

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PLASMA DINGIN UNTUK MODIFIKASI KARAKTERISTIK PERMUKAAN MATERIAL TANPA MENGUBAH SIFAT DASAR MATERIAL

Tota Pirdo Kasih dan Januar Nasution

Jurusan Teknik Industri, Universitas Bina Nusantara, Jl. KH Syahdan No. 9, Palmerah, Jakarta Barat, Indonesia

Email: tkasih@binus.edu dan januar_nasution3000@yahoo.com

ABSTRAK

Plasma dingin (*Cold/Non thermal Plasma*) telah menjadi salah satu teknologi baru yang sangat berkembang saat ini. Hal ini terjadi karena plasma dingin menggunakan prinsip gas reaktif yang memiliki kemampuan untuk memodifikasi sifat permukaan dari material atau produk tanpa mengubah karakteristik asli (*bulk properties*) dari material atau produk tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan sebuah sistem plasma dingin yang beroperasi pada tekanan atmosferik dan menginvestigasi pengaruh dari perlakuan plasma dingin terhadap perubahan karakteristik permukaan dari material polimer *polypropylene*(PE) pada berbagai kondisi perubahan waktu. Plasma sistem yang berhasil kami kembangkan dengan gas Argon bersifat *glow discharge* dengan suhu mencapai 33⁰C dapat beroperasi pada tekanan atmosferik. Hasil dari percobaan dari perlakuan plasma discharge pada material PE menunjukkan bahwa terjadi perubahan sifat permukaan material dari hidrofobik (tidak suka air) menjadi hidrofilik (suka air) dan level hidrofiliknya menjadi semakin besar dengan semakin lamanya waktu perlakuan plasma. Konfirmasi akan hal ini ditunjukkan dengan sudut kontak (*contact angle*) dari tetesan air (*water bead*) pada permukaan PE yang semakin kecil.

Kata kunci : plasma dingin, modifikasi permukaan, *polypropylene*, hidrofilik, hidrofobik

ABSTRACT

Cold plasma (cold / non thermal plasma) has become one of the most evolving new technologies today. this is because cold plasma uses a reactive gas principle that has the ability to modify the surface properties of a material or product without altering the bulk properties of the material or product. the purpose of this study was to develop a cold plasma system that operates at atmospheric pressure and investigates the effect of cold plasma treatment on surface surface changes of polypropylene (pe) polymer materials under various time-change conditions. the system plasma that we successfully developed with argon gas is glow discharge with temperature reaching 330c can operate at atmospheric pressure. the result of experiment from plasma discharge treatment on pe material showed that there was a change of material surface properties of hydrophobic (dislike water) to hydrophilic (like water) and hydrophilic level became larger with the longer treatment time of plasma. confirmation of this is indicated by the contact angle of the water bead on the smaller pe surface.

Keywords: cold plasma, surface modification, *polypropylene*, hydrophilic, hydrophobic

PENDAHULUAN

Plasma dapat disebut sebagai elemen fasa keempat di alam setelah fasa padatan, cairan dan fasa gas. Berbeda dengan fasa gas yang bersifat normal, plasma berisi gas dimana komponen nukleus atom (ion) dan elektron telah terpisah karena energi yang diterima dan memiliki sifat reaktif. Plasma dapat terbentuk secara alamiah seperti yang terjadi pada matahari atau pada elemen bintang-bintang di angkasa. Plasma juga dapat terbentuk dengan cara memberikan energi tinggi kedalam medium gas yang membuat gas tersebut mengalami proses disosiasi dan proses ionisasi. Tergantung dari jumlah energi yang ditransfer, kedua proses tersebut akan mengakibatkan transformasi gas netral menjadi partikel-partikel atau ion-ion yang bermuatan negatif dan positif yang sangat reaktif, baik secara sebagian ataupun bertransformasi secara menyeluruh. Berdasarkan temperaturnya, plasma dapat dikategorikan menjadi plasma bertemperatur tinggi (*thermal/equilibrium plasma*) dan plasma bertemperatur rendah (*cold plasma/non-equilibrium*).

