



FABRIKASI MATERIAL FILM TIPIS BERBASIS REAKTOR PLASMA: KAJIAN SIFAT FISIKA DAN POTENSI APLIKASINYA

**Pidato Pengukuhan Profesor
Bidang Ilmu Fisika Terapan
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Semarang**

**Disampaikan pada Upacara Penerimaan Jabatan Profesor
Universitas Negeri Semarang
Rabu, 11 Desember 2019**

Oleh
Putut Marwoto

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**



**FABRIKASI MATERIAL FILM TIPIS BERBASIS REAKTOR
PLASMA: KAJIAN SIFAT FISIKA DAN POTENSI APLIKASINYA**

**Pidato Pengukuhan Profesor
Bidang Ilmu Fisika Terapan
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Semarang**

**Disampaikan pada Upacara Penerimaan Jabatan Profesor
Universitas Negeri Semarang
Rabu, 11 Desember 2019**

Oleh
Putut Marwoto

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**

**FABRIKASI MATERIAL FILM TIPIS BERBASIS REAKTOR
PLASMA: KAJIAN SIFAT FISIKA DAN POTENSI APLIKASINYA**

Putut Marwoto

Penerbit

LPPM UNNES

Gedung Prof. Retno Sriningsih Satmoko
Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229

Hak Cipta © pada penulis dan dilindungi Undang-Undang Penerbitan
Hak Penerbitan pada LPPM UNNES.
Gedung Prof. Retno Sriningsih Satmoko, Kampus UNNES Sekaran, Gunungpati,
Semarang 50229

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh buku ini dalam bentuk apapun tanpa
izin dari penerbit.

FABRIKASI MATERIAL FILM TIPIS BERBASIS REAKTOR PLASMA: KAJIAN SIFAT FISIKA DAN POTENSI APLIKASINYA

Putut Marwoto

Fabrikasi Material Film Tipis Berbasis Reaktor Plasma: Kajian Sifat
Fisika dan Potensi Aplikasinya; Pidato Pengukuhan Profesor Bidang Ilmu
Fisika Terapan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Semarang/Putut Marwoto;
-Cet. 1-illus-Semarang: LPPM UNNES, 2019;
55 hlm.; 14,8 x 21 cm

Keanggotaan IKAPI No. 175/ALB/JTE/2019

ISBN : 978-623-7618-44-7

DAFTAR ISI

1. Pendahuluan	2
2. Reaktor Plasma	3
3. Pengembangan Reaktor <i>Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition</i> (PECVD)	6
4. Fabrikasi Film Tipis a-C:H dengan Reaktor <i>Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition</i> (<i>homemade</i>)	8
5. Pengembangan Reaktor <i>DC Magnetron Sputtering</i>	15
6. Fabrikasi Film Tipis dengan Reaktor <i>DC Magnetron Sputtering</i> (<i>homemade</i>)	18
6.1 Film Tipis <i>gallium oxide</i> (Ga_2O_3)	18
6.2 Film Tipis <i>zinc oxide</i> (ZnO)	21
7. Penutup	31
8. Ucapan Terima Kasih	32
Daftar Pustaka	37
Lampiran	45
Curriculum Vitae	45

**Bismillahirrahmanirrahim,
Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh**

Yang saya hormati,

Rektor Universitas Negeri Semarang,
Wakil Rektor Bidang 1, 2, 3 dan 4 Universitas Negeri Semarang,
Ketua, Sekretaris dan Anggota Senat Akademik Universitas Negeri Semarang,
Segenap unsur pimpinan tingkat Fakultas, Pascasarjana, Biro, Lembaga, Badan, dan Jurusan di lingkungan Universitas Negeri Semarang,
Para dosen dan Tenaga Kependidikan di lingkungan Universitas Negeri Semarang
Para tamu undangan, teman sejawat, seluruh keluarga dan hadirin yang berbahagia

Pada kesempatan yang berbahagia ini, perkenankanlah saya mengajak untuk memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan hidayah-Nya, sehingga kita dapat hadir di Gedung Prof. Wuryanto (Auditorium) Universitas Negeri Semarang dalam keadaan sehat walafiat dan membahagiakan ini. Saya sampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada hadirin yang telah berkenan hadir dalam upacara pengukuhan professor/guru besar ini.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya saya sampaikan kepada Rektor Universitas Negeri Semarang, **Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum** yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk menyampaikan pidato pengukuhan dalam rangka penerimaan jabatan professor kepada saya dalam **Bidang Ilmu Fisika Terapan**, bidang yang telah saya tekuni selama ini.

Dalam rangka mengawali jabatan akademik sebagai guru besar/profesor di bidang fisika terapan, pada kesempatan ini perkenankan saya akan menyampaikan orasi ilmiah yang berjudul: “**Fabrikasi Material Film Tipis Berbasis Reaktor Plasma: Kajian Sifat Fisika dan Potensi Aplikasinya**”

1. Pendahuluan

Hadirin yang saya hormati,

Fisika merupakan salah cabang sains yang paling tua dan pada awalnya dikembangkan oleh para filsuf zaman purba seperti Thales, Heraklitos, Demokritos, Plato dan Aristoteles (Rosyid *et al.*, 2009). Fisika merupakan ilmu yang paling mendasar dari semua cabang sains yang berurusan dengan perilaku dan struktur materi (Hasan, 1997). Archimedes (287-212 SM) telah memberikan pembelajaran kepada kita bahwa fisika merupakan upaya untuk menemukan keteraturan alam (Rosyid *et al.*, 2009).

Berdasarkan tujuannya, secara umum dapat dikatakan bahwa fisika dapat diklasifikasi menjadi dua bagian besar, yaitu **fisika murni** dan **fisika terapan**, yang masing-masing mempunyai karakteristik yang berbeda dalam bidang kajiannya (Rosyid *et al.*, 2009). Fisikawan yang bekerja pada bidang fisika murni melakukan riset untuk memahami perilaku gejala alam dalam rangka mengembangkan fisika itu sendiri sehingga terbangun suatu model mengenai gejala alam. Fisikawan yang bekerja pada fisika terapan melakukan riset dengan tujuan memahami berbagai perilaku alam yang berhubungan dengan pemanfaatannya bagi kehidupan manusia.

