

RANCANG BANGUN PROTOTIP MESIN PLASMA TEKSTIL LUCUTAN KORONA PADA TEKANAN ATMOSFIR SKALA LABORATORIUM

AN ENGINEERING OF PLASMA MACHINE PROTOTYPE AT LABORATORY SCALE FOR TEXTILE BASED ON ATMOSPHERIC CORONA DISCHARGE

Achmad Sjaifudin T¹, KH Sitohang²

¹Balai Besar Tekstil, Jalan Jenderal Ahmad Yani No. 390 Bandung
E-mail: texirdti@bdg.centrin.net.id

²Pusat Pengkajian Teknologi dan Hak Kekayaan Intelektual BPPI,
Jalan Jenderal Gatot Subroto Kav. 52-53 Lantai 20 Jakarta
E-mail Kemenperin: khtohang@kemenperin.go.id

Tanggal diterima: 10 Maret 2015, direvisi: 30 Maret 2015, disetujui terbit: 8 April 2015

ABSTRAK

Dalam studi ini telah terwujud satu prototip mesin plasma tekstil dengan skala laboratorium. Tujuan pembuatan mesin tersebut adalah untuk memproses permukaan kain yaitu proses etsa cara kering atau tanpa air dengan menerapkan plasma korona pada tekanan atmosfer. Sebagai pembangkit plasma digunakan transformator arus searah 100 mA, tegangan 20 KV, dengan konfigurasi elektroda berupa titik-bidang. Ukuran kain maksimum yang dapat diproses sebesar 200x250 mm. Keberhasilan munculnya plasma korona bergantung pada tegangan dan kuat arus, sertajarak antar elektroda. Hasil uji tanpa beban selama 15 menit memperlihatkan jarak 20 dan 25 mm menghasilkan plasma yang merata serta jarang terjadi kilatan (spark). Tegangan, kuat arus serta daya input masing-masing adalah 16 kV/50 mA; 17,5 kV/37,5 mA, 360 dan 310 W. Percobaan dengan menggunakan bahan tekstil yaitu nilon pada tekanan atmosfer, media udara serta jarak tetap 25 mm, menghasilkan terjadinya modifikasi signifikan pada permukaan kain akibat plasma yaitu daya serap air yang meningkat tajam dan perubahan struktur fisik permukaan dari hasil uji SEM. Daya serap diuji secara visual dengan meneteskan air ke kain. Kain nilon sebelum dipapar plasma, air terserap pada kain saat 50 detik setelah penetesan, sesudah pemaparan selama 2x5 menit pada kedua sisi kain (bolak balik) air langsung diserap seketika oleh kain. Hasil uji tersebut memperlihatkan terjadinya proses etsa pada permukaan kain oleh proses plasma. Hal ini membuktikan bahwa prototip mesin plasma tekstil mampu membangkitkan fenomena plasma lucutan korona yang dapat memproses permukaan kain sesuai dengan rancangan mesin tersebut.

Kata kunci: mesin plasma, lucutan korona, tekstil, prototip, modifikasi

ABSTRACT

A first prototype of plasma textile machine at laboratory scale has been created. The purpose of the machine is to etch cloth surface by applying cold corona plasma at atmospheric pressure. A direct current/high voltage transformer, 20 KV/100 mA is used to generate plasma. The configuration of electrodes is point-plane. Maximum size of the cloth that can be processed around 200x250 mm. The generating of corona plasma depends on applied voltage/ current and the distance between the electrodes. No-load test results for 15-minute exposure show the distance of 20 and 25 mm plasma generates a uniform of plasma as well as rare of spark, with potential, current and power input were 16 kV/50 mA and 17,5 kV/37.5 mA, 360 and 310 W respectively. Then, further tests were carried out using nylon with a fixed distance at 25 mm where similar condition as no-load test was applied. SEM test was performed to check modification of fabric surface. Water drop test onto the surface of the fabric was visually carried out to check water absorption. Before exposure, the dropped water adsorb into the fabric at around 50 second. While after plasma was immediately adsorbed. These phenomenons prove that the machine can generate plasma corona discharge as it's designed.

Keywords: plasma machine, corona discharge, textile, prototype, modification

PENDAHULUAN

Pengguna energi terbesar di industri tekstil dan produk tekstil (TPT) terdapat di sektor hulu dan antara (*upstream dan middle stream*) seperti pada proses pencelupan dan penyempurnaan (*dyeing and*

finishing), printing sampai dengan pembuatan serat (*fibre making*). Konsumsi energinya berkisar antara 15-25 % dari postur ongkos produksinya.¹ Sampai saat ini industri tekstil dalam negeri khususnya pada proses pencelupan dan penyempurnaan masih menggunakan teknologi konvensional yang bersifat

basah (*wet process*) dan panas, yang mengkonsumsi energi (bahan bakar batu bara) dan air yang amat besar jumlahnya, sehingga bermasalah pada lingkungan baik itu pada cadangan air tanah, limbah cair, maupun limbah padat, partikel atau debu yang penanganannya memerlukan ongkos yang tidak murah dan cukup rumit.²

Salah satu solusi masalah hal tersebut adalah melalui perbaikan teknologi yang tepat, efisien dan ramah lingkungan. Teknologi plasma merupakan salah satu solusinya. Dengan teknologi plasma yang bersifat kering (menggunakan udara atau gas-gas sebagai media) dan relatif dingin, daya listriknya yang dibutuhkan pada reaktor plasma hanyalah berkisar 10 sampai 5.000 watt bergantung pada ukuran reaktornya.² Data ini menunjukkan bagaimana kecilnya daya listrik yang dibutuhkan, dengan kata lain terjadi penghematan energi yang sangat signifikan dan sangat ramah lingkungan karena tanpa menggunakan air dan tidak menghasilkan debu.

Selain itu proses plasma mampu meningkatkan sifat-sifat permukaan bahan tekstil seperti daya basah atau *wettability*, penyempurnaan bahan yang bersifat hidrofobik atau *hydrophobic finishing*, daya ikat atau *adhesion*, mutu produk, serta kefungsiian atau *functionality* bahan tekstil misalnya fungsi anti bakteri, anti UV, fungsi medis lainnya yang bergantung pada proses plasmanya. Proses plasma juga mampu memodifikasi permukaan kain sesuai yang diinginkan, serta mampu memproses material maju berukuran nano.³

Prinsip kerja dari proses plasma ialah terjadinya ionisasi gas dengan muatan yang setara antara ion positif dan negatif dikarenakan adanya daya elektromagnet pada tekanan atmosfer atau tanpa tekanan (vakum) dalam suatu reaktor pada suhu ruangan. Maka secara sederhana plasma didefinisikan sebagai gas terionisasi dan dikenal

sebagai fase materi keempat setelah fasa padat, cair, dan fasa gas. Pada kondisi tersebut plasma terdiri dari elektron bebas, ion, radikal bebas, reaksi kimia, pembentukan senyawa siklik, perusakan molekul secara sempurna sehingga dapat dimanfaatkan untuk proses penyempurnaan tekstil terutama pada permukaan tanpa merusak struktur dalam keseluruhan serat ataupun bahan kain. Gambar 1 memperlihatkan ilustrasi proses plasma.