Hingga kini, teknologi plasma yang dipakai dalam dunia industri, terutama *microelectronics*, adalah dengan memanfaatkan proses plasma dingin yang dilakukan dengan menghantarkan energi listrik diantara dua elektroda pada tekanan 10 sampai 1000 Pascal (Pa), jauh lebih rendah dari tekanan atmosferik yang 101325 Pa. Plasma inilah yang disebut dengan plasma pada tekanan rendah (*low pressure plasma*) dan yang menjadi riset fundamental bagi perkembangan teknologi plasma. Walaupun plasma dingin pada tekanan rendah memiliki sifat proses perlakuan material dengan *repeatability* yang baik, namun juga keterbatasan sifat proses yang tidak dapat kontinu dan sistem vakum yang mahal. Oleh karena itu untuk menanggulangi permasalahan tersebut, fokus riset ditujukan pada pengembangan teknik plasma dingin (temperatur rendah) yang dapat dibangkitkan pada tekanan atmosferik sehingga mampu menyediakan sistem yang lebih efektif.

Beberapa grup riset di dunia telah berhasil mengembangkan plasma dingin pada tekanan atmosferik dengan beberapa teknik, seperti *dielectric barrier discharge* (DBD) [1,2], *microwave discharge* [4] dan *radio frequency glow discharge* [5,6]. Namun sangat jarang untuk dapat menemukan referensi pengembangan plasma dingin di Indonesia. Oleh sebab itu maka penelitian tentang pengembangan dan pemanfaatan plasma pada tekanan atmosferik ini menjadi sangat penting untuk dimulai agar Indonesia juga memiliki fundamental pengetahuan akan teknologi plasma dingin tersebut.

Penelitian ini adalah pengembangan plasma dingin pada tekanan atmosferik dengan menggunakan *high voltage power supply* (HVPS) dan juga membahas aplikasi sistem plasma tersebut untuk memodifikasi permukaan dari material film PE. Pengembangan tipe HVPS ini memberi keuntungan dimana proses ionisasi berlangsung sebagian (*non-equilibrium*), sehingga plasma yang ditimbulkan bertemperatur relatif rendah. Disinilah letak keunikan karakteristik dari plasma dingin yang ingin dikembangkan dalam penelitian ini.

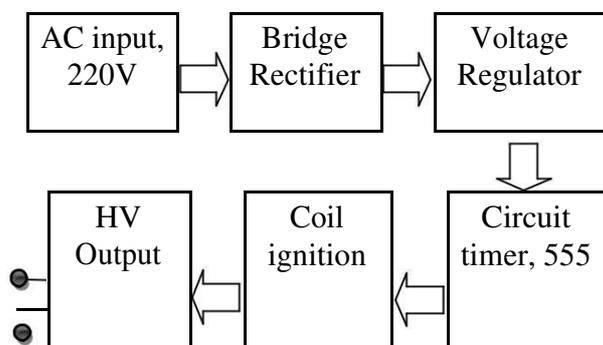
Modifikasi karakteristik permukaan material dengan teknik plasma meliputi adanya interaksi kuat antara reaktif species, elektron dan ion-ion yang terbentuk di dalam plasma dengan permukaan material tersebut. Ada dua hal atau proses yang akan terjadi karena adanya interaksi material dengan plasma, yaitu: proses aktivasi plasma, dimana biasanya

plasma yang ditimbulkan tanpa melibatkan gas kerja yang dapat membentuk polimer seperti gas argon, oksigen, nitrogen dan lain-lain. Hal kedua adalah proses polimerisasi plasma, dimana perlakuan plasma menggunakan gas kerja yang dapat mengakibatkan terjadinya proses polimerisasi, seperti gas *Sulfur Hexafluoride* (SF₆) ataupun gas *tetrafluoromethane* (CF₄). Hasil dari polimerisasi plasma biasanya berupa terbentuknya lapisan film tipis (*thin solid film*) pada permukaan material. Kedua tipikal proses plasma yang disebut diatas adalah proses yang melibatkan plasma dengan tujuan tertentu untuk untuk mengubah sifat permukaan material tanpa mengubah karakteristik *bulk* nya, termasuk sifat mekanik dari material tersebut.

Pada makalah ini pengembangan *home-made* generator plasma dingin dan desain sistem plasma berbasis pada tekanan atmosferik akan dipaparkan. Beberapa karakteristik plasma yang ditimbulkan akan diteliti dan yang terakhir adalah pemanfaatan plasma tersebut dalam memodifikasi permukaan material polimer juga akan dibahas.

