

SKRIPSI



**ANALISIS STRUKTUR LAPISAN SEMIKONDUKTOR TiO₂
MENGUNAKAN VARIASI PELARUT ORGANIK DENGAN
METODE PLASMA**

Oleh :

**BAYU FARHAN SOPAMENA
D211 15 504**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2019



SKRIPSI

**ANALISIS STRUKTUR LAPISAN SEMIKONDUKTOR TiO₂
MENGUNAKAN VARIASI PELARUT ORGANIK DENGAN METODE
PLASMA**

OLEH:

**BAYU FARHAN SOPAMENA
D211 15 504**

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2019



LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan Mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin pada Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

JUDUL :

**ANALISIS STRUKTUR LAPISAN SEMIKONDUKTOR TiO₂
MENGUNAKAN VARIASI PELARUT ORGANIK DENGAN METODE
PLASMA**

BAYU FARHAN SOPAMENA
D211 15 504

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I



Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT.

NIP. 197911122008122022

Dosen Pembimbing II



Azwar Hayat, ST., M.Sc., Ph.D

NIP. 19840126 201212 1 002

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT.

NIP. 19570914 198703 1 001



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DATA DIRI

Nama lengkap : BAYU FARHAN SOPAMENA
Nama Panggilan : Bayu
Tempat / Tanggal Lahir : Ujung Pandang, 22 Juni 1997
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Agama : Islam
Golongan Darah : O
Alamat : Jl. Boulevard, Perumahan Lily B3, Panakkukang,
Makassar
Telepon / No. HP : 0813 5522 4502
E-mail : bayu.farhan7@gmail.com



RIWAYAT PENDIDIKAN

- SDI Hartaco Indah (2003-2009)
- SMPN 3 Makassar (2009-2012)
- SMAN 2 Makassar (2012-2015)
- Universitas Hasanuddin (2015-2019)

RIWAYAT ORGANISASI

- OKFT-UH
- HMM FT-UH
- CSR
- MAJOR 09



ABSTRAK

Bayu Farhan Sopamena (D211 15 504). *Analisis Struktur Lapisan Semikonduktor TiO₂ Menggunakan Variasi Pelarut Organik Dengan Metode Plasma*. (Dibimbing oleh Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST. MT. dan Azwar Hayat, ST., M.Sc., Ph.D.)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui (1) Pengaruh variasi *organic solvent* terhadap kekasaran, ketebalan, dan struktur mikro lapisan TiO₂ dengan metode plasma, (2) Pengaruh variasi jarak antara penyalaan plasma dan kaca terhadap kekasaran, ketebalan, dan struktur mikro lapisan TiO₂ dengan metode plasma, (3) Perbandingan pelapisan pewarna dengan metode plasma.

Dye Synthesized Solar Cell (DSSC) baru-baru ini dikenal secara luas sebagai perangkat *photovoltaic* yang menjanjikan karena biaya pembuatan yang rendah, sifat optic, dan efisiensi tinggi konversi daya. TiO₂ banyak digunakan sebagai semikonduktor dalam DSSC dikarenakan memiliki konduktifitas termal yang tinggi, stabilitas kimia, biaya rendah, sifat pembawa muatan yang menguntungkan dan transparansi tinggi dalam spectrum surya. Pembuatan nanopartikel TiO₂ pada kaca konduktif berperan penting dalam efisiensi sel surya dikarenakan pengaruh dari ketebalan lapisan TiO₂.

Metode pembuatan DSSC yang digunakan yaitu *in-liquid plasma coating*, dimana TiO₂ dilarutkan dengan aquades dan pelarut organik berupa methanol, isopropyl alcohol, dan karbon tetraklorida. Lalu diaduk dengan kecepatan konstan selama 120 menit. Untuk metode pelapisan menggunakan *in-liquid plasma* dimana kaca substrat steril yang digantung akan dicelupkan di dalam reactor yang berisi larutan TiO₂ dan dilakukan proses plasma yang akan menimbulkan efek ikatan kimia antara kaca substrat dan TiO₂ dan akan menghasilkan lapisan TiO₂ di permukaan kaca. Sedangkan untuk pewarnaan, dilakukan dengan metode plasma, di mana kaca yang telah terlapis TiO₂ akan dimasukkan ke dalam reactor yang berisi larutan pewarna dari buah beet dan dilakukan proses plasma.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa dari segi kualitas lapisan dengan variasi pelarut organik, larutan methanol dengan jarak penyalaan 24 mm menghasilkan lapisan yang lebih tipis dan halus yakni 13.696 μm dan dengan nilai kekasaran 4.466, secara umum ketebalan lapisan TiO₂ yang digunakan pada DSSC adalah 12-20 μm . Untuk hasil pewarnaan dengan metode plasma, struktur lapisan TiO₂ mengalami kerusakan akibat dari aktifitas *in-liquid plasma* sehingga pewarnaan lebih baik menggunakan metode konvensional.

Kata kunci: DSSC, TiO₂, *Organic Solvent*, *In-liquid Plasma Coating*.



ABSTRACT

Bayu Farhan Sopamena (D211 15 504). *Analysis of the Structure of Semiconductor TiO₂ Layer Using Organic Solvent Variation with Plasma Method.* (Supervised by Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST. MT. and Azwar Hayat, ST., M.Sc., Ph.D.)

This research aims to determine (1) the effect of the organic solvent variation on the roughness, thickness, and microstructure of the TiO₂ layer with plasma method, (2) the effect of the distance between plasma and substrate glass on the roughness, thickness, and microstructure with plasma method, (3) comparison of the dye coating with plasma method.

Dye Synthesized Solar Cell (DSSC) has been extensively considered as the promising photovoltaic devices recently due to the low fabrication cost, optical properties, and high efficiency of power conversion. The fabrication of TiO₂ nanoparticles on conductive glass play an important role in the solar cell efficiency, since the thickness of the TiO₂ coating effects.

The DSSC manufacturing method used in-liquid plasma coating, where TiO₂ is dissolved with distilled water and organic solvent such as methanol, isopropyl alcohol, and carbon tetrachloride. Then stir at a constant speed for 120 minutes. The coating method uses in-liquid plasma where the sterile glass substrate that is hung will be dipped in a reactor that contains a TiO₂ solution and a plasma process is carried out which will cause the chemical bonding effect between the glass substrate and TiO₂ and will produce a TiO₂ layer on the glass surface. As for dyeing, it is carried out by the plasma method, in which the glass coated with TiO₂ will be put into a reactor containing a dye solution from beets and a plasma process is carried out.

The result of this research indicate that in terms of layer quality with a variety of organic solvents, the methanol solution with a plasma ignition distance of 24 mm produces a thinner and finer layer of 13.696 μm and with a roughness value of 4.466, in general the thickness of the TiO₂ layer used in DSSC is 12-20 μm. for the results of dyeing by the plasma method, the structure of the TiO₂ layer is damaged due to in-liquid plasma activity so that the dyeing therefore the dyeing process is better using conventional method.