Daya elektromagnet atau medan listrik tersebut timbul karena adanya arus listrik searah (DC) dengan tegangan yang sangat tinggi diantara elektroda positif dan negatif pada frekuensi tertentu, sehingga pada kondisi ini terjadi ionisasi gas atau udara diantara dua elektroda.

Pasokan listrik atau *power supply* yang banyak dipakai untuk membangkitkan plasma yaitu:⁴

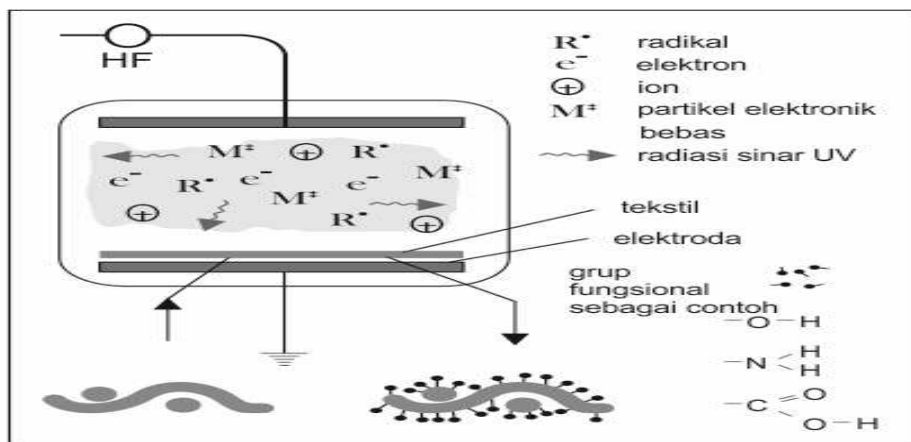
1. Frekuensi-rendah (LF, 50-450 kHz)
2. Frekuensi-radio (RF, 13,56 atau 27,12 MHz)
3. Gelombang mikro/*Microwave* (MW, 915 MHz atau 2,45 GHz).

Daya listrik yang diperlukan berkisar antara 10 sd 5000 Watt, bergantung pada ukuran reaktor dan pengolahan tekstil yang diinginkan.

Ada tiga cara atau metode proses ionisasi gas plasma pada reaktor terutama untuk bahan tekstil yakni:

a. **Metode lucutan korona (*corona-discharge method*).**

Plasma gas terjadi pada tekanan atmosfer. Metode ini memakai sepasang elektroda yang konfigurasi bentuknya *asimetri* dialiri arus listrik frekuensi rendah dengan kejutan tegangan tinggi (*pulsed high voltage*), sampai dengan 20 kV. Lucutan korona terbentuk pada medan listrik tak seragam (*non-uniform*) yang kuat antar elektroda. Konfigurasi elektroda dapat berupa titik-bidang, kawat-bidang dan pisau silinder.⁹



Gambar 1. Ilustrasi proses plasma pada bahan kain⁴

b. Metode lucutan penghalang dielektrik (dielectric barrier discharge).

Metode ini memakai sepasang elektroda dialiri arus listrik kejutan tegangan (pulsed voltage) dimana salah satu elektrodanya dilapisi bahan dielektrik. Sumber listrik biasanya arus bolak balik (AC). Reaktor plasmanya beroperasi pada tekanan atmosfer dan menggunakan udara sebagai media plasmanya

c. Metode lucutan cahaya (glow-discharge method).

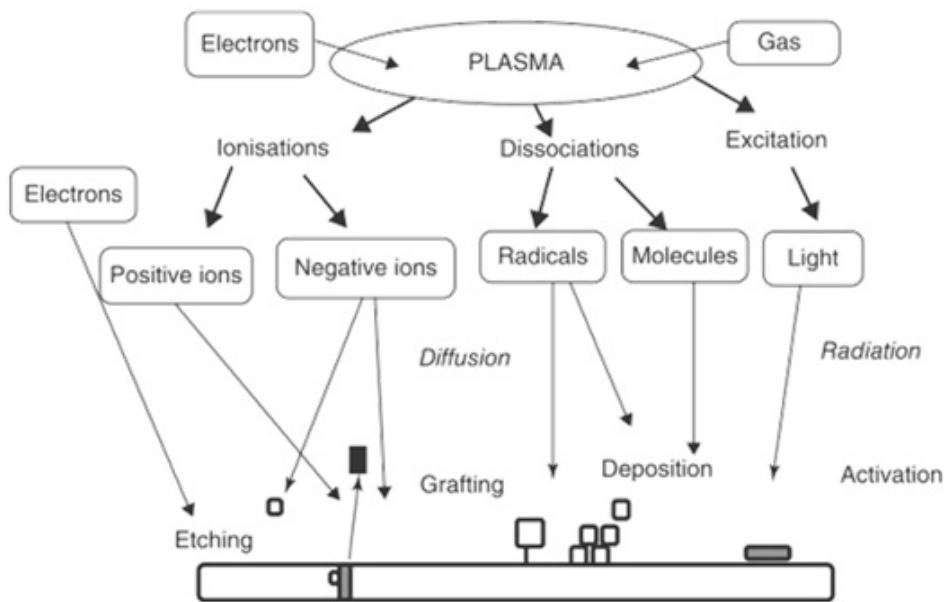
Plasma gas terjadi pada tekanan rendah. Metode ini memakai sepasang elektroda yang dialiri arus listrik searah pada tegangan relatif rendah (sd 2.000 V), frekwesi tinggi sampai dengan sangat tinggi yaitu frekuensi radio, dapat juga beroperasi pada hampa udara dan menggunakan bermacam-macam gas sebagai media plasma.

Dari berbagai pustaka, ketiga metode tersebut telah digunakan untuk memproses permukaan berbagai bahan terutama material polimer termasuk bahan tekstil. Lucutan korona merupakan dasar dari ketiga metode dengan berbagai pembangkit plasmanya. Salah satu tujuan proses plasma adalah modifikasi permukaan bahan tekstil yaitu dengan membuka/mengubah gugus molekul permukaan bahan yang disebut dengan etsa dan grafting.