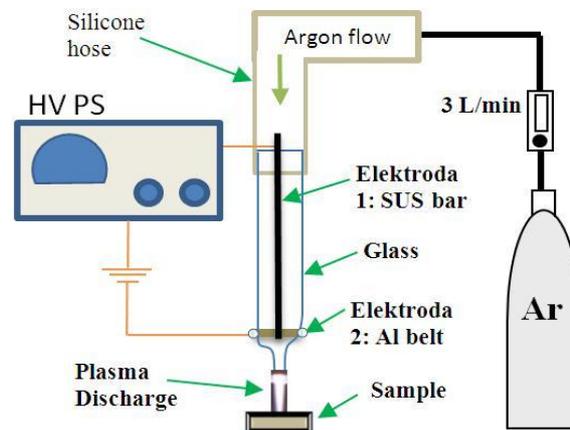
METEDOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini pengembangan sistem plasma dingin ini menggunakan sumber daya listrik *high voltage* berbasis *ignition coil* kendaraan roda empat dengan blok diagram seperti pada Gambar 1 dibawah:



Gambar 1. Diagram blok dari *high voltage power supply* (HVPS)

Gambar 2 menunjukkan skematik diagram dari plasma sistem yang mampu beroperasi pada tekanan atmosferik. High Voltage Power Supply (HVPS) dikoneksikan pada metal elektroda di bagian dalam yang dikelilingi dengan tabung kaca. Sedangkan elektroda pada bagian bawah berupa aluminium *belt* terhubung pada *ground*. Gas Argon dialirkan melalui tabung kaca dengan kecepatan 3 liter per menit. Untuk keperluan eksplorasi dari sistem plasma ini dalam memodifikasi permukaan, material akan diberi perlakuan plasma dan diletakkan pada *sample holder* dengan jarak dari plasma *discharge* sejauh 2 mm. *Sample* material yang dipakai dalam eksplorasi pemanfaatan sistem plasma dingin ini dalam proses perubahan sifat permukaan adalah material polimer polypropylene (PE) *sheet* dengan ketebalan 3 mm.

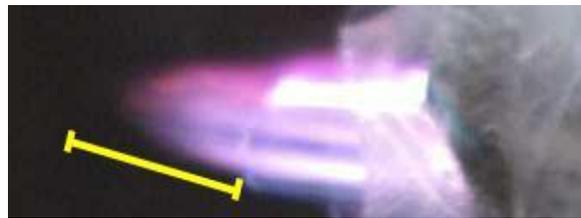


Gambar 2. Skematik diagram sistem plasma pada tekanan atmosferik untuk modifikasi permukaan material

Untuk keperluan konfirmasi perubahan sifat permukaan menjadi hidrofilik, analisa sudut kontak (*contact angle*) akan digunakan pada penelitian ini. Setetes *water bead* akan dijatuhkan pada permukaan material sebelum dan sesudah mendapat perlakuan plasma. Sudut kontak akan diukur dari gambar *water bead* yang diambil dengan menggunakan digital kamera dari sudut spesifik yang terbentuk.

HASIL DAN PEMBAHASAN

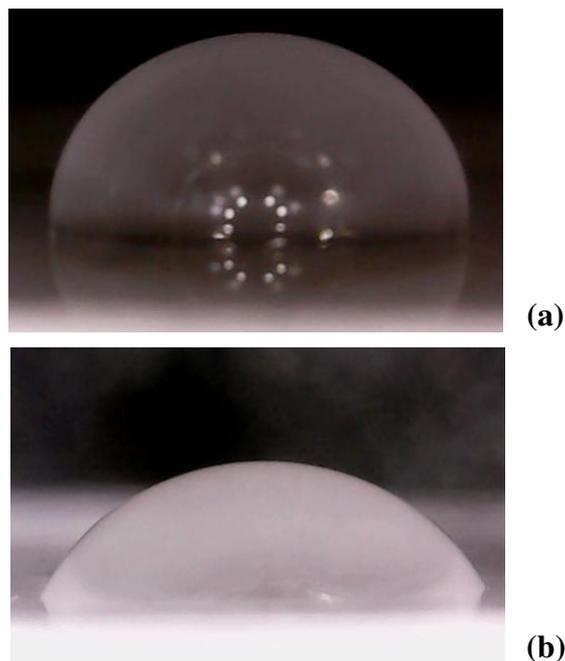
Sebuah sistem plasma dalam bentuk *torch* yang beroperasi pada tekanan atmosferik berhasil dikembangkan dengan sumber energi listriknya berupa *high voltage power supply* berbasis *ignition coil* kendaraan roda empat. Dari referensi didapatkan bahwa voltase yang dapat dihasilkan oleh power supply tipe ini pada saat menghasilkan plasma discharge adalah sebesar 18-20kV [6]. Gambar plasma yang dihasilkan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3 dengan jarak *torch* yang dapat mencapai 7 mm. Plasma yang dihasilkan terlihat seperti seragam (*glow discharge*) dan tidak berbentuk *filamentary*. Tipe dari plasma *glow discharge* sangat cocok untuk aplikasi dalam memodifikasi permukaan material daripada tipe *filamentary* dengan sifat ketidakseragaman energi yang dihasilkan. Temperatur dari plasma yang dihasilkan mencapai 33⁰C yang diukur hingga waktu 60 detik. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik dari plasma yang dihasilkan adalah tipe *non thermal atmospheric pressure plasma* atau plasma dingin. Plasma ini sangat penting bagi perlakuan material dengan tujuan modifikasi karakteristik permukaan tanpa merusak struktur morfologi atau sifat matriks material, terutama perlakuan terhadap material yang sensitif terhadap panas seperti material polimer.



