF2018.02.PA.13

# APLIKASI LPG UNTUK PELAPISAN PERMUKAAN LOGAM MENGGUNAKAN TEKNIK LUCUTAN PIJAR

Totok Dermawan<sup>1, a)</sup>, Tjipto Sujitno<sup>2, b)</sup>, Refa Artika<sup>3, c)</sup>

<sup>1</sup>STTN-BATAN Jl. Babarsari Kotak Pos 6101/YKBB, telp (0274)484085, Yogyakarta 55281

<sup>2</sup>PSTA-BATAN Jl, Babarsari Kotak Pos 6101/YKBB Yogyakarta 55281

<sup>3</sup>PTBBN-BATAN Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan, Banten, 15314

Email: <sup>a)</sup>[totokderma@batan.go.id](mailto:totokderma@batan.go.id), <sup>b)</sup>[tjiptosujitno@batan.go.id](mailto:tjiptosujitno@batan.go.id), <sup>c)</sup>[refa-artika@batan.go.id](mailto:refa-artika@batan.go.id)

## Abstrak

Aplikasi LPG untuk pelapisan permukaan logam menggunakan teknik lucutan pijar. Surface treatment adalah proses ionisasi yang dimanfaatkan untuk deposisi atom gas pada permukaan benda untuk dapat merubah sifat suatu benda terutama dalam perubahan sifat mekanik, akibat mengalami proses deposisi atom gas. Kegiatan surface treatment suatu material dengan menggunakan teknik plasma lucutan pijar dapat diawali pada kondisi breakdown voltage (BV). Fenomena ini akibat suatu kondisi ketika pelepasan muatan/discharge mulai terjadi sehingga gas yang awalnya bersifat isolator berubah menjadi konduktor. BV terjadi akibat dari sumber tegangan tinggi yang dinaikkan secara terus menerus dalam satu tabung vakum hingga terjadi plasma. Penelitian dengan cara memasukkan gas LPG kedalam tabung vakum. Jarak elektrode, tekanan gas merupakan parameter terjadinya plasma. Kurva Paschen gas LPG, digunakan untuk acuan pada saat pengoperasian mesin plasma lucutan pijar untuk kegiatan surface treatment tersebut. Hasil penelitian diperoleh variasi jarak elektroda sebagai nilai acuan untuk melakukan surface treatment LPG, berdasarkan kurva Paschen antara 0,7cm sampai 2,8 cm.

**Kata-kata kunci:** breakdown voltage, surface treatment, plasma lucutan pijar, LPG.

## Abstract

Measurement of breakdown voltage LPG for metal surface applications using plasma. The surface treatment is an ionization process utilized for deposition of gas atoms on the surface of an object to change the properties of an object, especially in the change of mechanical properties, due to the process of atom gas deposition. Surface treatment of materials using plasma begins during breakdown voltage (BV). This phenomenon is due to a condition when discharge/discharge starts to occur so that the initially insulating gas turns into a conductor. BV occurs as a result of a high voltage source that is raised continuously in a vacuum tube until plasma occurs. Research by putting LPG into a vacuum tube. Electrode distance, the gas pressure is the parameter of plasma occurrence. The Paschen LPG curve, used for reference at the time of operation of the incandescent plasma machine for such surface treatment activities. The result of the research shows that the optimum distance of the electrode for reference to surface treatment using LPG ranges from 0.7cm-2.8 cm.

**Keywords:** breakdown voltage, surface treatment, plasma discharge incandescent, LPG.

## PENDAHULUAN

Salah satu pemanfaatan sumber tegangan tinggi di bidang industri maupun teknologi adalah surface treatment. Teknologi ini memanfaatkan gas sebagai bahan isolator yang menggunakan tegangan tinggi untuk menimbulkan proses ionisasi. Proses tersebut dalam gas ditandai dengan munculnya partial discharge pada nilai tegangan tertentu yang disebut dengan breakdown voltage (BV). Fenomena ini merupakan nilai tegangan minimal dari elektroda untuk dapat mengalirkan arus listrik dengan ditandai munculnya plasma. Hal ini menandakan bahwa gas yang semula bersifat isolator berubah sifat menjadi konduktor. Proses ionisasi dimanfaatkan untuk deposisi atom gas padapermukaan benda yang dapat merubah sifat terutama dalam perubahan sifat mekanik yang mengalami proses deposisi atom gas.