Gambar 2 mengilustrasikan proses etsa dan grafting bahan polimer menggunakan proses plasma.

Proses etsa yang dimaksud adalah terjadinya reaksi degradasi secara kimia pada permukaan paling atas dari bahan tekstil/polimer yang terpapar atau dibombardir oleh ion-ion dan elektron-elektron yang timbul dari udara atau gas dengan adanya plasma. Selanjutnya atom-atom hidrogen langsung terusir dari rantai polimer pada permukaan bahan yang menyebabkan ikatan karbon C-C terputus sehingga terbentuk radikal bebas C pada ujung rantai polimer. Radikal bebas itulah yang menginisiasi reaksi degradasi pada permukaan dan mengakibatkan pengurangan berat bahan. Acapkali gas inert seperti nitrogen, oksigen, argon dan helium digunakan untuk proses plasma.

Berdasarkan fakta-fakta tersebut maka Balai Besar Tekstil melakukan perekayasa mesin prototip plasma tekstil dengan tujuan utama mewujudkan suatu mesin plasma tekstil skala riset pertama di dalam negeri yang selanjutnya dapat dimanfaatkan bagi keperluan berbagai riset tekstil berbasis plasma. Pra studi telah dilakukan percobaan di laboratorium plasma, Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang, Jawa Tengah.³ Dengan dikuasanya teknologi tersebut maka salah satu proses tekstil yaitu modifikasi permukaan kain dapat dilakukan pada suhu rendah, tanpa air dengan tidak mengeluarkan limbah cair.



Gambar 2. Ilustrasi proses etsa permukaan bahan polimer menggunakan proses plasma¹³

METODE

Bahan

1. Rangka mesin, cover, kotak panel:
 - Al profil (extruded)
 - Bracket
 - Mur baut inbus
 - Pelat baja tahan karat SUS 304
 - Pelat akrilik
2. Reaktor/Ruangan Plasma :
 - Jarum baja
 - Pelat baja tahan karat SUS 304
 - Nozel gas
 - Pelat akrilik bening
3. Elektronik dan panel :
 - Human Machine Interface (touch screen LED display)
 - Program Logic Control
 - High Voltage DC Transformator, 20 kV
 - DC Elektromotor
 - Power Supply
 - Kabel dan wiring
 - Sensor-sensor
 - Analog Ampere dan Volt Display
4. Bahan tekstil dan non kimia :
 - Kain nilon
 - Gas oksigen
 - Gas nitrogen

Peralatan

1. Peralatan perbengkelan (tool kit) termasuk alat potong
2. Jangka sorong (sigmat) untuk pengukuran dimensi dengan keteletian 0,1 mm
3. Rol meter untuk pengukuran dimensi dengan ketelitian 1 mm
4. Avometer untuk pengukuran kuat arus dan tegangan
5. Timbangan analitis dengan ketelitian 0,01 gram
6. Kamera 5 MP untuk dokumentasi fenomena plasma, fenomena serap air dan dokumentasi peralatan

7. Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk melihat morfologi permukaan bahan kain tekstil

Metode plasma, desain dan konstruksi mesin

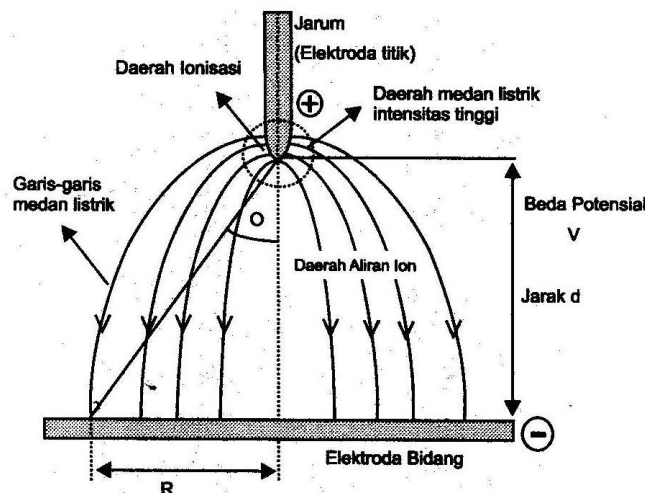
Berbagai pertimbangan perlu diperhatikan untuk memutuskan pembuatan atau manufaktur prototip mesin plasma berskala laboratorium ini, yaitu dengan cara pendekatan-pendekatan sebagai berikut:

- a. Pemilihan metode plasma
- b. Desain dan konstruksi mesin plasma (konstruksi, rangkaian elektronik, otomatisasi/program mekanik)

a. Pemilihan metode plasma

Merujuk dari ketiga metode seperti yang telah dijelaskan di atas, masing-masing metode mempunyai kelebihan dan kelemahan. Untuk itu pembuatan prototip mesin plasma harus mempertimbangkan berbagai aspek, khususnya kemudahan mendapatkan komponen dan peralatan pembangkit plasma di dalam negeri. Dari beberapa pertimbangan tersebut serta dilihat dari aspek keberhasilan terjadinya plasma korona, maka metode yang dipakai adalah metode a yakni konfigurasi titik-bidang. Oleh karena itu, maka mesin plasma dirancang berdasarkan plasma korona titik-bidang pada tekanan atmosfer dengan media terutama udara. Sebagai ilustrasi Gambar 3 memperlihatkan terjadinya plasma korona titik-bidang.

Sebagai tambahan untuk meneliti pengaruh dari media plasma maka dirancang perangkat dan ruangan untuk mengalirkan gas. Gas-gas yang dipilih adalah oksigen (O_2) dan nitrogen (N_2). Ruangan ini menutupi elektroda titik dan terbuka pada bagian bawah. Pada prinsipnya adalah memperkaya udara dengan gas oksigen atau nitrogen pada tekanan atmosfer. Sedangkan bahan kain tekstil yang dipilih yaitu kain nilon untuk membuktikan terwujudnya plasma korona dan efeknya pada permukaan kain.



Gambar 3. Daerah ionisasi dan aliran pada lucutan pijar korona.⁹

Konfigurasi titik-bidang memunculkan medan listrik yang tidak seragam (*non uniform*) karena adanya perbedaan geometri antara elektroda. Hal ini menyebabkan terjadinya medan listrik yang kuat disekitar ujung elektroda titik. Kuat medan listrik antar elektroda merupakan fungsi dari (x) antar elektroda. Besar kuat medan listrik diformulasikan dalam persamaan 1.⁹

$$E(x) = \frac{2V}{\left(r + 2x - \frac{x^2}{d}\right) \ln\left(1 + \frac{2d}{r}\right)} \quad (1)$$

- V : tegangan pada elektroda
- R : jari-jari ujung elektroda
- d : jarak antara elektroda
- x : jarak ujung-ujung elektroda titik dengan sebuah titik yang berjarak x tertentu diantara kedua elektroda.