Keywords: DSSC, TiO₂, Organic Solvent, In-liquid Plasma Coating.



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT, atas banyaknya Berkah, Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Salam dan shalawat kepada Nabi Muhammad SAW sebagai tauladan kami yang menghantarkan kita selalu menuntut ilmu untuk bekal akhirat dan duniawi.

Akhir penyusunan skripsi “**ANALISIS STRUKTUR LAPISAN SEMIKONDUKTOR TiO₂ MENGGUNAKAN VARIASI PELARUT ORGANIK DENGAN METODE PLASMA**” sudah ada dihadapan pembaca. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penghargaan dan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada kedua orang tua (penulis) yang selalu memberikan motivasi, support dan kasih sayangnya serta doa restunya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.

Tak lupa pula penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan dan petunjuk, terutama kepada :

1. Kedua orang tua saya. Untuk Mama yang telah menjadi orang tua terhebat sejagad raya, yang selalu memberikan motivasi, nasehat, serta kasih sayang yang tidak terhingga yang tentu takkan bisa penulis balas.
2. Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, M.A. selaku Rektor Unuversitas Hasanuddin
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Dr. Ir. H. Ilyas Renreng, MT., selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak Dr. Eng. Jalaluddin, ST, MT, selaku sekertaris Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Ibu Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST., MT. selaku pembimbing pertama atas segala bimbingan, arahan, masukan, dan bantuannya selama penyusunan tugas akhir.
7. Bapak Azwar Hayat, ST., M.Sc., Ph.D selaku pembimbing kedua atas segala bimbingan, arahan, masukan, dan bantuannya selama penyusunan tugas akhir ini.



8. Bapak Prof. Dr. Ir. Onny Sutresman, MT. selaku penguji atas segala bimbingan, arahan, masukan, dan bantuannya selama penyusunan tugas akhir ini.
9. Ibu Dr. Ir. Zuryati Djafar, MT. selaku penguji atas segala bimbingan, arahan, masukan, dan bantuannya selama penyusunan tugas akhir ini.
10. Bapak dan ibu dosen serta Staff Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
11. Teman seperjuangan lab Ade Irma Syafitri, ST., Agung Prasetya C, ST., Setyawati Dewi Mulya, Lukman Husain, ST., Hairul Zakariah, Muh. Al-ashry, kanda Muh. Firdan Nurdin, ST., MT., kanda M. Alif Prastyo, ST. dan kanda Usman selaku teman yang senangtiasa ada pada saat dibutuhkan, memberi masukan untuk tugas akhir dan juga selalu menghibur selama pengerjaan tugas akhir ini.
12. Kepada saudara-saudari seperjuangan, HYDRAULIC'15 yang selalu ada dalam suka maupun duka menemani kehidupan penulis sebagai mahasiswa dari semester satu hingga akhir penulisan skripsi. Semoga masing-masing dari kita dipermudah dalam urusan dunia dan akhirat.
13. Kepada seluruh saudara-saudari yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu, terima kasih telah memberi warna kehidupan penulis sebagai mahasiswa.

Akhir kata, *jazakumullah khairan katsiran* atas semuanya dan penulis berharap, tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua khususnya dalam ilmu material dan permesinan. Karenanya, masukan dan kritik rekan-rekan sekalian kiranya dapat membantu pengembangan penelitian ini selanjutnya.

Makassar, 1 Januari 2020

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	iii
ABSTRAK.....	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	2
I.3 Tujuan Penelitian	2
I.4 Batasan Masalah	2
I.5 Manfaat Penelitian	3
I.5.1 Manfaat Bagi Peneliti	3
I.5.2 Manfaat Bagi Universitas	3
BAB II TEORI DASAR	4
II.1 Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)	4
II.2 Titanium Dioksida.....	5
II.3 Proses Coating.....	10
sma	12



BAB III METODOLOGI PENELITIAN	18
III.1 Tempat Penelitian dan Waktu Penelitian	18
III.2 Alat dan Bahan	21
III.2.1 Bahan	21
III.2.2 Alat	21
III.3 Diagram Alir Penelitian	19
III.4 Alat Penelitian	20
III.5 Prosedur Kerja	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
IV.1 Hasil Proses Pelapisan (Coating) Dengan Methanol	24
IV.2 Hasil Proses Pelapisan (Coating) Dengan Isopropil Alkohol	38
IV.3 Hasil Proses Pelapisan (Coating) Dengan Karbon Tetraklorida	52
IV.4 Hasil Proses Pewarnaan	67
BAB V PENUTUP	70
V.1 Kesimpulan	70
V.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	72
LAMPIRAN	75



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Modifikasi Bentuk Fasa TiO ₂	7
Tabel 2.2 Perbedaan Struktur Kristal Anatase dan Rutil	10
Tabel 4.1 Hasil Pelapisan TiO ₂ + Methanol Sampel 3 Ketinggian Penyalaan 10mm	26
Tabel 4.2 Hasil Pelapisan TiO ₂ + Methanol Sampel 1 Ketinggian Penyalaan 10mm	28
Tabel 4.3 Hasil Pelapisan TiO ₂ + Methanol Sampel 2 Ketinggian Penyalaan 10mm	30
Tabel 4.4 Hasil Pelapisan TiO ₂ + Methanol Sampel 1 Ketinggian Penyalaan 24mm	27
Tabel 4.5 Hasil Pelapisan TiO ₂ + Methanol Sampel 2 Ketinggian Penyalaan 24mm	29
Tabel 4.6 Hasil Pelapisan TiO ₂ + Methanol Sampel 3 Ketinggian Penyalaan 24mm	28
Tabel 4.7 Hasil Pelapisan TiO ₂ + Isopropil Alkohol Sampel 1 Ketinggian Penyalaan 10mm	40
Tabel 4.8 Hasil Pelapisan TiO ₂ + Isopropil Alkohol Sampel 2 Ketinggian Penyalaan 10mm	42
Tabel 4.9 Hasil Pelapisan TiO ₂ + Isopropil Alkohol Sampel 3 Ketinggian Penyalaan 10mm	44
Tabel 4.10 Hasil Pelapisan TiO ₂ + Isopropil Alkohol Sampel 1 Ketinggian Penyalaan 24mm	46
Tabel 4.11 Hasil Pelapisan TiO ₂ + Isopropil Alkohol Sampel 2 Ketinggian Penyalaan 24mm	48