Plasma: 7 mm

Gambar 3. Gambar dari plasma yang dihasilkan. Plasma memiliki panjang hingga 5 mm dan suhu 33°C

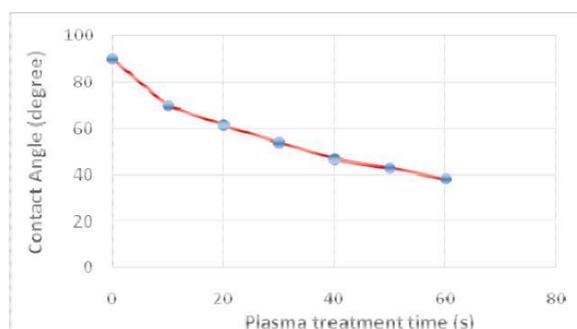
Pemanfaatan atau aplikasi dari hasil plasma sistem diatas dieksplorasikan untuk memodifikasi karakteristik permukaan dari *polyethylene* (PE). Material ini dipilih karena memiliki properti yang sangat baik seperti: *low cost*, *low density*, *high flexibility* dan sifat tahan terhadap cairan kimia. Namun terkadang penggunaannya menjadi terbatas karena PE juga memiliki sifat permukaan energi yang rendah sehingga bersifat hidrofobik (tidak suka akan air) dan tingkat adhesi yang rendah. Perlakuan dengan teknik plasma terhadap material PE ditujukan untuk meningkatkan *wettability* dan sifat adhesi dari permukaan material dan juga sebagai pengganti perlakuan tradisional dengan menggunakan larutan kimia yang sangat tidak ramah lingkungan. Perubahan karakteristik permukaan material pada penelitian ini dilakukan dengan perlakuan plasma pada tekanan rendah selama rentang waktu 10 hingga 60 detik. Setelah perlakuan plasma, setetes air dari pipet dijatuhkan diatas permukaan material, lalu tetesan air tersebut diobservasi untuk dihitung sudut kontakanya, dan kemudian dibandingkan dengan sifat tetesan air diatas material original.



Gambar 4. Tetesan *water bead* diatas permukaan PE (a) sebelum dan (b) sesudah 20 detik perlakuan plasma

Gambar 4 menunjukkan sebuah fenomena dari setetes *water bead* diatas permukaan PE sebelum (a) dan sesudah (b) perlakuan Argon plasma pada tekanan atmosferik. Terlihat perbedaan sudut kontak (*contact angle*) yang ditunjukkan oleh *water bead* dari 90° pada orijinal PE menjadi 61.5° setelah diberikan perlakuan plasma selama 20 detik, sekaligus sebagai konfirmasi peningkatan properti *wettability* dari permukaan PE.

Gambar 5 menunjukkan grafik perubahan sudut kontak dari PE terhadap perubahan waktu perlakuan argon plasma pada tekanan atmosferik.



Gambar 5. Grafik perubahan sudut kontak *water bead* pada permukaan PE terhadap waktu perlakuan plasma

Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa dengan perlakuan plasma selama 60 detik dapat menjadikan perubahan karakteristik permukaan PE dari hidrofobik menjadi hidrofilik (suka akan air) dengan adanya penurunan sudut kontak dari 90° pada PE menjadi 38.5° . Dari grafik diatas pula terlihat bahwa 20 detik pertama dari perlakuan plasma membawa efek penurunan sudut kontak yang cukup signifikan, diikuti dengan penurunan sudut kontak yang relatif stabil dengan penambahan waktu yang konstan dari perlakuan plasma.