Sebagai bagian dari fisika terapan, bidang fisika material merupakan salah satu kajian yang telah saya tekuni selama ini, khususnya kajian tentang material film tipis (*thin films*), terutama dalam teknik penyediaan (fabrikasi) dan kajian sifat-sifat fisiknya. Film tipis

merupakan lapisan yang sangat tipis dari bahan organik, anorganik, metal maupun campuran metal-organik yang memiliki sifat-sifat konduktor, semikonduktor maupun isolator (Sudjatmoko, 2003). Film tipis merupakan material dengan ketebalan dalam orde nanometer atau mikrometer. Oleh karena itu material ini tersusun atas beberapa lapis atom saja. Karena cukup tipis, material ini akan mengalami perubahan sifat dibandingkan dengan material asalnya, misalnya resistivitas (hambatan jenis) film tipis material semikonduktor akan berbeda dengan semikonduktor curah (*bulk semiconductor*).

Dalam teknologi, material film tipis semikonduktor misalnya, telah diterapkan antara lain sebagai sel surya (*solar cell*), piranti semikonduktor (*semiconductor device*), penyalut (*coating*)(sebagai anti refleksi), baterai film tipis (*thin films battery*), panel paparan mendatar (*flat display panel*) sampai ke dalam aplikasi di bidang farmasi. Terdapat berbagai teknik fabrikasi film tipis yang dikembangkan, dan secara garis besarnya dibagi menjadi dua bagian, yaitu secara *chemical vapour deposition* (CVD) dan secara *physical vapour deposition* (PVD) (misalnya metode *vapour deposition*). Sementara itu, teknik deposisi yang menggunakan reaktor berbasis plasma atau reaktor *glow discharge* merupakan metode deposisi yang biasa dilakukan dalam penyediaan film tipis. Plasma juga digunakan dalam reaktor CVD dan biasa disebut reaktor *plasma enhanced chemical vapour deposition* (PECVD). Dalam proses PVD, plasma juga digunakan pada reaktor *sputtering*. Reaktor PECVD dan reaktor *sputtering* telah biasa digunakan dalam skala laboratorium maupun skala industri.

Hadirin yang terhormat,

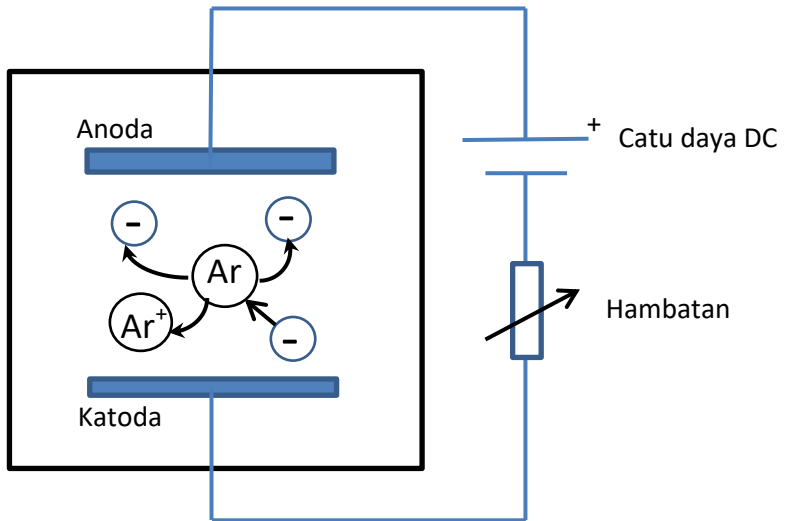
2. Reaktor Plasma

Plasma dapat dipandang sebagai fase ke empat setelah fase padat, cair dan gas (Nicholson, 1983; Grill, 1993). Plasma bersifat hampir netral dan

terdiri atas kumpulan partikel bebas berupa elektron dan ion (Watson, 1974). Partikel-partikel di dalam plasma akan bergerak secara bebas dan rambang (Lieberman dan Licerberg, 1994). Elektron merupakan muatan pembawa yang dominan dalam plasma karena mempunyai massa yang lebih ringan dibandingkan dengan massa ion. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa plasma terdiri atas “lautan” elektron bebas, sedangkan ion positif dan negatif seperti halnya spesies netral tenggelam di dalamnya (Jemmer, 1999). Namun demikian, secara rerata plasma mempunyai muatan listrik netral sehingga plasma dianggap bersifat kuasi-netral (Shohet, 1971).

Istilah plasma pertama kali digunakan oleh Langmuir pada tahun 1929 untuk menjelaskan keadaan gas yang terionisasi (Nicholson, 1983; Grill, 1993). Plasma dapat terbentuk apabila gas dipanaskan pada suhu yang sangat tinggi, sehingga elektron di dalam atom atau molekul-molekul gas dapat tereksitasi dan menghasilkan ion. Sebagai contoh, untuk mengionkan atom cesium (Cs) diperlukan suhu hingga 4000 K, sedangkan untuk mengionkan gas helium (He) diperlukan suhu hingga 20.000 K. Plasma yang terdiri atas partikel-partikel bersuhu tinggi ini disebut sebagai **plasma termal** (Konuma, 1991; Grill, 1993).

Plasma juga dapat terbentuk melalui proses lucutan ketika gas bertekanan rendah dikenakan medan listrik. Pada proses tersebut, gas akan mengalami peluruhan sehingga terionisasi secara lemah dan menghasilkan plasma tanpa suhu yang tinggi. Plasma jenis ini biasa dikatakan sebagai **plasma dingin** (Konuma, 1991; Grill, 1993). Medan listrik yang digunakan dapat berupa medan listrik arus tetap (*direct current* atau DC) atau medan listrik arus bolak-balik. Medan listrik statis untuk menghasilkan plasma biasanya beroperasi dalam beberapa ratus volt dengan arus beberapa miliampere, sedangkan medan listrik bolak-balik (AC) yang digunakan dapat berfrekuensi tinggi atau rendah.