Tabel 4.12 Hasil Pelapisan TiO ₂ + Isopropil Alkohol Sampel 3 Ketinggian Penyalaan 24mm.....	50
Tabel 4.13 Hasil Pelapisan TiO ₂ + Karbon Tetraklorida Sampel 1 Ketinggian Penyalaan 10mm.....	54
Tabel 4.14 Hasil Pelapisan TiO ₂ + Karbon Tetraklorida Sampel 2 Ketinggian Penyalaan 10mm.....	56
Tabel 4.15 Hasil Pelapisan TiO ₂ + Karbon Tetraklorida Sampel 3 Ketinggian Penyalaan 10mm.....	58
Tabel 4.16 Hasil Pelapisan TiO ₂ + Karbon Tetraklorida Sampel 1 Ketinggian Penyalaan 24mm.....	60
Tabel 4.17 Hasil Pelapisan TiO ₂ + Karbon Tetraklorida Sampel 2 Ketinggian Penyalaan 24mm.....	62
Tabel 4.18 Hasil Pelapisan TiO ₂ + Karbon Tetraklorida Sampel 3 Ketinggian Penyalaan 24mm.....	64



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Susunan Satu Sel DSSC Layaknya <i>Sandwich</i>	4
Gambar 2.3 Struktur Kristal TiO ₂ (anatase).....	9
Gambar 2.4 Struktur Kristal TiO ₂ (rutil).....	9
Gambar 2.5 Cara Kerja Pelapisan <i>Doctor Blade</i>	11
Gambar 2.6 Cara Kerja <i>Spin Coating</i>	12
Gambar 2.7 Ilustrasi Perbandingan Plasma Dengan Jenis Zat Lain	13
Gambar 2.8 Proses Pembangkitan Plasma.....	14
Gambar 2.9 Magnetron dan Skemanya	17
Gambar 2.10 Diagram Alir Penelitian	19
Gambar 3.1 Alat Pengujian.....	20
Gambar 3.2 Proses Sterilisasi Kaca Menggunakan <i>Ultrasonic Cleaner</i>	21
Gambar 3.3 Stiker <i>Cutting</i> Hitam	21
Gambar 3.4 <i>Magnetic Stirrer</i> Untuk Mengaduk Campuran TiO ₂	22
Gambar 3.5 Skema Ilustrasi Proses Pelapisan TiO ₂ Dengan Metode Plasma	23
Gambar 4.1 Hasil Pelapisan TiO ₂ Dengan Pelarut Organik Methanol	24
Gambar 4.2 Hasil Foto Permukaan Lapisan TiO ₂ + Methanol	26
Gambar 4.3 Hasil Foto Permukaan Lapisan TiO ₂ + Methanol	28
Gambar 4.4 Hasil Foto Permukaan Lapisan TiO ₂ + Methanol	29
Gambar 4.5 Hasil Foto Permukaan Lapisan TiO ₂ + Methanol	32
Gambar 4.6 Hasil Foto Permukaan Lapisan TiO ₂ + Methanol	34
Gambar 4.7 Hasil Foto Permukaan Lapisan TiO ₂ + Methanol	36



Gambar 4.8 Grafik Hasil Pelapisan TiO ₂ + Methanol	37
Gambar 4.9 Hasil Pelapisan TiO ₂ Dengan Pelarut Organik Isopropil Alkohol....	38
Gambar 4.10 Hasil Foto Permukaan Pelapisan TiO ₂ + Isopropil Alkohol	40
Gambar 4.11 Hasil Foto Permukaan Pelapisan TiO ₂ + Isopropil Alkohol	40
Gambar 4.12 Hasil Foto Permukaan Pelapisan TiO ₂ + Isopropil Alkohol	42
Gambar 4.13 Hasil Foto Permukaan Pelapisan TiO ₂ + Isopropil Alkohol	44
Gambar 4.14 Hasil Foto Permukaan Pelapisan TiO ₂ + Isopropil Alkohol	46
Gambar 4.15 Hasil Foto Permukaan Pelapisan TiO ₂ + Isopropil Alkohol	48
Gambar 4.16 Grafik Hasil Pelapisan TiO ₂ + Isopropil Alkohol	51
Gambar 4.17 Hasil Pelapisan TiO ₂ Dengan Pelarut Organik Karbon Tetraklorida	52
Gambar 4.18 Hasil Foto Permukaan Pelapisan TiO ₂ + Karbon Tetraklorida.....	54
Gambar 4.19 Hasil Foto Permukaan Pelapisan TiO ₂ + Karbon Tetraklorida.....	56
Gambar 4.20 Hasil Foto Permukaan Pelapisan TiO ₂ + Karbon Tetraklorida.....	58
Gambar 4.21 Hasil Foto Permukaan Pelapisan TiO ₂ + Karbon Tetraklorida.....	60
Gambar 4.22 Hasil Foto Permukaan Pelapisan TiO ₂ + Karbon Tetraklorida.....	62
Gambar 4.23 Hasil Foto Permukaan Pelapisan TiO ₂ + Karbon Tetraklorida.....	64
Gambar 4.24 Grafik Hasil Pelapisan TiO ₂ + Karbon Tetraklorida.....	65
Gambar 4.25 Grafik Perbandingan Hasil Pelapisan TiO ₂ Untuk Setiap Pelarut Organik dan Perbedaan Ketinggian Penyalaan	66
Gambar 4.26 Hasil Pewarnaan Tanpa Perlakuan.....	67
Gambar 4.27 Hasil Pewarnaan Dengan Perlakuan Plasma.....	68



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Dye Synthesized Solar Cell (DSSC) baru-baru ini telah dikenal secara luas sebagai perangkat *photovoltaic* yang menjanjikan karena biaya pembuatan yang rendah, sifat optic, dan efisiensi tinggi konversi daya (A.Hayat, et al., 2015). Yang terdiri dari substrat kaca konduktif, elektroda semikonduktor logam oksida yang disintesis, elektroda penghitung katalis, dan larutan elektrolit yang disisipkan di antara kedua elektroda. Substrat kaca konduktif harus memiliki konduktifitas listrik yang baik sebagai penyedia wadah untuk penyerapan radiasi matahari dan juga sebagai pengumpul arus listrik (N.A. Karim, et al., 2019)

Ada beberapa logam oksida dengan celah pita konduksi lebih tinggi dari 3 eV yang memiliki ketahanan terhadap *photo-corrosion* dan sifat elektrik yang unggul seperti TiO₂, ZnO, SnO₂, SrTiO₃, Zn₂SnO₄, WO₃, dan Nb₂O₅ (J. Gong, et al., 2012). TiO₂ banyak digunakan sebagai semikonduktor dalam DSSC dikarenakan memiliki konduktifitas termal yang tinggi, stabilitas kimia, biaya rendah, sifat pembawa muatan yang menguntungkan dan transparansi tinggi dalam spectrum surya (S. Umale, et al., 2018).