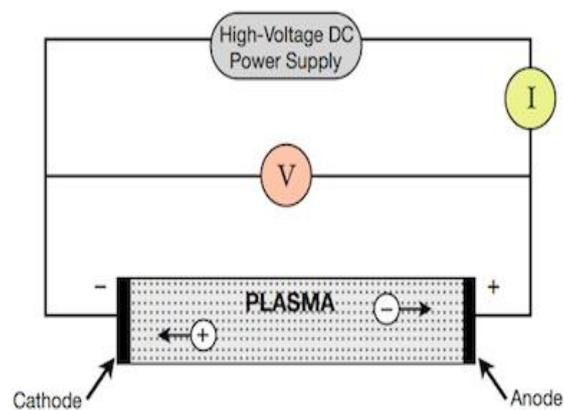
Penelitian menggunakan Gas LPG untuk proses surface treatment dilakukan dengan mengukur breakdown voltage terhadap tekanan gas dan variasi jarak elektroda dalam suatu tabung vakum. Kurva Paschen adalah kurva yang menggambarkan korelasi antara breakdown voltage dan perkalian antara tekanan dan jarak elektroda. Kurva ini menunjukkan perubahan breakdown voltage gas sebagai fungsi jarak elektroda dan tekanan gas, sehingga dapat mengetahui nilai optimasi parameter untuk membangkitkan plasma [1].

## TEORI

Proses surface treatment dapat dilakukan dengan teknik plasma yang dibangkitkan di dalam tabung dengan tekanan vakum. Nilai breakdown voltage (BV) merupakan tegangan minimum yang dibutuhkan untuk membangkitkan plasma dalam tekanan dan jarak elektroda tertentu. Nilai BV akan berbeda untuk tiap jenis gas yang digunakan untuk masukan pada benda kerja/target.

### Terjadinya Plasma

Pembangkitan plasma dilakukan dalam tabung berisi gas dengan tekanan tertentu seperti pada GAMBAR 1.

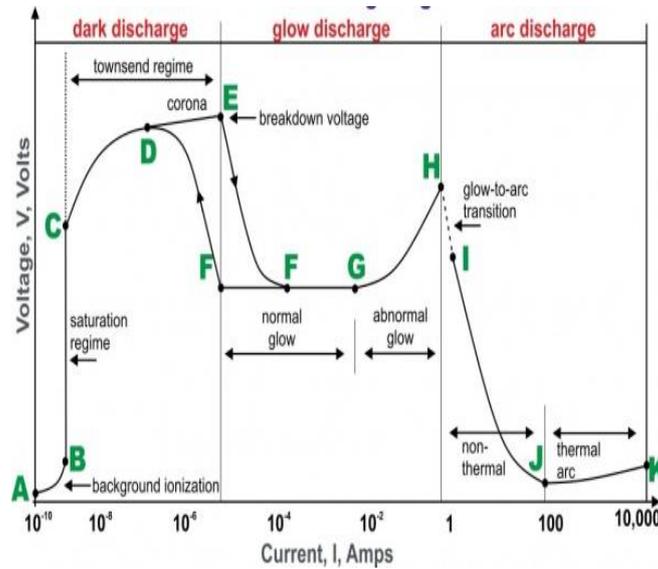


GAMBAR 1. Tabung lucutan pijar

Dua buah elektroda dihubungkan dengan sumber tegangan DC maka akan terjadi lucutan listrik diantara kedua elektroda. Elektron dari katoda akan bergerak menuju anoda. Selama dalam perjalanan elektron akan menumbuk atom-atom gas diantara kedua elektroda tersebut.

Tahapan agar terjadi proses ionisasi berantai, diawali dengan terjadinya ionisasi yang menghasilkan elektron. Elektron pertama berasal dari ionisasi gas oleh radiasi sinar kosmis. Elektron ini dipercepat oleh beda potensial diantara dua elektroda. Bila tidak ada beda potensial, maka molekul gas secara elektrik akan netral, meskipun ada beberapa elektron bebas sebagai akibat interaksi dengan sinar kosmis [2].