Gambar 1. Skema reaktor plasma DC dengan elektron yang dipercepat oleh medan listrik di antara dua elektroda (katoda dan anoda)

Frekuensi tinggi yang digunakan biasanya berupa frekuensi radio (RF). Selain itu, lucutan plasma juga dapat dihasilkan dari gelombang mikro (*microwave*).

Secara sederhana, struktur reaktor plasma DC dapat digambarkan sebagai sebuah kapasitor seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Gas yang bertekanan rendah (misalkan gas argon) yang berada di antara dua keping elektroda (katoda dan anoda) akan terionisasi ketika diberi medan listrik. Karena pengaruh medan listrik, elektron yang awalnya berada di sekitar katoda akan dipercepat menuju anoda. Ketika elektron bergerak menuju anoda, kemungkinan akan bertumbukan dengan atom lain sehingga akan menghasilkan ion dan elektron. Medan listrik akan mempercepat masing-masing spesies sehingga ion akan menuju katoda sedangkan elektron akan menuju katoda. Tumbukan antara elektron dengan atom-atom yang lain dapat menyebabkan proses ionisasi

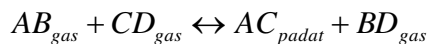
berikutnya. Demikian berlangsung terus menerus sepanjang terdapat medan listrik di antara ke dua elektroda tersebut. Ion-ion yang bertumbukan dengan elektron dapat menyebabkan elektron kembali ke keadaan dasar dengan melepaskan energi dalam bentuk foton, sehingga menghasilkan *glow discharge*.

Hadirin yang terhormat,

3. Pengembangan Reaktor *Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition* (PECVD)

Sebelum diuraikan tentang reaktor plasma enhanced chemical vapour deposition (PECVD), di bagian awal ini akan diuraikan tentang metode atau reaktor *chemical Vapour Deposition* (CVD). Reaktor CVD didefinisikan sebagai metode fabrikasi bahan yang dihasilkan melalui proses reaksi dalam fase gas untuk menumbuhkan film padatan di atas permukaan substrat (Jansen dan Kern, 1991; Hess, 1996). Metode CVD dapat digunakan untuk menyediakan film dengan ketebalan yang seragam, komposisi dan stoikiometri yang terkontrol, densitas dan kemurnian yang tinggi, kelekatan yang baik, derajat kesempurnaan struktur yang tinggi dengan sifat mekanik, optik dan elektronik yang baik (Hess, 1996).

Pada proses CVD, beberapa jenis gas akan menghasilkan material padatan dan kemudian terdeposisi di atas substrat. Reaksi kimia dalam proses CVD dapat diungkapkan dalam (Konuma, 1992)



Dalam proses ini berlangsung reaksi termal pada suhu tinggi. Material padatan (film tipis) yang terbentuk biasanya terdeposisi di atas substrat yang dipanaskan. Berbagai faktor, seperti: suhu substrat, komposisi campuran gas, kadar aliran gas, dan tekanan total gas dapat divariasikan untuk menghasilkan material dengan karakteristik yang berbeda (Manage, 1998).

Proses CVD pada umumnya berlangsung pada suhu tinggi agar terjadi reaksi kimia. Plasma dapat digunakan untuk membantu mengaktifkan proses reaksi kimia. Plasma membantu proses pemecahan molekul gas sehingga reaksi kimia dapat berlangsung pada suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan proses CVD (Roosnagel, 1991). Proses tersebut didefinisikan sebagai *plasma enhanced chemical vapour deposition* (PECVD) (Manage, 1998).

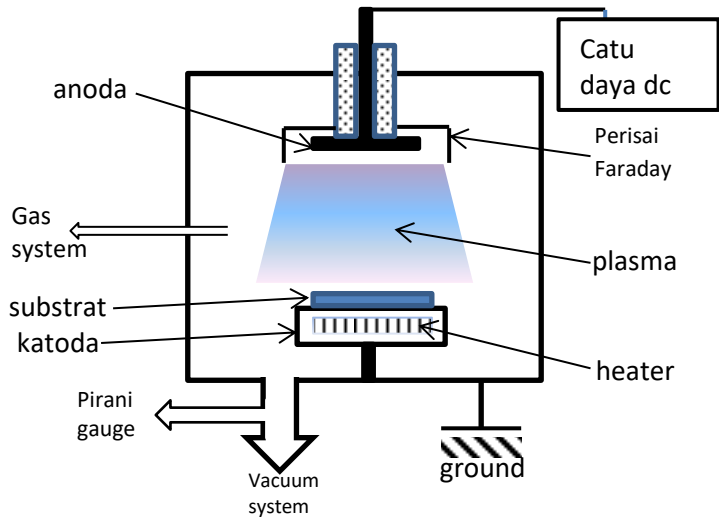
Pada reaktor PECVD, tegangan listrik yang tinggi dapat menghasilkan plasma yang terdiri atas ion, elektron dan spesies yang tereksitasi. Atom atau molekul yang tereksitasi di dalam plasma akan bergabung kembali menghasilkan *glow discharge* (Jansen, 1997; Luft dan Tsuo, 1993). Oleh karena itu, reaktor PECVD juga dapat disebut sebagai reaktor *glow discharge* (Luft dan Tsuo, 1993).

Teknik PECVD merupakan teknik pembentukan film tipis dengan mengeksitasi satu spesies agar bereaksi dengan spesies yang lain. Pembentukan plasma dingin biasanya berlangsung pada tekanan rendah dalam julat 0,1 mtorr – 10 torr (Jansen, 1977). Keadaan plasma pada sistem PECVD bergantung pada variable mikroskopik plasma seperti: komposisi gas, kadar aliran gas, daya listrik dan frekuensi catu daya. Dalam sistem PECVD, daya atau arus dari catu daya akan berpengaruh pada besaran arus dan tegangan di antara elektroda, sedangkan komposisi campuran gas dapat berpengaruh pada reaksi kimia di dalam reaktor plasma dan sifat akhir film. Kecepatan reaksi dipengaruhi oleh parameter seperti komposisi campuran gas, tekanan total di dalam reaktor dan daya listrik. Laju reaksi juga dipengaruhi oleh jarak antar elektroda, Beda potensial listrik dan suhu substrat juga akan berpengaruh pada film yang difabrikasi. Parameter seperti kadar aliran gas, tekanan total dan geometri reaktor dapat menentukan keseragaman proses. Kadar aliran gas, laju pemvakuman dan tekanan reaktor merupakan parameter-parameter yang saling terkait. Mekanisme reaksi yang terjadi dalam pembentukan film tipis pada reaktor PECVD sangat kompleks dan sulit dijelaskan (Konuma, 1992).