Pembuatan nanopartikel TiO₂ pada kaca konduktif berperan penting dalam efisiensi sel surya dikarenakan pengaruh dari ketebalan lapisan TiO₂. Metode plasma telah diterapkan secara luas dalam produksi nanopartikel (N. Amaliyah, et al., 2015). Metode oksidasi elektrolit plasma berhasil mencapai kemampuan fotofoltaik tinggi untuk lapisan TiO₂ dengan metode daya denyut dalam kisaran 200 hingga 400 Volt menggunakan NaPO₃ sebagai elektrolit (G. Lin, et al., 2018). Plasma bertekanan atmosfer dengan penguapan bahan uap kimia diaplikasikan pada pelapisan TiO₂ pada plastic transparan.



Struktur *amorphous* tanpa retakan berhasil dibentuk tanpa merusak struktur polimer (H. Nagasawa, et al., 2018).

Dalam penelitian ini, kelayakan lapisan TiO₂ menggunakan metode microwave plasma diteliti dengan berbagai suspensi TiO₂ seperti pelarut organik methanol, isopropyl alcohol dan karbon tetralorida.

I.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi *organic solvent* terhadap kekasaran, ketebalan, dan struktur mikro lapisan TiO₂ dengan metode plasma.
2. Bagaimana pengaruh variasi jarak antara penyalaan plasma dan kaca terhadap kekasaran, ketebalan, dan struktur mikro lapisan TiO₂ dengan metode plasma.
3. Bagaimana melakukan pelapisan pewarna dengan metode plasma

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah:

1. Untuk menganalisis pengaruh variasi *organic solvent* terhadap kekasaran, ketebalan, dan struktur mikro lapisan TiO₂ dengan metode plasma
2. Untuk menganalisis pengaruh variasi jarak antara penyalaan plasma dan kaca terhadap kekasaran, ketebalan, dan struktur mikro lapisan TiO₂ dengan metode plasma
3. Untuk mengetahui bagaimana melakukan pelapisan pewarna dengan metode plasma

I.4 Batasan Masalah

Dalam pelaksanaan penelitian ini penulis membatasi masalah pada hal-hal sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pembangkit plasma sederhana yang dirakit dari komponen oven *microwave* 800W.

pelarut organik yang digunakan adalah methanol, isopropyl alcohol, dan karbon tetraklorida.



3. Pada penelitian ini menggunakan variasi konsentrasi *hydrogen* pada *organic solvent*.
4. Sari akar beet merah (*Beta Vulgaris*) digunakan sebagai bahan pewarna.
5. Pewarnaan menggunakan metode rendaman tanpa perlakuan dan perendaman dengan perlakuan plasma
6. Penyalaan plasma dilakukan selama 2 menit pada pelapisan TiO₂ dan selama 2 menit pada pewarnaan.
7. Variasi ketinggian berada pada 10mm dan 24mm
8. Daya yang digunakan untuk penyalaan plasma sebesar 180V

I.5 Manfaat Penelitian

Manfaat pada penelitian ini terbagi atas 2, yaitu:

I.4.1 Manfaat Bagi Peneliti

Dapat memahami dan mengetahui pengaruh *organic solvent* terhadap pelapisan (*coating*) cairan TiO₂ pada kaca dengan metode plasma. Metode pelapisan menggunakan plasma merupakan metode baru dalam pelapisan TiO₂

I.4.2 Manfaat Bagi Universitas

Memberikan informasi tentang cara melakukan pelapisan (*coating*) TiO₂ pada kaca dengan metode plasma, sehingga kedepannya dapat menjadi referensi mahasiswa dalam penelitian selanjutnya.



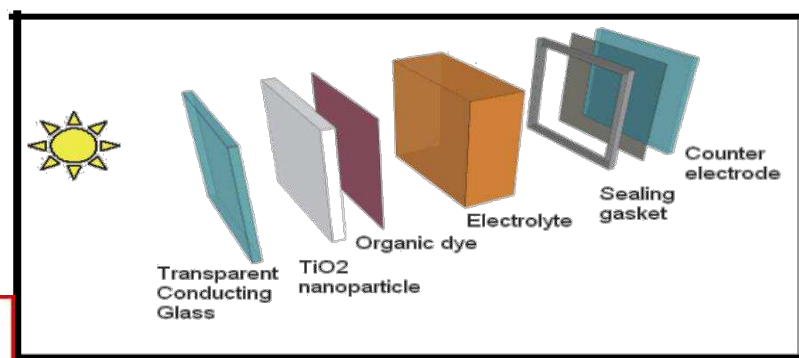
BAB II

LANDASAN TEORI

II.1 DYE Sensitized Solar Cell (DSSC)

Dye sensitized solar cell (DSSC) merupakan sel surya yang tersensitasi oleh zat warna. Sel surya ini dapat mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Gratzel pada tahun 1991 menemukan bahwa TiO_2 (*titanium dioksida*) yang disensitasi oleh *dye* dalam larutan elektrolit dapat menghasilkan arus listrik dengan efisiensi 7,1 %. Hingga saat ini efisiensi maksimal yang berhasil didapatkan yaitu 10 % (Gratzel, 2003). Pengumpulan sinar matahari atau penyerapan cahaya (oleh pewarna) dan proses pengumpulan muatan (oleh semikonduktor) dipisahkan, menirukan penyerapan cahaya alami dalam proses fotosintesis. (Yang Jiao, et al., 2012).

DSSC tersusun dari tiga komponen utama yaitu elektroda kerja (*working electrode*), elektroda lawan (*counter electrode*) dan larutan elektrolit. Elektroda kerja merupakan lapis tipis TiO_2 pada substrat kaca transparan berkonduksi (*Transparent Conductive Oxide*) yang mengadsorpsi zat warna kompleks Ru (II) sebagai *sensitizer*. Sedangkan elektroda lawan pada sel Grätzel berupa substrat kaca transparan berkonduksi yang dilapisi platina (Pt) sebagai katalis reaksi redoks. Larutan elektrolit yang digunakan adalah pasangan redoks I^-/I_3^- dalam pelarut organik. Adapun susunan satu sel DSSC dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2.1. Susunan Satu Sel DSSC Layaknya *Sandwich* (Yang Jiao, et al., 2012).



II.2 Titanium Dioksida (TiO₂)

Titanium dioksida, dikenal juga sebagai titanium (IV) oksida adalah oksida dari titanium, dengan rumus molekul TiO₂. Titanium dioksida ini, mempunyai berat molekul 79,90 g/mol; densitas 4,26 g/cm⁻³. TiO₂ tidak menyerap cahaya tampak tetapi mampu menyerap radiasi UV sehingga dapat menyebabkan terjadinya radikal hidroksil pada pigmen sebagai fotokatalis. terhidrat yang selanjutnya dikalsinasi pada 800°C.