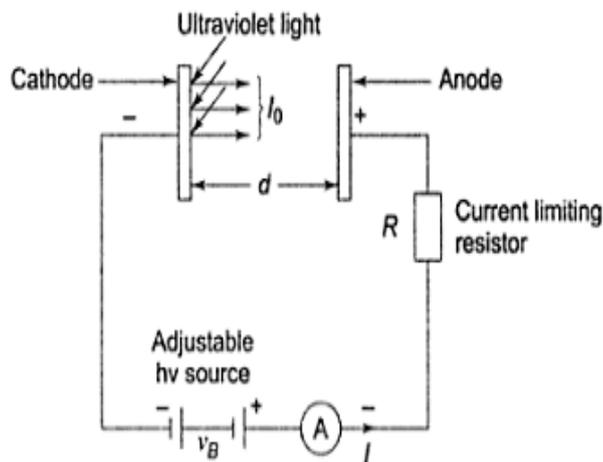
Tahapan terjadinya plasma dapat direpresentasikan dalam kurva karakteristik V-I pada GAMBAR 2, yang memperlihatkan pembagian daerah untuk setiap lucutan.



GAMBAR 2. Kurva karakteristik V-I dalam lucutan pijar

### Mekanisme Townsend

Pada GAMBAR 3, jika elektron diemisikan dari katoda dan ketika elektron bertumbukan dengan atom netral, maka terbentuklah ion positif dan elektron baru hasil proses ionisasi tumbukan yang disebut sebagai  $\alpha$ . Elektron ini akan bergerak menuju anoda. Jika proses tumbukan elektron terjadi berulang-ulang maka total elektron yang mencapai katoda akan semakin bertambah yang mengakibatkan kenaikan arus [3].



GAMBAR 3. Susunan elektroda untuk breakdown Townsend

Arus akan naik terus sampai terjadi peralihan pelepasan yang bertahan sendiri. Peralihan ini adalah percikan dan diikuti oleh perubahan arus dengan cepat hingga mencapai tak terhingga, dimana keadaan ini disebut sebagai breakdown Townsend, yang ditunjukkan pada Persamaan (1) [4].

$$\gamma [e^{\alpha d} - 1] = 1 \tag{1}$$

dengan :

- $\gamma$  = Koefisien kedua Townsend
- $e$  = Bilangan eksponensial
- $\alpha$  = Koefisien pertama Townsend
- $d$  = Jarak elektroda (*cm*)

Mekanisme Townsend pada Arus *discharge* diperoleh menggunakan Persamaan (2).

$$I = \frac{I_0 e^{\alpha d}}{1 - \gamma [e^{\alpha d} - 1]} \approx I_0 e^{\alpha d} \quad (2)$$

ketika  $\alpha d \gg 1$

dengan :

- $I$  = Arus ketika discharge (*mA*)
- $I_0$  = Arus mula-mula (*mA*)
- $\gamma$  = Koefisien kedua Townsend
- $e$  = Bilangan eksponensial
- $\alpha$  = Koefisien pertama Townsend
- $d$  = Jarak elektroda (*cm*)

Persamaan (2) ditulis dalam bentuk logaritma seperti pada Persamaan (3).

$$\ln I = \alpha d + \ln I_0 \quad (3)$$

dengan :

- $I$  = Arus ketika discharge (*mA*)
- $I_0$  = Arus mula-mula (*mA*)
- $\alpha$  = Koefisien pertama Townsend
- $d$  = Jarak elektroda (*cm*)

### Hukum Paschen

Hukum Paschen menyatakan lucutan dadal/*breakdown* antara dua celah dalam ruang vakum (tekanan dalam orde torr), sebagai fungsi tekanan gas dan jarak celah/jarak antar elektroda. Secara umum ditulis seperti Persamaan 4 [5].

$$V_B = f(pd) \quad (4)$$

dengan:

- $V_B$  = *Breakdown voltage* (*Volt*)
- $p$  = Tekanan (*mbar*)
- $d$  = Jarak elektroda (*cm*)

Tegangan dadal sebagai fungsi tekanan dan jarak dituliskan dalam Persamaan (5).

$$V_B = \frac{Bpd}{\ln(Apd/\ln(1/\gamma))} \quad (5)$$

dengan:

- $V_B$  = Tegangan dadal ( $V$ )
- $p$  = Tekanan gas *sputter* ( $mbar$ )
- $d$  = Jarak antar elektroda ( $cm$ )
- $A$  = Koefisien kurva Paschen ( $cmTorr$ )<sup>-1</sup>
- $B$  = Koefisien kurva Paschen ( $cmTorr$ )<sup>-1</sup>
- $\gamma$  = Koefisien kedua Townsend

Nilai konstanta Paschen A dan Paschen B dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan 6 dan Persamaan 7.

$$A = \frac{e}{(pd)_{min}} \times \ln(1/\gamma) \quad (6)$$

dengan:

- $A$  = Koefisien Kurva Paschen ( $cmTorr$ )<sup>-1</sup>
- $e$  = Bilangan eksponensial
- $p_{min}$  = Tekanan gas minimal ( $mbar$ )
- $d_{min}$  = Jarak antar elektroda minimal ( $cm$ )
- $\gamma$  = Koefisien kedua Townsend

$$B = \frac{(V_B)_{min}}{(pd)_{min}} \quad (7)$$

dengan:

- $B$  = Koefisien kurva Paschen ( $cmTorr$ )<sup>-1</sup>
- $V_{Bmin}$  = Tegangan dadal minimal ( $V$ )
- $p_{min}$  = Tekanan gas minimal ( $Torr$ )
- $d_{min}$  = Jarak antar elektroda ( $cm$ )

#### METODE PENELITIAN

Alat pengujian menggunakan mesin plasma lucutan pijar dengan spesifikasi teknis yang terdiri dari: tabung reaktor plasma, sistem vakum, catu daya dan instrumen operasi seperti pada GAMBAR 4 [6].



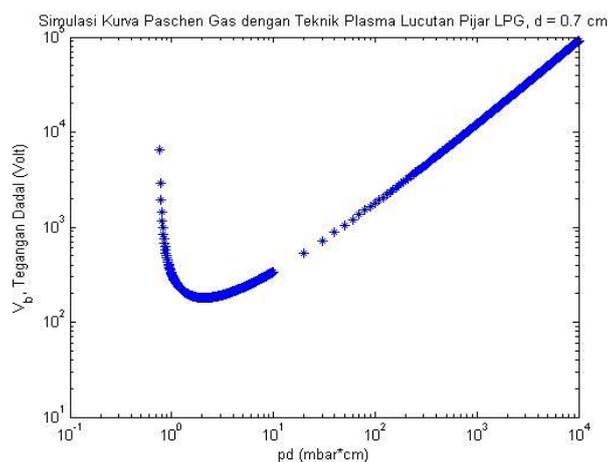
GAMBAR 4. Mesin plasma lucutan pijar

Pengumpulan data dilakukan dengan metode eksperimen menggunakan mesin plasma lucutan pijar yang memasukkan gas LPG ke dalam tabung reaktor sebagai gas isian. Langkah awal penelitian dilakukan dengan mengatur jarak elektroda. Kemudian membuat vakum tabung reaktor hingga orde tekanan tabung mencapai  $10^{-2}$  mbar. Jika nilai tekanan telah tercapai selanjutnya dilakukan pengaturan tegangan tabung hingga terjadi discharge yang ditandai dengan munculnya plasma. Fenomena ini dilihat melalui jendela tabung reaktor.

Data yang tercatat adalah tekanan tabung ( $p$ ), tegangan dadal ( $V$ ), dan jarak elektroda ( $d$ ). Untuk menguji variasi jarak elektroda dan gas isian yang lain terlebih dahulu dilakukan pengosongan tabung reaktor untuk membuang sisa-sisa gas sebelumnya. Data tekanan( $p$ ), tegangan dadal( $V$ ), dan jarak elektroda ( $d$ ) yang diperoleh selanjutnya di plot dalam bentuk grafik. Nilai tekanan ( $p$ ) dan tegangan dadal ( $V$ ) minimal digunakan untuk tiap nilai jarak elektroda. Nilai-nilai ini kemudian disimulasikan melalui Matlab. Kurva Paschen diperoleh dari grafik semi-empiris perhitungan tegangan dadal gas.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai hasil pengukuran breakdown voltage LPG dipengaruhi oleh tekanan gas, jarak elektroda, dan bentuk elektroda yang digunakan. Data ini merupakan input data Matlab sebagai nilai tekanan minimal ( $p_{\min}$ ), jarak elektroda minimal ( $d_{\min}$ ), dan breakdown voltage minimal ( $V_{\min}$ ) untuk mendapatkan hasil kurva Paschen LPG seperti pada GAMBAR 5.



GAMBAR 5. Kurva Paschen gas LPG

Dari kurva Paschen diperoleh perubahan nilai tekanan LPG mempengaruhi nilai breakdown voltage gas tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat korelasi antara jumlah molekul gas dalam tabung reaktor plasma yang ditunjukkan dengan parameter tekanan terhadap kekuatan atau daya dielektrikum gas.