Perubahan sifat yang terjadi pada permukaan PE dari hidrofobik menjadi hidrofilik dapat dijelaskan sebagai berikut: plasma discharge yang mengandung ion-ion positif, elektron, radikal bebas dan elemen reaktif lainnya membombardir permukaan PE dengan masing-masing energi yang dimiliki oleh elemen plasma tersebut. Reaksi yang terjadi antara plasma dan material menyebabkan permukaan PE yang terkena radiasi plasma menjadi reaktif. Interaksi permukaan yang reaktif dengan udara luar/atmosfer menyebabkan reaksi inklusi grup yang mengandung oksigen pada permukaan sehingga tercipta grup fungsional yang bersifat polar seperti: C=O, OH, O-C=O, COOH, peroxide dan lain lain [7,8]. Grup-grup fungsional yang bersifat polar inilah yang menyebabkan ikatan dengan tetesan air lebih kuat, sehingga bentuk tetesan air tersebut menjadi lebih lebar berada diatas permukaan material tersebut. Fenomena inilah yang disebut dengan transformasi menjadi hidrofilik.

KESIMPULAN

Sebuah sistem plasma dingin berbasiskan *ignition coil* kendaraan roda empat sebagai sumber *high voltage power supply* berhasil dikembangkan pada penelitian ini. Plasma yang dihasilkan dengan sumber aliran 3 L/menit gas argon dapat memiliki panjang hingga 5 mm, bersifat *glow discharge* dan bersuhu seperti suhu pada ambien temperatur, yaitu 33⁰C. Eksplorasi pemanfaatan sistem plasma dingin pada material PE menghasilkan perubahan karakteristik permukaan dari yang bersifat hidrofobik menjadi bersifat hidrofilik hanya dengan perlakuan plasma selama 60 detik. Dari penelitian ini, plasma dingin sangat potensial untuk digunakan pada industri yang berhubungan dengan perubahan karakteristik permukaan material untuk peningkatan *wettability*, khususnya material polimer seperti pada bidang *printing*, *packaging*, biomedikasi dan lain sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]Wang CQ, Zhang GX, 2012," Effect of Measurement Elements on Discharge Characteristics of Dielectric Barrier Discharge, *Physics Procedia*, Vol. 32, pp. 664-668.
- [2]Kostov KG., dos Santos ALR., Honda RY., Nascente PAP., Kayama ME., Algatti MA., Mota RP., 2013, Treatment of PET and PU polymers by atmospheric pressure plasma generated in dielectric barrier discharge in air”, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 204, pp. 3064-3068.
- [3]Landreau X., Tixier CD., Le Niniven CJC., Lory N., Tristant P., (2011), “Effects of the substrate temperature on the deposition of thin SiO_x films by atmospheric pressure microwave plasma torch (TIA)”, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 205, pp. S335-S341.
- [4] Shi J., Cai Y., Zhang J., Yang Y., (2009), “Characteristics of pulse-modulated radio-frequency atmospheric pressure glow discharge”, *Thin Solid Films*, Vol. 518, pp. 962-966.
- [5]Bora B, Bhuyan H., Favre M., Wyndham E., Chuaqui H., (2012), “Diagnostic of capacitively coupled radio frequency plasma by homogeneous discharge model”, *Physics Letters A*, Vol. 376, pp. 1356-1359.
- [6]Nayan, N.; Zahariman, M.R. ; Ahmad, M.F.B. ; Ali, R.A.M. ; Sahdan, M.Z. ; Hashim, U., 2012, “Development and application of in-house high voltage power supply for atmospheric pressure plasma treatment system”, *Proceedings in Semiconductor Electronics (ICSE), 2012 10th IEEE Int’l Conference* , pp. 631-634.
- [7] TP. Kasih, S. Kuroda, 2015, “Surface Graft Polymerization of Methyl Methacrylate onto Plasma Activated Natural Kenaf Fiber”, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, Vol. 9., pp. 269-272.
- [8] K. Wang, J.Li, S. Wang, 2012, “The surface modification of polyethylene (PE) film using an air coplanar barrier discharge at atmospheric pressure” , *Proceeding 2nd International Conference on Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology*.