Titanium dioksida (TiO₂) merupakan suatu material yang memiliki berbagai keunggulan baik dari segi sifat fisika maupun sifat kimia. Keunggulan sifat yang dimiliki TiO₂ ini menjadikannya memiliki aplikasi yang sangat luas dalam berbagai bidang. Performa TiO₂ tergantung pada metode sintesis yang berpengaruh terhadap ukuran partikel, kristalinitas, kemurnian, dan komposisi fasa (anatase, brookite, dan rutile). Sehingga perlu pendekatan lebih lanjut untuk mengetahui efektifitas berbagai metode yang digunakan para peneliti dalam melakukan sintesis TiO₂ nanopartikel. Namun, tidak semua rangkuman jurnal yang ada menunjukkan informasi yang detail dan menyeluruh baik dari segi penjabaran metode maupun aplikasi materialnya. Dalam paper ini akan dikaji beberapa metode yang dapat digunakan dalam proses sintesis TiO₂ nanopartikel, diantaranya: metode sol gel, metode hidrotermal, metode hidrolisis, metode *supercritical-drying*, metode pemrosesan dengan larutan basa, *stagnation swirl flame* (SSF), teknik *Solvothermal*, metode biomassa bakteri, dan teknik termolisis. Selain itu, akan dijabarkan juga informasi terkait aplikasi TiO₂ nanopartikel dalam berbagai bidang seperti: *dye sensitized solar cell* (DSSC), fotodegradasi zat warna, antibakterial, komposit logam, komposit polimer, dan degradasi senyawa organik. (Rahman, 2014)

Diantara struktur titanium dioksida tersebut, jenis anatase yang menunjukkan fotoaktifitas yang paling tinggi diantara bentuk kristal lainnya. Oleh karena itu titanium dioksida hanya aktif di bawah sinar ultraviolet (yang gelombang < 400 nm) dengan lebar celah pita 3,2 eV (anatase).



Respon fotokatalis dalam daerah sinar UV di nilai kurang efisien mengingat cahaya matahari sangat melimpah di muka bumi, sehingga TiO₂ di doping dengan logam di harapkan mampu bergeser ke daerah sinar tampak (visible).



Gambar 2.2. Bubuk Titanium Dioksida (TiO₂)

Dengan berbagai keunggulan tersebut, TiO₂ banyak diaplikasikan sebagai:

1. Pewarna dalam industri cat, kertas, dan plastik.
2. Penjernih air.
3. Penghasil hidrogen dari pemutusan ikatan air.
4. Material yang dapat meregenerasi diri.
5. Digunakan dalam degradasi senyawa organik.
6. Digunakan dalam degradasi senyawa beracun.
7. Pembersih dan desinfektan pada permukaan material.
8. Aditif pada banyak aplikasi senyawa.
9. Sensor.
10. Alat optik
11. Penghalau dan penghalang ultraviolet (UV)
12. Antibakteri
13. Fotokatalis
14. Sel surya

biological coating



16. Pembuatan dielektrik tipis *dynamic random access memory* (DRAM)
17. Penguat sifat-sifat polimer
18. Adsorben (Rahman, 2014)

Di alam TiO_2 memiliki beberapa struktur kristal, yaitu: anatase, rutil, dan brookite. Rutil adalah fasa keseimbangan semua suhu. Sedangkan anatase dan brookite adalah fasa metastabil yang dapat diubah menjadi rutil dengan proses pemanasan (Greenwood & Earnshaw, 1994). TiO_2 memiliki beberapa fasa tambahan sebagai bentuk tegangan tinggi, seperti monoklinik baddelite dan orthorombik $\alpha\text{-PbO}_2$ keduanya ditemukan di Ries Crater, Bavaria (Goresy, 2001). Berikut adalah beberapa bentuk modifikasi fasa yang ditunjukkan tabel di bawah ini:

Tabel 2.1 Modifikasi bentuk fasa TiO_2

No.	Bentuk	Sistem Kristal	Sintesis
1	Rutil	Tetragonal	
2	Anatase	Tetragonal	
3	Brookite	Orthorombik	Hidrolisis $\text{K}_2\text{O}_4\text{Ti}_9$ diikuti pemanasan
4	TiO_2 (Baddelite)	Monoklinik	Oksidasi hubungan dari perunggu
5	TiO_2 (hollandite)	Tetragonal	Kalium Titanat, $\text{K}_0.25\text{TiO}_2$
6	TiO_2 (Randellite)	Orthorombik	Oksidasi hubungan dari perunggu
7	TiO_2 (II)- $\alpha\text{-PbO}_2$	Orthorombik	Litium Titanat, $\text{K}_0.5\text{TiO}_2$
8	TiO_2 OI	Orthorombik	
9	Kubik	Kubik	$P > 40$ Gpa, $T > 1600$ °C
10	Contunnite	Orthorombik	$P > 40$ Gpa, $T > 700$ °C

Pada Tabel 2.1, TiO_2 memiliki 8 modifikasi bentuk fasa, diantaranya: anatase, rutil, brookite merupakan fasa yang dapat diproduksi secara sintesis (monoklinik, orthorombik, tetragonal) dan 5 bentuk tekanan tinggi seperti: $\alpha\text{-PbO}_2$, baddelite, cotunnite, orthorombik

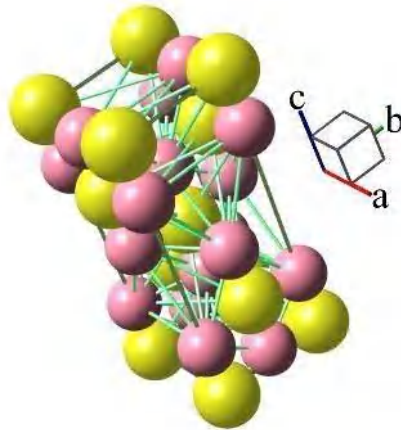


IO, dan fasa kubik.

Rutil dan anatase merupakan fasa yang sering diproduksi. Rutil (rutilus, bahasa Latin berarti merah) memiliki komposisi 10% besi dan sejumlah niobium serta tantalum. TiO_2 struktur rutil dan anatase berukuran nanometer dapat dihasilkan dengan unit sel yang berbentuk tetragonal melalui proses hidrotermal. Perbedaannya hanya terletak pada suhu serta waktu pengovenan (Asrori, et al., 2000).