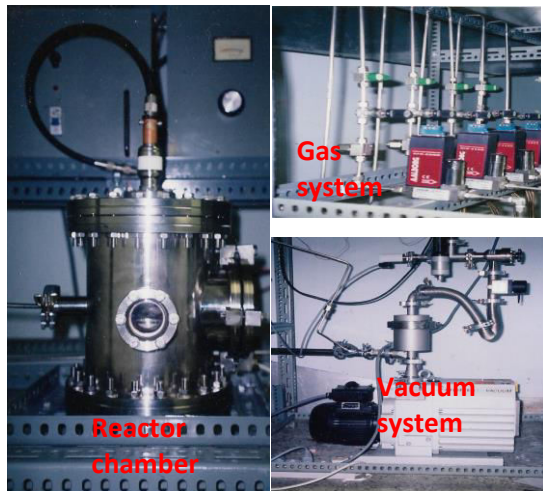
Hadirin yang terhormat,

4. Fabrikasi Film Tipis a-C:H dengan Reaktor *Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition (homemade)*

Dalam rangka studi program doktor yang saya jalani, saya telah mengembangkan sistem reaktor *plasma enhanced chemical vapour deposition* arus searah (DC PECVD) di Makmal Vakum (*Vacuum Laboratory*), Jabatan Fizik, Fakulti Sains, Universiti Teknologi Malaysia (UTM) untuk fabrikasi karbon amorf terhidrogenasi (a-C:H) (Marwoto, 2004). Skema reaktor PECVD yang dirancang bangun ditunjukkan pada Gambar 2, sedangkan Gambar 3 menunjukkan foto reaktor yang telah dirancang bangun. Pada umumnya, sumber arus DC dengan daya tinggi telah digunakan untuk fabrikasi film tipis a-C:H (Chan, 1977; Manage, 1998; Sagnes, 1998; Sarangi *et al.*, 2000a; Sarangi *et al.*, 2000b). Daya tinggi dapat menghasilkan laju deposisi film a-C:H yang tinggi, namun dapat meningkatkan suhu substrat (Benmassoud dan Paynter, 1996). Daya tinggi juga mengakibatkan terjadinya struktur kolom (*columnar structure*) sehingga film menjadi tak homogen (Knight dan Lujan, 1979). Terbentuknya struktur kolom pada film mengakibatkan film memiliki sifat elektronik yang kurang baik (Luft dan Tsuo, 1993). Untuk menghindari peningkatan suhu substrat selama proses deposisi film dan terjadinya struktur kolom, telah dikembangkan reaktor DC PECVD dengan daya rendah (Marwoto, 2004). Namun demikian, daya rendah bagi reaktor DC PECVD dapat mengakibatkan pembentukan plasma menjadi tidak efisien bagi reaktor dengan sistem elektroda taksimetri. Oleh karena itu untuk meningkatkan efisiensi pembentukan plasma telah digunakan elektroda dengan struktur perisai Faraday seperti yang dengan struktur perisai Faraday seperti yang digunakan dalam reaktor *sadle field fast atom beam source* (Sarangi, *et al.*, 2000a).

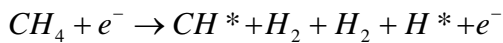


Gambar 2. Skema reaktor DC PECVD



Gambar 3. Reaktor DC PECVD yang dirancang bangun di Jabatan Fizik Universiti Teknologi Malaysia (Marwoto, 2004).

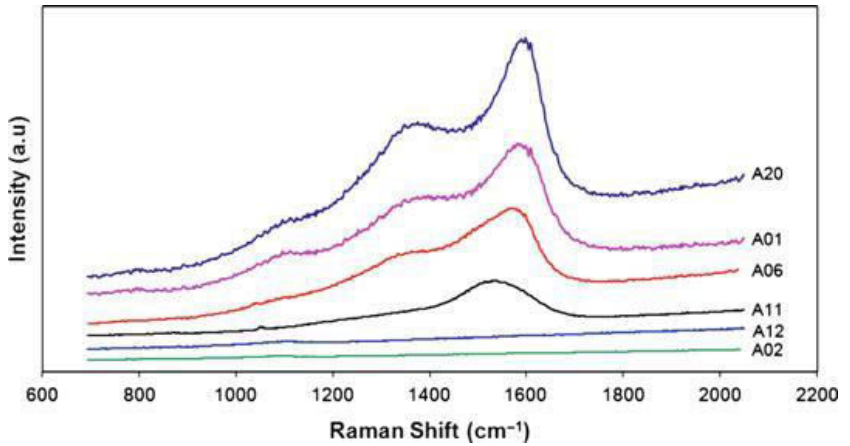
Film tipis karbon amorf terhidrogenasi (a-C:H) merupakan material yang menarik untuk dikaji karena sifat-sifatnya yang unik. Material ini mempunyai sifat yang mirip dengan intan (Fang *et al.*, 2001; Mokuno *et al.*, 2002), yaitu mempunyai kekerasan yang tinggi, koefisien gesekan yang rendah, dan stabil seperti intan. Material a-C:H terdiri dari jaringan yang berstruktur amorf, dengan atom-atom karbon yang berstruktur tetrahedral seperti intan atau heksagonal seperti grafit (Sagnes, 1998). Material a-C:H merupakan salah satu jenis dari *diamond-like carbon* (DLC). Material tersebut dapat difabrikasi pada suhu yang lebih rendah daripada suhu fabrikasi intan, dapat difabrikasi pada suhu kamar, dan dapat ditumbuhkan di atas substrat kaca (Robertson dan Milne, 1998). Namun demikian, DLC masih mempunyai sifat yang ekstrim seperti kekerasan, modulus kekenyalan, afinitas elektron yang negatif dan inert secara fisika maupun kimia seperti halnya pada intan (Robertson 2002). Untuk mendapatkan film tipis a-C:H dalam reaktor PECVD, digunakan gas hidrokarbon, misalnya metana (CH₄), C₂H₂ dan C₂H₆ (Robertson 2002) dan gas argon (Ar) sebagai gas *precursor*. Jika digunakan gas metana, terjadi proses reaksi yang disebabkan oleh tumbukan elektron yang berasal dari gas argon yang teeksitasi. Beberapa proses yang reaksi yang terjadi diungkapkan oleh Mutsukura, *et al.*(1992) antara lain sebagai berikut.