Dengan demikian apabila $x = 0$ (diujung elektroda titik) maka persamaan medan listriknya menjadi persamaan 2 :

$$E(x = 0) = \frac{2V}{r \ln\left(1 + \frac{2d}{r}\right)} \quad (2)$$

Gambar 4. merupakan ilustrasi grafik kuat medan listrik sebagai fungsi dari jarak.

b. Desain dan konstruksi mesin plasma

Berdasarkan pendekatan secara teoritis tersebut pada butir a, maka fungsi jarak antar elektroda menentukan terjadinya medan magnet yang memunculkan plasma korona. Selanjutnya sebagai pembangkitnya diperlukan pembangkit arus searah DC dengan tegangan (*voltage*) yang tinggi sampai dengan 20 kV. Dari hasil berbagai penelaahan tersebut, maka mesin plasma didesain dengan 4 komponen utama yaitu:

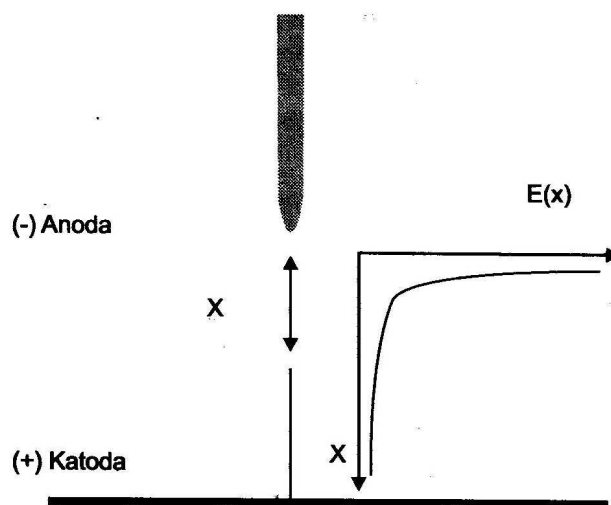
1. Ruang reaktor plasma (plasma chamber) yang dapat diatur jarak jarak elektrodanya secara

vertikal (naik-turun). Bahan elektrodanya adalah rangkaian jarum (+) dan pelat baja tahan karat (-). Pembangkit plasma dan tegangan tingginya adalah *DC Power Supply* 20 kV, 100 mA

2. Konstruksi/kerangka utama yang dirancang *semi knock down* agar mudah dimodifikasi dan menggunakan bahan Al ekstrusi yang berukuran presisi
3. *Main panel board*, sebagai tempat rangkaian utama elektronik dan pengaturan serta pengoperasian mesin plasma.
4. *Program Logic Control* (PLC) dan *Human Machine Interface* (HMI) sebagai pengendali gerakan-gerakan mekanik/elektronik baik secara manual dan otomatis.

Selanjutnya dari kriteria tersebut dituangkan dalam gambar teknik atau gambar kerja dengan spesifikasi mesin plasma adalah sebagai berikut:

- Tipe plasma: Plasma dingin dengan lucutan korona pada tekanan atmosfer (*atmospheric corona discharge*)
- Reaktor plasma: DC/arus searah, 20 KV, 100 mA dilengkapi saluran dan filter gas
- Konfigurasi elektroda berupa titik-bidang.
- Pemrosesan: *batch* (per satu kali proses)
- Unit Kontrol : manual dan auto menggunakan Human Machine Interface dan program logic control (HMI dan PLC)
- Tipe meja: dapat bergerak atau *moveable horizontal* (kiri-kanan)
- Ruang plasma: dapat bergerak secara vertikal atau atas bawah untuk pengaturan jarak antara plasma chamber dengan permukaan kain yang pengaturannya (*digital setting*) dilakukan pada papan panel

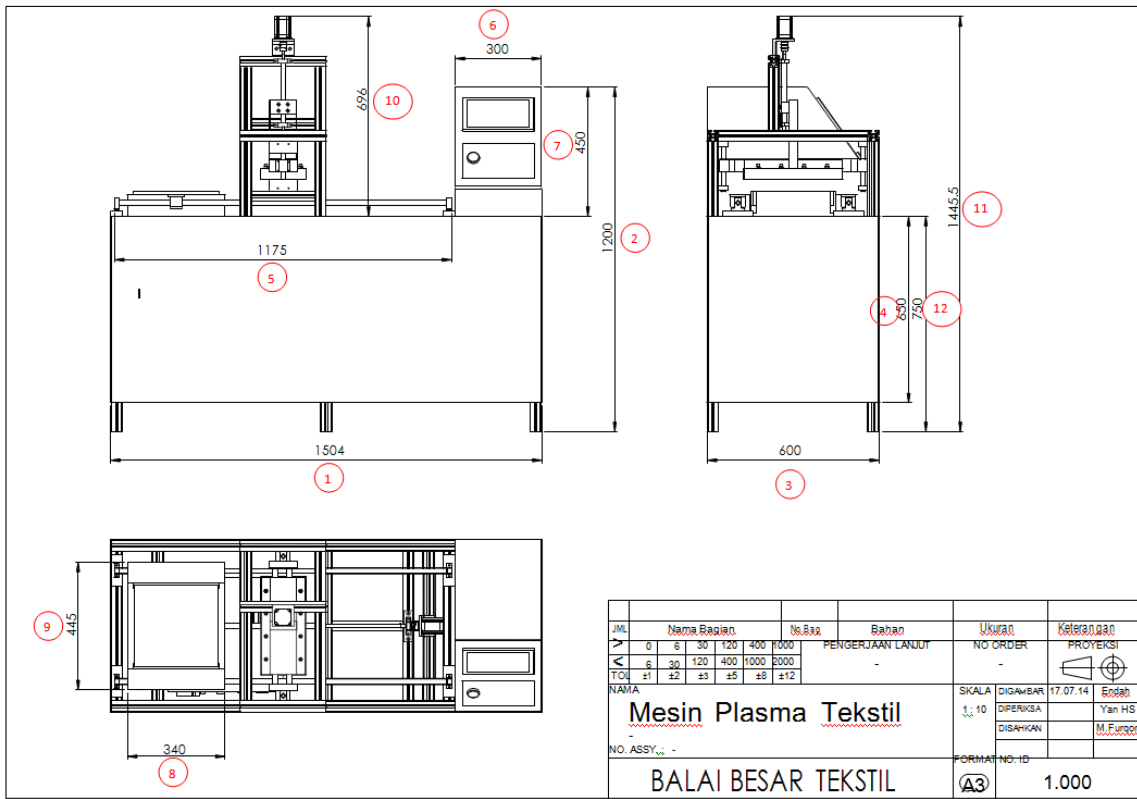


Gambar 4. Kuat medan listrik sebagai fungsi jarak.⁹

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah desain dan spesifikasi mesin plasma diputuskan sebagaimana yang telah diterangkan

pada di atas, maka dilanjutkan dengan memanufaktur mesinnya berdasarkan gambar-gambar teknik atau *blue print* yang dapat dilihat pada Gambar 5 dibawah ini.