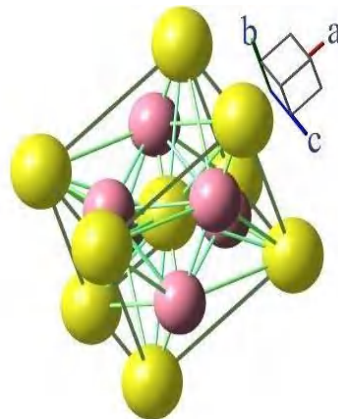
Untuk proses fotokatalisis, struktur anatase lebih bagus karena lebih aktif dibandingkan struktur rutil. Struktur-struktur tersebut dapat digambarkan dengan TiO_6 oktahedral, setiap ion Ti^{+4} dikelilingi oleh enam ion O^{-2} (Fitriana, 2014). Perbedaan dari kedua struktur kristalin terletak pada distorsi struktur oktahedronnya. Pada rutil, struktur oktahedronnya sedikit distorsi orthorombik. Sementara anatase, distorsi jauh lebih besar, sehingga strukturnya asimetris dibandingkan orthorombik. Untuk beberapa aplikasi, rutil lebih sering digunakan karena memiliki sifat fisik yang unik, misalnya berkilau, keras dan tahan terhadap fenomena korosi. Berbeda dengan brookite, strukturnya memiliki simetri yang polimorf dan dapat berubah menjadi rutil pada temperatur sekitar 750°C . Secara umum struktur ini tidak jauh berbeda dengan rutil dan anatase dalam hal massa jenis dan tingkat kekerasan (Stamate, et al., 2008). Bentuk kristal anatase dapat diamati pada pemanasan sol TiO_2 mulai dari suhu 120°C dan mencapai sempurna pada 500°C . Pada suhu 700°C mulai terbentuk kristal rutil dan mulai terjadi penurunan luas permukaan serta pelemahan aktivitas fotokatalisis secara drastis (Tjahjanto & Gunlazuardi, 2001). Untuk melihat lebih jelas lagi perbedaan dari struktur anatase dan rutil dapat dilihat pada Gambar di bawah ini:





Gambar 2.3 Struktur kristal TiO₂ (anatase)

Gambar 2.3 menunjukkan struktur kristal TiO₂ fasa anatase. Ti⁺⁴ ditunjukkan pada bulatan besar yang warna kuning dan O⁻² ditunjukkan pada bulatan kecil yang berwarna ungu. Sifat kristal anatase ini membentuk delapan tetragonal dipiramida berpusat badan dengan nomor *space group* 141.



Gambar 2.4 Struktur kristal TiO₂ (rutil)

Gambar 2.4 menunjukkan struktur kristal TiO₂ fase rutil, Ti⁺⁴ ditunjukkan bulatan besar berwarna kuning dan O₂ oleh bulatan kecil berwarna ungu. Struktur kristal rutil pertama kali ditemukan oleh Burd pada tahun 1916 (Mak & Zhou, 1992). Setiap atom titanium dilingsi oleh 6 atom oksigen pada enam sudut yang teratur dan setiap



atom oksigen dikelilingi tiga atom titanium pada sudut sama sisi dengan nomor *space group* 136.

Perbedaan struktur kristal ini menyebabkan perbedaan densitas dan struktur pita elektronik (Linsebigler, et al., 1995), yang terlihat pada Tabel 2.2:

Tabel 2.2 Perbedaan struktur kristal anatase dan rutil

Faktor Perbedaan	Sistem Kristal	
	Anatase	Rutil
Energi celah/ E_g (eV)	3,2	3
Massa jenis/ ρ (g/cm ³)	3,894	4,25
Jarak Ti-Ti (Å)	3,97 dan 3,04	3,57 dan 2,96
Jarak Ti-O (Å)	1,934 dan 1,980	1,949 dan 1,980

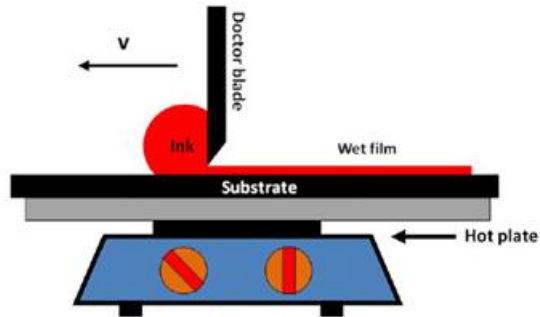
II.3 Proses *Coating*

Ada beberapa metode *coating* yang telah dilakukan untuk melapisi kaca substrak, antara lain:

a. Metode *Doctor Blade*

Doctor blade adalah teknik yang kurang sering dipelajari dalam konteks sel surya organik, meskipun dokter blading adalah teknik yang agak sederhana. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, pisau tajam ditempatkan pada jarak tetap dari permukaan substrat. Lalu tinta dijatuhkan di depan pisau. Dengan menggerakkan blade melintasi substrat dengan kecepatan konstan, film basah tipis dapat disimpan secara merata pada substrat. Ketebalan film basah (WFT) tergantung pada jarak antara pisau dan substrat, serta energi permukaan substrat, tegangan permukaan tinta, dan viskositas tinta. (Tang, 2010).





Gambar 2.5. Cara kerja pelapisan *Doctor Blade* (Tang, 2010).

b. Metode Spray

Metode *spray* menggunakan alat *airbrush* yang tersusun dari jarum, pipa kecil, dan pompa udara. Mekanisme kerjanya diawali dengan proses pembuatan larutan TiO₂. Larutan TiO₂ (0,25 M) dimasukkan dalam tabung *airbrush*, kemudian disemprotkan (*spray*) ke atas substrat TCO dengan tekanan yang cukup tinggi berasal dari kompresor (Mustikasari, 2013).

c. Metode *Slip Casting*

Metode *slip casting* merupakan metode paling murah jika dibandingkan dengan metode yang lainnya. Alat yang digunakan juga mudah ditemukan. Untuk meratakan TiO₂ yang sudah dideposisikan di atas TCO, hanya dibutuhkan *spatula*. Metode ini memiliki ketebalan bergantung pada selotip yang diberikan (Nuryadi, 2011).

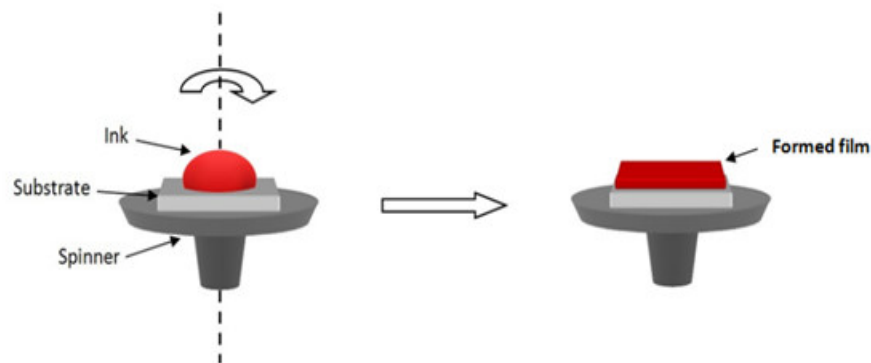
d. Metode *Spin Coating*

Metode *spin coating* merupakan metode yang digunakan untuk meratakan lapisan di atas suatu substrat dengan memanfaatkan gaya semu sentrifugal dengan menggunakan laju putar spin tertentu. Larutan yang digunakan harus homogen (H. Cui, 1993).