Pada gas bertekanan rendah, tumbukan antara elektron dan spesies netral merupakan tumbukan utama dalam plasma. Namun demikian, reaksi sekunder seperti reaksi spesies netral dengan spesies netral dan tumbukan antara ion dengan molekul juga dapat terjadi.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa film tipis a-C:H telah berhasil ditumbuhkan di atas substrat kaca (corning) dari campuran gas CH₄ (metana) dan gas Ar (argon) sebagai *precursor* dengan menggunakan reaktor DC PECVD yang telah dirancang-bangun.

Karakterisasi struktur film yang dihasilkan dilakukan dengan spektrometer Raman. Ciri khas terbentuknya film a-C:H dapat ditunjukkan dengan munculnya dua puncak utama, yaitu di sekitar 1580 cm^{-1} (puncak *G*) dan di sekitar 1350 cm^{-1} (puncak *D*) pada spectrum Raman. Hasil karakterisasi dengan spektroskopi Raman ditunjukkan pada Gambar 4 untuk berbagai daya plasma. Tabel 1 menunjukkan posisi puncak *G*, puncak *D*, rasio intensitas puncak *D* terhadap intensitas puncak *G* (I_D/I_G) masing-masing sampel.



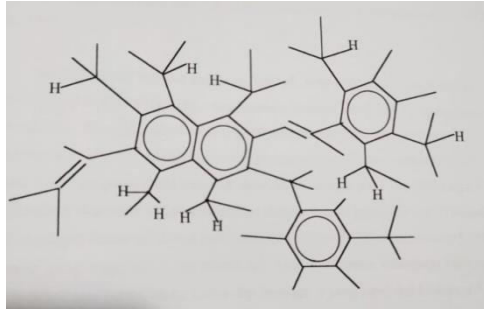
Gambar 4. Spektrum Raman film tipis yang difabrikasi pada daya plasma yang berbeda (Suriani *et al.*, 2010).

Tabel 1. Posisi puncak *G* dan puncak *D* dan rasio dan rasio I_D/I_G masing-masing sampel yang dideposisikan pada daya plasma yang berbeda (Suriani et.al 2010)

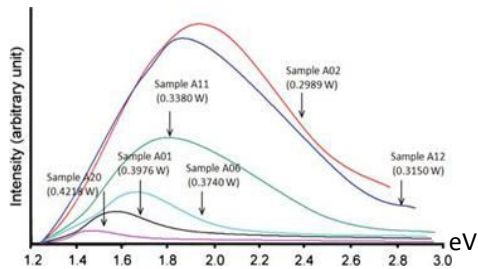
Sampel	Daya plasma (W)	Puncak-G (cm ⁻¹)	Puncak-D (cm ⁻¹)	I_D/I_G
A20	0,4218	1598	1361	0,88
A01	0,3976	1588	1356	0,76
A06	0,3740	1576	1340	0,66
A11	0,3380	1540	1355	0,42
A12	0,3150	0	0	0
A02	0,2989	0	0	0

Bergesernya puncak *G* pada bilangan gelombang yang lebih besar menunjukkan peningkatan kluster pada film (Robertson, 2002), sedangkan peningkatan rasio I_D/I_G dan posisi puncak *G* diakibatkan oleh terbentuknya struktur grafit pada film yang dihasilkan (Zhang *et al.*, 2002). Sampel A02 dan A12 yang masing-masing ditumbuhkan pada daya 0,2989 watt dan 0,3150 watt tidak menunjukkan terjadinya puncak *G* dan puncak *D*. Spektum Raman yang diperoleh ini bersesuaian dengan hasil analisis dengan spektrometer FTIR (Suriani *et al.*, 2010).

Ikatan hidrogen pada a-C:H kemungkinan dapat membentuk grup ikatan CH, CH₂ atau CH₃ dan pada karbon dapat terbentuk ikatan hibrida sp³, sp² atau sp¹. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa ikatan hidrogen, rasio ikatan sp³/sp², *cluster size* ikatan sp², struktur mikro dan permukaan film bergantung pada kondisi deposisi (Marwoto, 2004). Menurut model Robertson (2002), bahwa karbon amorf merupakan kluster sp² yang tenggelam dalam matriks ikatan sp³. Skema kluster sp² dalam jaringan a-C:H ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema kluster sp^2 di dalam jaringan a-C:H (Robertson, 2002)



Gambar 6. Spektrum fotoluminensi film a-C:H untuk berbagai kondisi deposisi (Suriani *et al.*, 2010)