Ket: Nomor berlingkaran merah menandakan acuan pemeriksaan dimensi mesindengan mengacu pada standard ISO R286

Gambar 5. Gambar teknik hasil final rancangan plasma.



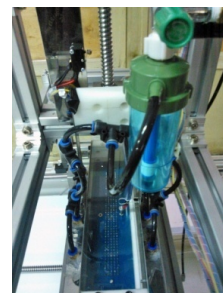
a. Mesin plasma beroperasi sekaligus mengukur daya input (lap top di bawah)



b. Unit Kontrol (main panel board)

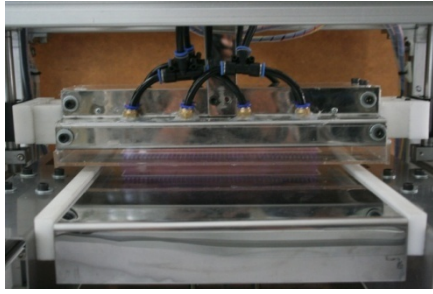


c. Plasma Chamber (tampakdepan) dan unit filter/flow gas



d. Elektrodapada plasma chamber

Gambar. 6. Gambar-gambar pengukuran mesin plasma tanpa beban



- e. Meja plasma (tempat bahan yg akan diradiasi plasma). Latar belakang adalah plasma chamber
f. Plasma (warna biru) yang muncul pada saat operasi tanpa beban jarak 25 mm

Gambar. 6. Gambar-gambar pengukuran mesin plasma tanpa beban

Gambar 6 menunjukkan rangkaian mesin plasma dan bagian-bagian dari mesin tersebut serta beberapa kegiatan uji coba mesin plasma tanpa beban. Fenomena plasma, warna biru ungu, terlihat secara visual yang ditunjukkan pada Gambar 6 f yang terjadi pada jarak antar elektroda 25 mm.

Setelah selesainya manufaktur mesin maka dilakukan uji coba/unjuk kerja atau performa mesin dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1 Uji tanpa beban
- 2 Uji dengan beban

Hasil-hasil uji performa tersebut itu dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Uji tanpa beban

Yang dimaksud uji tanpa beban adalah uji performa mesin tanpa menggunakan bahan tekstil yang akan diplasma. Uji ini meliputi:

a. Dimensi mesin

Referensi pengukuran berdasarkan Gambar Kerja sebagaimana tercantum pada Gambar 8 yang mengacu pada *ISO/R286*. Adapun yang diukur diberi nomor (angka berwarna dan lingkaran merah) dengan hasil disajikan pada Tabel 1.

Dari data hasil uji dimensi pada Tabel 1 di atas terlihat ukuran mesin tidak melebihi atau kurang dari persyaratan (statusnya Ok), dengan kata lain masih dalam batas-batas toleransi ukuran yang diijinkan. Maka dengan itu mesin plasma tersebut

telah memenuhi persyaratan ukuran sesuai dengan standard *ISO/R286-ISO System of limit and fit*

b. Uji Performa Plasma

Uji performa plasma pada prinsipnya dilakukan dengan cara mengoperasikan mesin tanpa adanya bahan kain tekstil untuk melihat dan membuktikan terjadinya fenomena plasma dengan variasi jarak antar elektroda, kuat arus dan tegangan sampai pada batas maksimum.

Hasil-hasil percobaan dengan berbagai variasi itu disajikan pada Tabel 2. Selain itu dilakukan pula pengukuran daya input dari mesin untuk mengetahui seberapa besar daya yang diperlukan dalam pengoperasian mesin, serta pengamatan plasma secara visual yang berpedoman pada kemunculan sinar warna biru ungu diantara elektroda seperti terlihat pada Gambar 6 f.

Dari Tabel 2 memperlihatkan bahwa plasma yang muncul ternyata bergantung pada jarak antar elektroda (katoda-anoda). Untuk jarak 8 mm muncul plasma, namun intensitasnya sangat lemah yang ditunjukkan dengan pada tegangan dan arus yang diperlukan hanya 5 KV dan 1 mA. Bila jaraknya dinaikkan menjadi 15 mm, hasilnya memperlihatkan pengamatan secara visual terjadi plasma, tetapi acap kali muncul *spark*. Selain itu, pada jarak ini mengkonsumsi daya yang terbesar yaitu 450 W

Tabel 1. Pengukuran Dimensi (*ISO/R286-ISO System of limit and fit*)

BAGIAN/PART	GAMBAR	PENGUKURAN (mm)	BEDA	TOLERANSI (+ mm)	STATUS
Mesin Plasma	No. 1.000				
No. 1	1504	1504	0	12	Ok
No. 2	1200	1210	+10	12	Ok
No. 3	600	602	+2	8	Ok
No. 4	650	650	0	8	Ok
No. 5	1175	1178	+3	12	Ok
No. 6	300	298	-2	5	Ok
No. 7	450	450	0	8	Ok
No. 8	340	341	+1	5	Ok
No. 9	445	443	-2	8	Ok
No. 10	696	696	0	8	Ok
No. 11	1445,5	1440	-5,5	12	Ok
No. 12	750	750	0	8	Ok

Terlihat bahwa semakin besar jarak, semakin rendah daya yang di dihasilkan yakni pada jarak 30 mm yakni 350 W. Namun demikian, fenomena plasma korona yang muncul terbaik adalah pada jarak 25 mm, bukan pada jarak 20 mm maupun 30 mm. Pada jarak 20 mm kadang terjadi *spark* serta konsumsi dayanya lebih tinggi dibandingkan jarak 25 mm. Sedangkan pada jarak 30 mm, intensitas kuat plasmanya melemah, walaupun konsumsi dayanya lebih kecil, Gambar 6 f memperlihatkan plasma korona yang terjadi pada jarak 25 mm. Oleh karena itu, uji dengan beban sekaligus juga pelaksanaan percobaan-percobaan berbasis pada jarak 25 mm.