Spin coating adalah teknik deposisi yang paling banyak digunakan untuk pengembangan sel surya organik sejauh ini. Pada prinsipnya, cara kerjanya dapat digambarkan sebagai: larutan di letakkan pada substrat yang akan dipercepat ke kecepatan rotasi yang dipilih untuk menyebarkan fluida dengan gaya sentrifugal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Kecepatan sudut substrat dengan larutan di atasnya menimbulkan pelepasan



larutan yang paling banyak diterapkan dan hanya film tipis yang tersisa pada substrat. Ketebalan, morfologi dan topografi permukaan film akhir yang diperoleh dari bahan tertentu dalam pelarut yang diberikan dan pada konsentrasi yang diberikan sangat direproduksi (Krebs, 2009). Sudah umum diakui bahwa teknik pelapisan spin adalah teknik eksperimental yang sangat baik pada skala laboratorium. Namun, untuk komersialisasi teknologi OPV, di mana produksi massal dan skala besar diperlukan, lapisan spin menjadi tidak kompetitif. Beberapa kerugian seperti: ketidaksesuaian dengan teknik pencetakan R2R kesulitan untuk menyimpan film besar, limbah tinta, dll. Membatasi penerapan industri. (Tang, 2010)



Gambar 2.6. Cara kerja *Spin Coating*

Beberapa metode di atas telah digunakan, maka dari itu peneliti berusaha pelapisan dengan menggunakan teknologi plasma dengan memanfaatkan gelombang elektromagnetik dari microwave oven.

II.4 Plasma

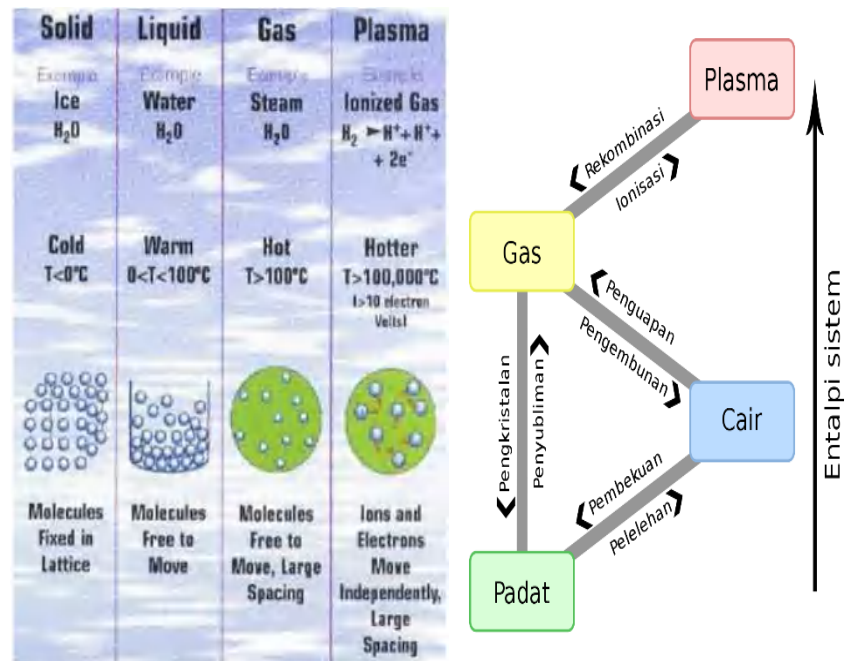
a. Pengertian Plasma

Konsep tentang plasma pertama kali dikemukakan oleh Langmuir dan Tonks pada tahun 1928. Mereka mendefinisikan plasma sebagai gas yang terionisasi dalam lucutan listrik, jadi plasma dapat juga didefinisikan sebagai campuran kuasinetral dari elektron, radikal, ion positif dan negatif. Percampuran antara ion-ion yang bermuatan positif dengan elektron-elektron yang bermuatan negatif memiliki sifat-sifat yang sangat



berbeda dengan gas pada umumnya dan materi pada fase ini disebut fase plasma. Maka secara sederhana plasma didefinisikan sebagai gas terionisasi dan dikenal sebagai fase materi ke empat setelah fase padat, cair, dan fase gas (Nur, 2011).

Suatu gas dikatakan terionisasi jika terdiri dari atom-atom yang terionisasi bermuatan positif (ion) dan elektron yang bermuatan negatif. Pada prinsipnya, karena proses ionisasi membutuhkan energi dalam orde elektron volt untuk melepas elektron, maka dalam membuat plasma harus ditambahkan energi dalam suatu sistem. Penambahan ini bisa dilakukan dengan osilator gelombang mikro (RF) pada ruangan bertekanan rendah. (Konuma dkk, 1992).



Gambar 2.7. Ilustrasi perbandingan plasma dengan jenis zat lain

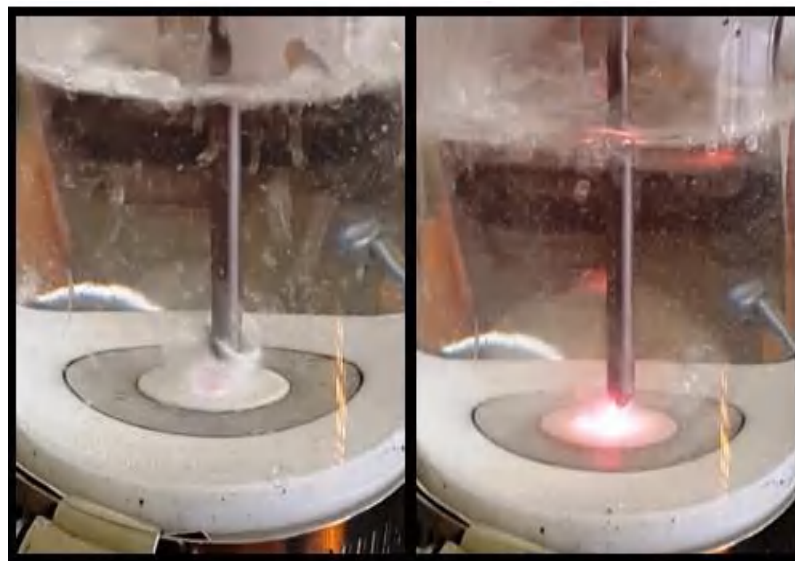
b. Mekanisme Plasma Dalam Cairan

Mekanisme lucutan plasma atau lucutan listrik dalam cairan (terkhusus air) dapat diklasifikasikan ke dalam dua bagian. Bagian pertama mempertimbangkan bahwa plasma atau lucutan listrik dalam air dimulai dari proses terbentuknya gelembung dan proses elektronik yang terjadi



dalam gelembung. Sementara itu bagian kedua, prosesnya dimulai dari lucutan sebagian dan berkembang sampai lucutan penuh (Ade, 2014).