Spektrum photoluminescence (PL) telah dilaporkan untuk film a-C: H yang difabrikasikan. Menurut Rusli *et al.* (1995), intensitas spektrum PL dapat diasosiasikan sebagai jumlah ikatan berjungai (*dangling bond*) dalam film. Ikatan berjungai terjadi karena terputusnya ikatan C-H. Penurunan intensitas PL menunjukkan konsentrasi ikatan menjungai yang tinggi karena berkurangnya jumlah ikatan hidrogen yang terikat pada atom karbon. Spektrum PL yang diperoleh dari sampel a-C: H yang difabrikasi pada daya yang berbeda, dari 0,2989 hingga 0,4218 W

menggunakan DC-PECVD ditunjukkan pada Gambar 6. Tampak bahwa seluruh sampel memancarkan spektrum PL warna merah dengan perubahan signifikan dalam intensitas PL dan sedikit pergeseran puncak spektrum (*red shift*). Ketika struktur dalam a-C: film H bergerak dari *polimer-like* (daya rendah) ke struktur grafit-like (daya tinggi), maka intensitas PL-nya menurun yang disertai dengan pergeseran merah puncak PL, karena puncaknya bergeser dari 1,93 ke 1,42 eV. Sampel A02 (0,2989 watt) menunjukkan nilai energi puncak PL tertinggi pada 1,93 eV, karena mengandung gugus ikatan sp^2 yang lebih kecil dibandingkan dengan sampel lain. Berdasarkan eksperimen dapat dikatakan bahwa film a-C:H berhasil difabrikasi dengan metode dc-PECVD dan berpotensi sebagai pemancar cahaya pada daerah warna merah.

Selanjutnya, atas keberhasilan dalam mengembangkan sistem reaktor PECVD pada Jabatan Fizik Universiti Teknologi Malaysia, melalui skema *Researcher Assistant* (R.A.) saya memperoleh tugas mengembangkan reaktor PECVD untuk deposisi film karbon nano di *Advanced Membrane Research Unit* (AMRU), Fakulti Kejuruteraan Kimia dan Sumber Asli (FKKSA), Universiti Teknologi Malaysia (Azni M. Yaakob et.al 2004). Melalui skema *Inviting Researcher*, reaktor tersebut berhasil saya selesaikan pada tahun 2007 dan memenangi medali emas pada *Industrial Art and Technology Exhibition* (INATEX) yang diselenggarakan oleh Universiti Teknologi Malaysia pada tahun 2008. Gambar 7 menunjukkan reaktor PECVD yang telah dirancang-bangun. Tim peneliti dari AMRU UTM, telah melaporkan keberhasilannya dalam fabrikasi karbon *nanofibre* (CNF) dengan menggunakan reaktor PECVD yang dikembangkan (Saidin *et al.*, 2012).



Gambar 7. Reaktor DC PECVD yang dirancang bangun di *Advanced Membrane Research Unit (AMRU)*, Fakulti Kejuruteraan Kimia dan Sumber Asli (FKKSA), Universiti Teknologi Malaysia.

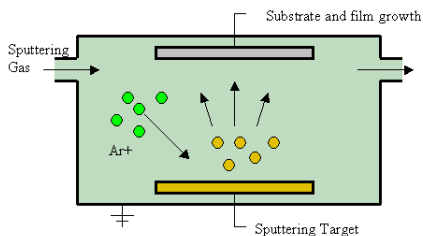
Di antara berbagai jenis nanomaterial, karbon nanotube (CNTs) dan karbon nanofibers (CNFs) telah menarik perhatian karena sifat mekanik, listrik, termal, optik, dan sifat strukturnya. Sifat-sifat CNT dan CNF yang sangat baik ini menjadikannya kandidat yang ideal untuk berbagai aplikasi seperti penghasil pemancar *field emission displays*, *biosensor* dan *chemical sensor*, material *hydrogen storage*, aplikasi sel surya, dan sebagai sensor gas beracun. Luas permukaannya yang relatif besar menjadikan CNT atau CNF menarik untuk aplikasi elektrokimia, seperti elektroda sel bahan bakar dan superkapasitor.

Hadirin yang terhormat,

5. Pengembangan Reaktor *DC Magnetron Sputtering*

Dalam fisika, sputtering dapat dijelaskan sebagai fenomena terhamburnya partikel-partikel mikroskopis material padatan (atom atau ion) dari permukaannya, setelah material itu tertumbuk oleh partikel-partikel berenergi tinggi yang berasal dari plasma. Atom-atom yang

terhambur akibat tumbukan akan menuju ke segala arah, termasuk pada substrat dan membentuk film tipis (Wirjoadi *et al.*, 2007). Proses sputtering biasanya dilakukan dalam reaktor vakum untuk mengurangi pengaruh tumbukan dengan atom oksigen. Gambar 8 menunjukkan skema proses sputtering. Jika digunakan gas argon, ion Ar^+ yang berenergi tinggi akan mendominasi proses tumbukan dengan material target. Tumbukan antara ion dengan target mengakibatkan atom-atom target yang tertumbuk akan terpental dan terhambur dari permukaannya dan sebagian akan terdeposisi di atas substrat.

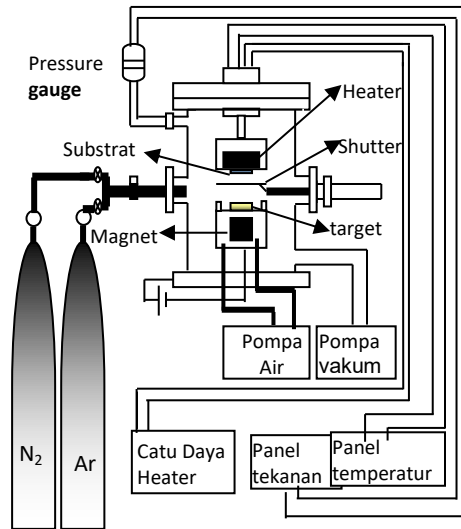


Gambar 8. Proses sputtering pada permukaan target
https://en.wikipedia.org/wiki/Sputter_deposition

Di antara teknik deposisi film tipis yang telah dikembangkan, teknik deposisi dengan *dc magnetron sputtering* dianggap mampu menghasilkan film tipis yang lebih baik. Selain itu, teknik sputtering memberi keuntungan, yaitu lebih mudah dan sederhana dalam pengamatan dan pengendalian ketebalan film yang akan difabrikasi, dan pertimbangan kuatnya daya adhesi antara film dan substrat.