Hasil-hasil ini menunjukkan kesesuaian dengan persamaan 1 dan 2 bahwa jarak antar elektroda mempengaruhi intensitas plasmanya. Hal ini juga membuktikan bahwa elektroda berupa titik-bidang mampu menghasilkan plasma korona.

2. Uji dengan beban

Bahan kain nilon

Sebagaimana dijelaskan di atas bahwa jarak antar elektroda yang optimum adalah pada jarak 25 mm, maka uji beban dilaksanakan pada jarak tersebut. Media gasnya adalah udara bebas, yang kedua dengan menghembuskan gas nitrogen dan gas ketiga yaitu gas oksigen. Waktu pemaparan dimulai dari 2x2,5 menit (dua sisi permukaan kain diradiasi plasma, bolak-balik) 2x5 menit dan 2x7,5 menit untuk semua media udara dan gas. Hasil-hasil uji coba disajikan pada Tabel 3.

Hasil radiasi plasma terlihat bahwa dengan media udara bahwa tegangan dapat dikatakan tidak berubah dibandingkan dengan kondisi tanpa beban yaitu berkisar 16,5-17,5 kV. Sedangkan kuat arusnya berkisar antara 30-45 mA, serta daya *input* yang tercatat kurang lebih 279 W. Hal ini memperlihatkan bahwa kemungkinan kuat arus yang dominan pada nilai mendekati 30 mA.

Tabel 2. Pengukuran dan Pengamatan Reaktor Plasma

NO.	JARAK ELEKTRODA (Sumbu Z) (mm)	WAKTU (menit)	Meja Plasma (Sumbu X)	PENGUKURAN		PENGAMATAN	Daya Input (Watt)
				V (KV)	V (mA)		
1	8 mm	0,25	-	5	1	Muncul plasma, tapi tidak bisa lebih dari 5 kV/1 mA dan amat lemah	
2	15 mm	15	-	14-16	64-69	Muncul plasma, acap kali <i>spark</i>	430-450
3	20 mm	15	-	16	50	Muncul plasma yang merata, kadang <i>spark</i>	415-420
4	25 mm	15	-	17,5	37,5	Muncul plasma yang merata,	360-370
5	30 mm	15	-	18	25	Muncul plasma yang merata, tetapi lemah	340-350

Catatan :

Istilah *spark* yaitu peristiwa munculnya kilat cahaya diantara elektroda disebabkan terkumpulnya energi pada satu titik sehingga tidak terjadi plasma. Pengukuran mesin pada posisi *stand by* daya *input*nya adalah 60 W. Berarti daya *input* DC Power Supply untuk membangkitkan plasma dikurangi 60W dari semua pengukuran daya *input* yang tertera pada Tabel-tabel.

Tabel 3. Uji dengan beban kain nilon

No.	Jarak Elektroda (Sumbu Z)	Waktu (mnt)	Meja Plasma (Sumbu X)	Pengukuran		Pengamatan	Daya Input (watt)
				V (KV)	A (mA)		
Dengan Udara							
1	25 mm	2 x 2,5	diam/statis	16,5	30-45		279
2	25 mm	2 x 5	diam/statis	16,5	30-45		279
3	25 mm	2 x 7,5	diam/statis	17,5	30-45	<i>spark</i> menit ke 1 dan 2	279
Dengan Nitrogen							
1	25 mm	2 x 2,5	diam/statis	15	19-25	<i>spark</i> menit ke 3 dan 4	279
2	25 mm	2 x 5	diam/statis	15	20-27	<i>spark</i> menit ke 4	279
3	25 mm	2 x 7,5	diam/statis	15	18-25	<i>spark</i> menit ke 4	279
Dengan Oksigen							
1	25 mm	2 x 2,5	diam/statis	17,5	36-37,5		363
2	25 mm	2 x 5	diam/statis	17,5	32-37,5		369
3	25 mm	2 x 7,5	diam/statis	17,5	37,5	<i>spark</i> menit ke 4	363-364

Walaupun terjadi spark namun hanya sesaat. Plasma yang muncul merata seperti pada uji tanpa beban, lihat Gambar 7.a.

Pada percobaan dengan mengalirkan gas N_2 terjadi penurunan tegangan dan kuat arusnya yaitu masing-masing 15 kV dan 18-25 mA, namun daya inputnya yang terekam sama dengan media udara. Selain itu kerap muncul *spark*. Fenomena ini diduga karena terjadinya reaksi antara gas N_2 (sangat dominan) yang terionisasi dengan permukaan kain nilon yang menimbulkan suatu resistensi pada aliran plasma.

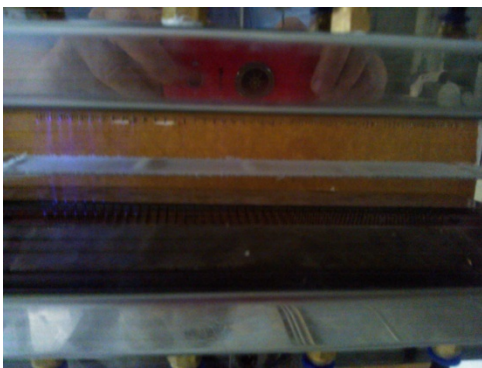
Sedangkan media yang dialirkan gas O_2 tegangan dan kuat arus lebih stabil yakni masing-masing 17,5 kV dan 37,5 mA sehingga daya inputnya pun tercatat paling tinggi pada kisaran 363-369 W.

Pada proses plasma dengan media gas nitrogen dan oksigen kadang plasma tidak merata yang diperkirakan akibat aliran gas yang kurang merata. Ketidakteraturan plasma tersebut dapat dilihat pada Gambar 7.b. dan 7.c.