Sesuai pendekatan dari bagian pertama, proses gelembung dimulai dengan gelembung kecil yang terbentuk melalui penguapan cairan dari pemanasan akibat medan listrik yang tinggi pada daerah ujung elektroda. Di dalam gelembung akan terjadi proses elektronika yang mengionisasi atom gas sehingga timbul plasma. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



(a)

(b)

Gambar 2.8. Proses Pembangkitan plasma : (a) Terbentuknya Gelembung dan (b) Terbentuknya Plasma (Nurdin, 2016)

c. Aplikasi *Microwave Oven* Secara Umum dan Komponennya
Gelombang Mikro (*Microwave*) Pembangkit Plasma

Saat ini beberapa peneliti telah beralih ke sumber daya gelombang mikro untuk membangkitkan plasma karena pembangkit gelombang mikro tidak memerlukan peralatan elektroda sehingga dapat menghindari proses kontaminasi. Eksitasi gelombang mikro sangat efisien untuk menghasilkan konsentrasi radikal dan rapat plasma yang tinggi. Di samping itu harga



generator gelombang mikro sebanding dengan generator rf yang biasa digunakan untuk membangkitkan plasma (Sutanto, 2005).

Microwave oven yang konvensional sudah digunakan untuk mengiridiasikan 2.45 GHz *microwave* untuk pembangkitan plasma dalam n-dodecane sebagai heavy hydrocarbon tanpa CO₂ sebagai produk sampingan. Plasma dibangkitkan dalam atau kontak dengan cair untuk performansi suatu proses yang sama dengan plasma dalam gas. Teknik untuk produksi hidrogen telah dilakukan dengan plasma dalam cair. Pembangkitan gelembung mengandung radio frequency (RF) plasma dalam water sudah diinvestigasi untuk produksi hidrogen dan oksigen. Plasma dibangkitkan dalam gelembung dalam air dengan meng-iradiasikan High Frequency melalui elektroda. Air juga berfungsi untuk mendinginkan elektroda selama proses dekomposisi metana berlangsung (Putra, 2013).

d. Aplikasi *Microwave Oven*

Microwave oven adalah *oven* yang menggunakan bantuan *microwave* (gelombang mikro) untuk memasak makanan. Sebenarnya gelombang ini merupakan gelombang radio, tetapi panjang gelombangnya lebih kecil dari gelombang radio biasa. Panjang gelombangnya termasuk ultra-short (sangat pendek) sehingga disebut juga mikro, dari sinilah lahir istilah *microwave*. *Microwave oven* sendiri bisa bekerja begitu cepat dan efisien karena gelombang elektromagnetiknya menembus makanan dan mengeksitasi molekulmolekul air dan lemak secara merata (tidak cuma permukaannya saja). Ini memberi kesan *microwave oven* adalah *oven* pintar yang bisa memilih untuk memasak hanya makanannya saja, bukan wadahnya (Surya, 2010).

Microwave oven memanfaatkan *microwave* atau gelombang mikro. Gelombang mikro adalah salah satu gelombang elektromagnetik dalam spektrum gelombang elektromagnet. Gelombang mikro dapat digunakan sebagai pemanas makanan karena gelombang mikro akan dipantulkan oleh bahan logam seperti baja atau besi yang menjadi bahan dasar dari oven



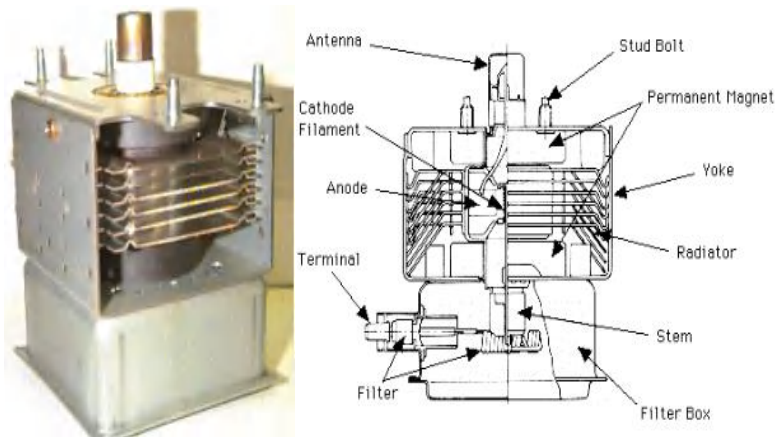
microwave sehingga panas terkurung di dalam. Kedua, gelombang ini dapat menembus bahan non logam tanpa memanaskannya. Terakhir adalah gelombang ini akan diserap oleh air. Secara lebih detail gelombang mikro membuat molekul-molekul yang terdapat pada makanan yang dimasak bergoncang secara acak sehingga menghasilkan gesekan-gesekan antar molekul yang menghasilkan panas (Potter dan Christopher, 2010).

Setiap gelombang elektromagnet membawa sejumlah energi yang dapat diolah untuk keperluan manusia. Panjang masing-masing jenis gelombang elektromagnetik yang berbeda-beda akan mempengaruhi perilaku gelombang jika bereaksi dengan berbagai jenis materi. Perpindahan energi gelombang elektromagnetik dilakukan secara radiasi, yaitu perpindahan yang tidak memerlukan medium perantara (Surya, 2010).

e. Komponen *Microwave Oven*

Di dalam setiap microwave terdapat sebuah magnetron, *waveguide*, dan *Stirrer*. Magnetron adalah sejenis tabung hampa penghasil gelombang mikro. Fungsi magnetron adalah memancarkan gelombang mikro ke dalam microwave. Pada awalnya magnetron dirancang untuk penggunaan radar. Gelombang mikro yang digunakan sama dengan gelombang yang digunakan di dunia telekomunikasi seperti radar, gelombang pemancar stasiun radio, gelombang pemancar stasiun televisi, atau gelombang sinyal handphone. Gelombang mikro sendiri adalah salah satu gelombang radio (Surya, 2010).





Gambar 2.9. Magnetron dan skemanya (Febrian, dkk, 2011).

Waveguide adalah sebuah komponen yang didesain untuk mengarahkan gelombang. Untuk tiap jenis gelombang *waveguide* yang digunakan tidak sama. *Waveguide* untuk gelombang mikro dapat dibangun dari bahan konduktor. *Stirrer* adalah komponen yang menyerupai baling-baling ini digunakan untuk menyebarkan gelombang mikro di dalam microwave oven. Biasanya dikombinasikan dengan sebuah komponen seperti piringan yang dapat diputar pada bagian bawah. Kombinasi ini memungkinkan kecepatan tingkat kematangan yang merata saat memasak (Febrian, dkk, 2011).