Pengaruh perubahan tekanan terhadap breakdown voltage gas tidak selalu berbanding lurus maupun terbalik, melainkan terbagi menjadi dua jenis. Sebelum mencapai kondisi minimum perubahan tekanan gas berbanding terbalik terhadap breakdown voltage gas sedangkan setelah mencapai kondisi minimum kenaikan tekanan gas akan diikuti dengan kenaikan breakdown voltage gas.

Korelasi kedua jenis tersebut yaitu pada nilai tekanan gas yang sangat rendah, hanya sedikit molekul-molekul gas yang mengisi tabung reaktor sehingga kemungkinan terjadinya tumbukan antar molekul gas rendah. Rendahnya probabilitas tumbukan antara elektron dan atom-atom gas memerlukan tegangan yang cukup tinggi untuk memicu terjadinya proses ionisasi agar menimbulkan discharge. Semakin tinggi tekanan gas dalam tabung, jumlah molekul gas yang mengisi tabung semakin banyak sehingga probabilitas tumbukan antar elektron dan atom-atom gas semakin meningkat, oleh karenanya tegangan yang diperlukan untuk memicu proses ionisasi semakin rendah.

Pada suatu nilai tekanan tertentu, jumlah molekul gas yang mengisi tabung mencapai kondisi optimal sehingga breakdown voltage gas bernilai minimum.

Setelah mencapai kondisi optimal, kenaikan tekanan gas tidak lagi diikuti penurunan nilai breakdown voltage melainkan justru diikuti dengan kenaikan breakdown voltage gas. Hal ini dikarenakan semakin tinggi tekanan gas yang diaplikasikan maka semakin banyak molekul gas yang mengisi tabung. Hal ini menyebabkan lintasan gerak elektron semakin berkurang, sebagai konsekuensinya dibutuhkan kenaikan penyediaan energi listrik yang lebih besar untuk memicu terjadinya proses ionisasi. Semakin banyak molekul gas di dalam tabung menyebabkan elektron lebih sering bertumbukan dengan molekul gas, tetapi energi yang diperoleh rendah sehingga tidak cukup untuk memicu proses ionisasi yang menimbulkan discharge.

Kurva Paschen LPG dapat digunakan sebagai referensi untuk kegiatan surface treatment suatu material untuk mengetahui nilai tekanan dan tegangan ketika sifat gas telah berubah dari isolator menjadi konduktor, dimana hal ini sebanding dengan jarak elektroda yang digunakan.

### KESIMPULAN

1. Diperoleh kurva Paschen gas LPG sebagai referensi kegiatan surface treatment, untuk mengetahui nilai optimum gas yang akan berubah sifat, dari semula bersifat isolator menjadi bersifat konduktor.
2. Pada kondisi tekanan gas LPG dan jarak elektroda yang berbeda diperoleh besarnya nilai breakdown voltage berbeda.
3. Untuk melakukan proses surface treatment tidak hanya dengan melihat kurva Paschen gas, tetapi juga perlu diperhatikan segi kemampuan mesin plasma lucutan pijar yang digunakan.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Bapak Ir. Puradwi Ismu Wahyono, DEA. selaku Kepala Bidang Fisika Partikel PSTA-BATAN Yogyakarta atas diberikan ijin dan kesempatan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Seluruh keluarga besar PSTA-BATAN bidang fisika partikel khususnya Bapak Sayono, yang telah membantu serta partisipasinya, sehingga penelitian ini sempurna dan bermanfaat bagi semuanya.

### REFERENSI

- [1] C. Torres, P. G. Reyes, F. Castillo, and H. Martinez, "Paschen Law for Argon Glow Discharge," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2012.
- [2] Jing Wang, "Simulation of Gas Discharge in Tube and Paschen's Law," *Optics and Photonics Journal*, vol. 3, pp. 313-317, 2013.
- [3] Hanim, Alfia, Emy Mulyani, and Tjipto Sujitno, "Simulasi Kurva Paschen Pada Plasma Enhance Chemically Vapor Deposition (CVD) Untuk Aplikasi Deposisi Diamond-Like Carbon (DLC) Coating," in *Seminar Nasional: Volume 15*, 2013.
- [4] A. Arismunandar, *Teknik Tegangan Tinggi Suplemen*. Indonesia: Ghalia Indonesia, 1983.
- [5] L. F. Berzak, S. E. Dorfman, and S. P. Smith, *Paschen's Law in Air and Noble Gases.*, 2006.
- [6] Tjipto Sujitno, *Modul Kuliah Praktikum Implantasi Ion dan Sputtering: Aplikasi Plasma.*, 2015.