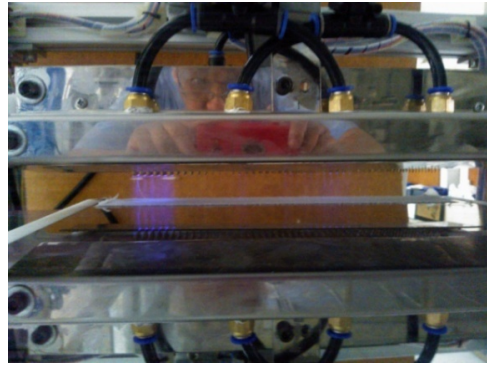
Fenomena munculnya *spark*(kilatan) diduga diakibatkan satu atau lebih elektroda jarum terkontaminasi kotoran atau debu dari kain atau terjadi sebagian kain/benang terangkat akibat daya elektromagnetik maupun elektrostatis pada bahan kain. Kemungkinan lainnya adalah resistensi akibat reaksi ion gas dan bahan kain sebagaimana dijelaskan di atas.



a. Plasma dengan udara (terlihat plasma lebih merata)



b. Plasma dengan Nitrogen (terlihat plasma tidak merata terjadi plasma disisi kiri)



c. Plasma dengan Oksigen (terlihat plasma tidak merata terjadi disisi kiri dan tengah)

Gambar 7. Kondisi Plasma dengan beban dengan kain nilon

Pengamatan dilanjutkan dengan uji tetes air secara visual, kemudian diamati mikrostrukturnya dengan menggunakan alat SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Uji Tetes air

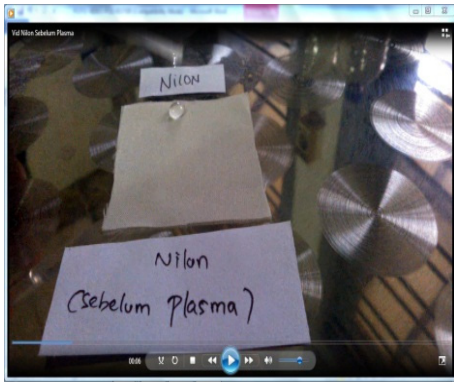
Uji tetes air dilaksanakan pada sampel 2x5 menit dan udara sebagai media plasmanya. Pengujian langsung dilakukan setelah selesainya proses plasma dengan menggunakan stopwatch dan kamera video. Hasil sesudah plasma dibandingkan dengan kain nilon sebelum plasma. Hasil-hasil rekaman pengujian tetes air disajikan pada Gambar 8.

Hasil uji visual dengan tetes air, tampak kain nilon sebelum diradiasi penyerapan air baru terjadi pada detik ke 50. Sesudah diradiasi plasma langsung air terserap bahan kain nilon. Terjadi peningkatan kecepatan penyerapan air yang sangat signifikan, sehingga diperkirakan terjadi perubahan permukaan bahan kain akibat radiasi plasma yang dibuktikan dengan uji SEM.

Hasil Uji SEM kain nilon

Uji SEM dilakukan untuk melihat perubahan yang terjadi pada permukaan kain secara mikroskopis, yang menambah bukti uji tetes air. Semua hasil sesudah plasma dibandingkan dengan sebelum plasma (blanko/kontrol) serta dibandingkan pula diantara sampel-sampel sesudah plasma. Semua foto-foto hasil SEM disajikan pada Gambar 8.

Pemaparan plasma dilakukan pada kedua permukaan (2 kali) dengan waktu yang sama. Dari hasil uji SEM terlihat jelas terjadi perubahan morfologi yaitu terkelupasnya semua permukaan kain nilon pada semua media plasma (udara, oksigen dan nitrogen).



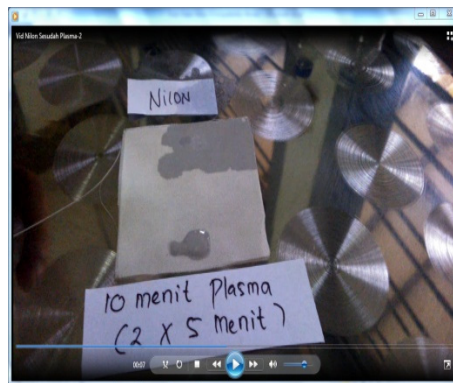
a. Awal penetesan



b. Mulai terjadi penyerapan pada detik 50

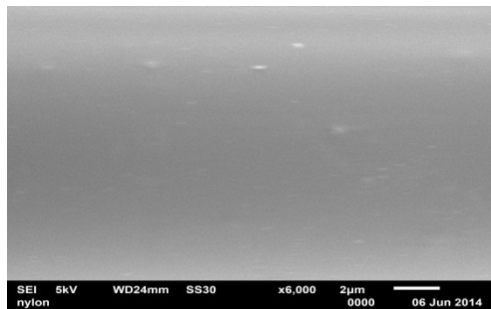


c. Setelah plasma terjadi penyerapan air seketika

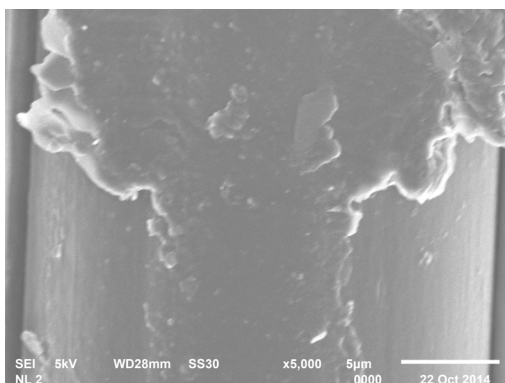


d. Air ditetaskan kembali pada bagian lainya (bawah), juga air menyerap seketika

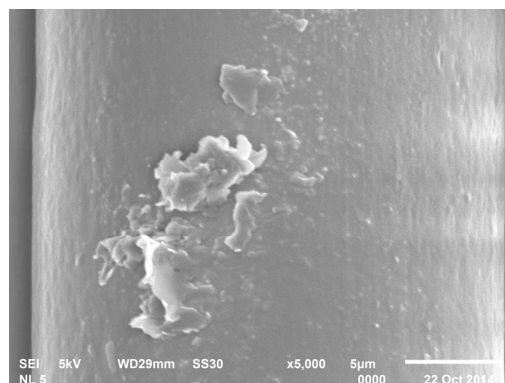
Gambar 8. Uji tetes air pada kain nilon



a. Blanko/kontrol

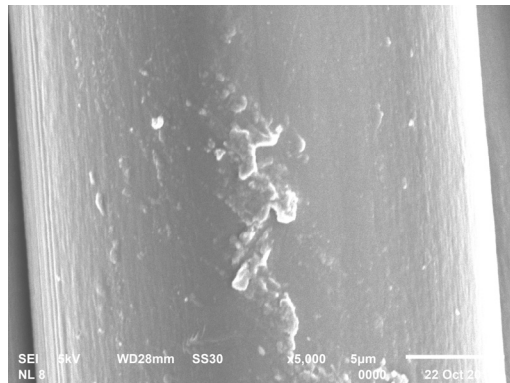


b Plasma 2 x 5 mt, media udara

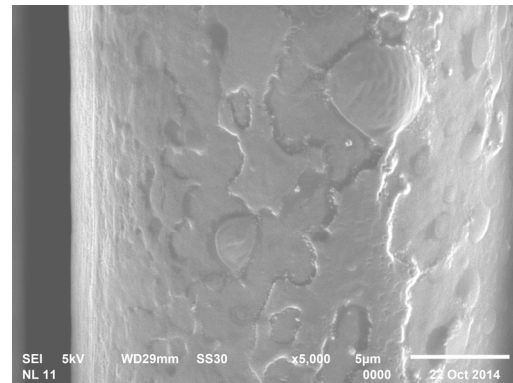


c. Plasma 2 x 7.5 mt, media udara

Gambar 9. Hasil uji SEM permukaan kain nilon setelah pemaparan plasma pada berbagai media.