Pada Laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang telah dikembangkan reaktor *DC Magnetron Sputtering* (homemade). Gambar 9 menunjukkan skema reaktor, sedangkan Gambar 10 menunjukkan foto reaktor sputtering yang dirancang bangun di Laboratorium Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang. Reaktor tersebut dibangun melalui dana Penelitian Skema Hibah Kemitraan oleh Dr. Sugianto dan kawan-kawan di sekitar tahun 2000 dan kemudian dilengkapi dengan skema

hibah bersaing pada tahun berikutnya. Meskipun belum sempurna, karena keterbatasan dana operasional, reaktor *DC Magnetron Sputtering* telah berhasil digunakan untuk deposisi film tipis CdTe (Marwoto *et al.*, 2012; Marwoto *et al.*, 2013), film tipis Ga₂O₃ (Marwoto *et al.*, 2012). Beberapa tahun terakhir, secara intensif telah digunakan untuk fabrikasi film tipis ZnO (Sulhadi *et al.*, 2019; Astuti *et al.*, 2018; Marwoto *et al.*, 2016a; Marwoto *et al.*, 2016b; Sulhadi *et al.*, 2015; Marwoto *et al.*, 2015; Marwoto *et al.*, 2014)



Gambar 9. Skema reaktor dc magnetron sputtering



Gambar 10. Reaktor Sputtering yang dirancang bangun (inzet: *reactor chamber*)

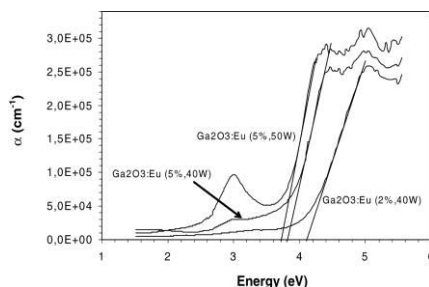
Hadirin yang saya hormati,

6. Fabrikasi Film Tipis dengan Reaktor *DC Magnetron Sputtering* (*homemade*)

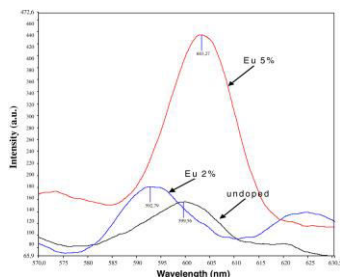
Film Tipis *gallium oxide* (Ga_2O_3). Film tipis Ga_2O_3 telah berhasil difabrikasi pada substrat silicon (100) pada suhu 600°C dengan laju deposisi $\sim 3,3$ nm/menit menggunakan reaktor *DC magnetron sputtering* (Marwoto *et al.*, 2007). Aliran oksigen selama penumbuhan film dapat meningkatkan kualitas kristal film Ga_2O_3 . Ketika ion-ion argon menumbuk molekul target Ga_2O_3 , ikatan Ga-O dapat terputus sehingga menimbulkan kecacatan struktural. Oleh karena itu penambahan aliran oksigen pada proses sputtering dapat membantu memenuhi kekurangan oksigen, sehingga mencegah terjadinya kecacatan struktural. Namun

demikian, tekanan parsial oksigen yang berlebihan dapat menyusutkan kualitas kristal Ga_2O_3 . Hal ini terjadi karena atom-atom oksigen dari aliran gas oksigen yang berlebihan dapat berikatan kembali dengan oksigen pada film tipis Ga_2O_3 sehingga dapat merusak struktur kristal film yang ditumbuhkan.

Pengaruh kondisi deposisi pada bandgap film tipis Ga_2O_3 yang ditumbuhkan di atas substrat kaca corning dengan doping Eu telah diinvestigasi (Marwoto *et al.*, 2012). Spektrum absorpsi optik sebagai fungsi energi foton film $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ ditunjukkan pada Gambar 11. Ketika film Ga_2O_3 didoping Eu 2% pada daya 40 watt tampak adanya tepi absorpsi pada energi $\sim 3,8$ eV yang berkaitan adanya transisi *band-to-band*. Pada film Ga_2O_3 yang didoping Eu 5% dengan daya 40 watt, tepi absorpsi teramati pada energi sekitar 2,1 eV dan 3,5 eV. Pada saat daya plasma ditingkatkan hingga 50 watt, spektrum menunjukkan adanya tepi absorpsi yang lebih jelas pada energi sekitar 2,4 eV (daerah warna hijau) dan 3,5 eV (daerah UV) dengan puncak absorpsi di sekitar 3 eV. Munculnya tepi pita 2,1 eV dan 2,4 eV pada film $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ (5%) yang ditumbuhkan dengan daya 40 dan 50 watt menunjukkan terjadinya ekor pita (*band tail*) pada *band gap*. Keadaan pada ekor pita ini bersifat terlokalisasi (Robertson, 2002). Meskipun bersifat hipotesis, dalam kasus ini diduga bahwa ekor pita dapat terjadi karena terdapat kecacatan yang diakibatkan oleh kehadiran doping Eu yang berlebihan. Gejala ini menegaskan bahwa kehadiran doping Eu 5% mengakibatkan terbentuknya struktur amorf pada film yang ditumbuhkan.



Gambar 11. Pengaruh kondisi penumbuhan pada bandgap film tipis Ga_2O_3 doping Eu (Marwoto *et al.*, 2012)



Gambar 12. Pengaruh doping Eu pada spektrum PL film tipis Ga_2O_3 (Marwoto *et al.*, 2012)