d. Plasma 2x5 mt, media nitrogen



e. Plasma 2x5 mt, media Oksigen

Gambar 9. Hasil uji SEM permukaan kain nilon setelah pemaparan plasma pada berbagai media. (lanjutan)

Hal ini memperkuat bukti efek plasma secara mikroskopis. Pengaruh dari media plasma terhadap besarnya pengelupasan tidak dapat dihitung karena memerlukan metode dan peralatan lainnya. Selain itu luas permukaan kain dan lama waktu pemaparan juga sangat terbatas. Namun demikian hasil ini sudah cukup membuktikan bahwa mesin yang dibuat mampu membangkitkan fenomena plasma korona sesuai dengan desain dan perhitungannya.

KESIMPULAN

1. Telah terwujud prototip mesin plasma (korona) tekstil untuk riset sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan
2. Mesin ini mampu memodifikasi permukaan kain tekstil pada tekanan atmosfer dan media udara, tanpa menggunakan air, dan konsumsi daya *input* yang relatif rendah
3. Keperluan daya *input* total adalah antara 260-300 W. *Output* tegangan dan kuat arus pada reaktor plasma berkisar 15-17,5 kV dan 10-62,5 mA, yg bergantung pada jarak antar elektroda, bahan kain yg diproses dan media yg dipakai sebagai bahan ionisasi.
4. Mengenalnya fenomena plasma (wujud materi keempat) pada bahan tekstil. Dapat digunakan utk memproses tekstil maju, serta riset-riset selanjutnya.

SARAN-SARAN

1. Mesin ini merupakan prototip awal, masih perlu penyempurnaan baik itu secara mekatronik dan plasmanya, sehingga perlu riset lanjut.
2. Dengan terbuktinya bahwa mesin ini mampu membangkitkan plasma korona dan dapat memroses etsa permukaan maka kedepannya dapat digunakan untuk berbagai riset tekstil yang berbasis plasma.
3. Riset-riset baru tersebut sebaiknya untuk bahan tekstil non sandang atau fungsional terlebih

dahulu serta diharapkan untuk riset bahan tekstil yang termasuk kategori maju (*advanced textile material*) dengan nilai tambah yang jauh lebih tinggi, baik itu untuk tekstil kesehatan, militer, olah raga dan lain-lain.

4. Hasil rancang bangun (embrio teknologi didunia tekstil Indonesia) perlu disebarluaskan karena merupakan teknologi untuk saat ini dan masa depan yang sangat ramah lingkungan dan hemat energi.
5. Diharapkan akan terjadi kemajuan berbagai riset tekstil baik itu di lembaga-lembaga riset dan perguruan-perguruan tinggi di tanah air.

PUSTAKA

- ¹ Yales, V. Kendalikan Konsumsi Energi Sektor Manufaktur. *Surat Kabar KOMPAS*, 18 April 2012, halaman 7.
- ² Usman, A.S. (2012). Peningkatan Daya Saing Industri TPT Melalui Standarisasi, *Makalah Seminar Nasional Tekstil*, Bandung.
- ³ Utomo, S. (2010). Establishment of Product Development and Design Center (PDDC) on Textile Industri in Center for Textile, Balai Besar Tekstil.
- ⁴ Shisoo, R. (2007). *Plasma Technologies for Textiles*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England.
- ⁵ Kutlu, Bengi and Cireli, Aysun. (2001). Plasma Technology In Textile Processing, *The 6th Asian Textile Conference, Innovation & Globalization, Proceeding*, Hong Kong.
- ⁶ Dai, X.J. and Kviz, I, (2001). Study of Atmospheric and Low Pressure Plasma Modification on the Surface Properties of Synthetic and Natural Fibers, *"An Odyassey in Fibres and Space" Textile Institute 81st World Conference*, Melbourne, Australia.
- ⁷ Kan, C.W., Chan, K. and Yuen, C.W.M. (2001). Development of Low Temperature Plasma Technology on Wool, *The 6th Asian Textile*

Conference, Innovation & Globalization, Proceeding, Hong Kong.

- ⁸ McCord, M.G., Hwang, Y.J., Hauser, P.J., Qiu, Y., Cuomo, J.J., Hankins, O.E. & Bourham. (2002). Modifying Nylon and Polypropylene Fabrics with Atmospheric Pressure Plasmas, *Textile Research Journal* 72 (6): 491-498
- ⁹ Nur, M.(2011). *Fisika Plasma dan Aplikasinya*, Badan Penerbit Universitas Diponegor Semarang, Cetakan 1.
- ¹⁰Triadyaksa, Pandji, Nasruddin, Wasiq, J., Nur, M.,(2007). Rancang Bangun dan Pengujian Sistem Reaktor Plasma Lucutan Pijar Korona guna Mempercepat Pertumbuhan Tanaman Mangrove, *Berkala Fisika Vol. 10, No. 3*: 137-144.
- ¹¹Shah, J.N., Shah, S.R.(2013). Innovative Plasma Technology in Textile Processing :A Step towards Green Enviroment. *Research Journal of Engineering Sciences, Vol. 2(4)*: 34-39.
- ¹²Soetrisno, H. B.(2011). Perkembangan TPT Global. *Makalah Seminar Tekstil Nasional 2011*, Bandung.
- ¹³Widodo, M.(2014). Proses Etsa Pada Kain Tekstil Menggunakan Teknologi Plasma, *Makalah Focus Group Discussion Teknologi Plasma Tekstil*, Bandung.
- ¹⁴Fajri, K. (2014). Pengurangan Berat Cara Kimia/Cara Basah, *Makalah Focus Group Discussion Teknologi Plasma Tekstil*, Bandung.
- ¹⁵Syaifudin T.A.,Widodo, M., Muhlisin, Z., Nur, M. (2014). Modifikasi Permukaan Bahan Tekstil Dengan Plasma Lucutan Korona, *Prosiding Seminar Nasional Tekstil*, 1-22.
-