Gambar 12 menunjukkan hasil karakterisasi film tipis $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Eu}(2\%)$ dan $\text{Ga}_2\text{O}_3(5\%)$ dengan spektrometer fotoluminisensi (PL) dengan eksitasi pada panjang gelombang 203 nm. Sebagai referensi, spektrum PL film tipis $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Eu}(2\%)$ dan $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Eu}(5\%)$ yang diperoleh telah dibandingkan dengan spektrum film Ga_2O_3 tanpa doping. Ketiga jenis film dieksitasi dengan panjang gelombang 203 nm. Masing-masing film memancarkan spektrum PL pada warna merah. Spektrum PL pada Gambar 12 menunjukkan puncak pada panjang gelombang 599 nm ($\sim 2,1$ eV) untuk film $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Eu}(2\%)$, 593 nm ($\sim 2,1$ eV) untuk film Ga_2O_3 tanpa doping, dan 602 nm ($\sim 2,06$ eV) untuk $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Eu}(5\%)$. Film tipis $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Eu}(5\%)$ menunjukkan intensitas paling kuat dengan puncak pada panjang gelombang 602 nm (2,06 eV). Intensitas PL film yang didoping Eu (2%) mempunyai intensitas relatif lebih tinggi dibandingkan dengan intensitas PL film tanpa doping. Semakin banyak doping Eu yang terdapat dalam film tipis Ga_2O_3 maka intensitas luminesensi film juga meningkat. Kondisi ini menunjukkan bahwa bertambahnya fraksi mol Eu dapat meningkatkan luminesensi. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa intensitas emisi bergantung pada kadar doping Eu.

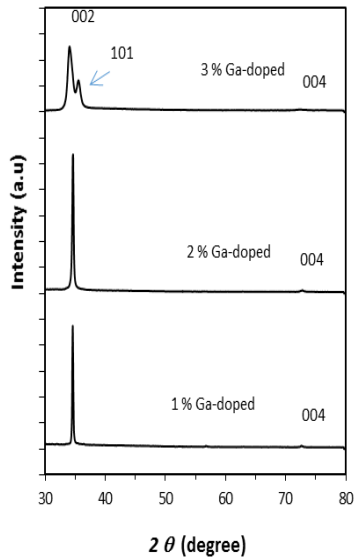
Meskipun tidak signifikan, kehadiran doping Eu 2% telah menggeser puncak PL menuju panjang gelombang yang lebih pendek. Hal ini menunjukkan kecenderungan terjadinya fenomena *blueshift*. Namun ketika doping Eu ditambahkan menjadi 5% menunjukkan kecenderungan terjadinya fenomena *redshift*, yaitu puncak PL bergeser ke arah panjang gelombang yang lebih panjang. Terjadinya pergeseran puncak energi PL kemungkinan disebabkan oleh distorsi kekisi dan terjadi relaksasi pembawa muatan ke dalam keadaan *deep gap states* sebelum proses rekombinasi berlangsung.

Sejauh ini, bahan galium oksida (Ga_2O_3) telah menarik perhatian, karena selain bersifat semikonduktor juga menunjukkan sifat transparan pada daerah panjang gelombang ultraviolet sampai 280 nm sehingga sangat berpotensi untuk aplikasi devais optoelektronik generasi baru sebagai *transparent conductive oxide* (TCO) pada daerah ultraviolet (Hosono et

al., 2002). Bahan Ga₂O₃ mempunyai titik lebur yang tinggi, sehingga stabil pada temperatur tinggi dan konduktivitasnya bergantung pada lingkungan atmosfer sehingga seringkali dimanfaatkan sebagai sensor gas. Karena mempunyai konstanta dielektrik tinggi maka Ga₂O₃ berpotensi diaplikasikan untuk piranti elektronik sebagai bahan pasivasi *gate* pada transistor efek medan (MOSFET). Ga₂O₃ juga mempunyai sifat luminesensi yang baik sehingga berpotensi untuk devais TFEL (*thin film electroluminesence*) sebagai *display* di ruang terbuka. Berdasarkan hasil analisis dengan spektrometer PL, film tipis Ga₂O₃ yang didoping Eu yang difabrikasi dengan *homemade dc magnetron sputtering* berpotensi sebagai sumber cahaya warna merah. Hal ini menegaskan bahwa film tipis yang difabrikasi masih menunjukkan adanya kecacatan struktural.

Film tipis zinc oxide (ZnO). Film tipis ZnO telah berhasil ditumbuhkan di atas substrat kaca corning dengan dc-magnetron sputtering pada suhu kamar dengan daya plasma yang divariasikan (Marwoto *et al.*, 2014). Pola difraksi *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa film yang difabrikasi pada daya plasma 30 dan 40 watt mempunyai struktur polikristal, sedangkan film yang difabrikasi pada daya 20 watt berstruktur amorf.

ZnO merupakan bahan semikonduktor yang memiliki bandgap yang lebar dengan aplikasi yang luas di bidang elektronik dan optoelektronik. Selain itu, material ZnO berharga murah dan non-toksik dan tersedia melimpah di alam. Akan tetapi ZnO mempunyai kelemahan, yaitu dapat mengalami penurunan konduktivitas listrik yang disebabkan terjadinya proses resapan kimia (*chemisorption*) gas oksigen pada permukaan film tipis ZnO. Unsur-unsur golongan III seperti B, In, Al dan Ga biasa digunakan sebagai doping untuk meningkatkan konduktivitas ZnO (Fang *et al.*, 2010). Di antara bahan doping, galium (Ga) merupakan bahan yang paling menjanjikan karena mempunyai beberapa keuntungan, yaitu atom Ga mempunyai jejari (~1,92 Å) yang hampir sama dengan atom Zn (1,97 Å), sehingga hanya menyebabkan deformasi kekisi yang kecil meskipun konsentrasi Ga tinggi.

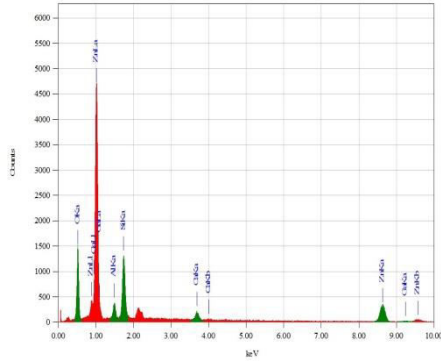


Gambar 13. Pola XRD film tipis ZnO yang difabrikasi dengan konsentrasi Ga yang divariasikan (Marwoto *et al.*, 2016b)

Gambar 13 menunjukkan spektrum XRD dari film tipis ZnO:Ga dengan konsentrasi Ga yang berbeda (% berat) dengan puncak (002) yang kuat dan puncak (004) yang lemah teramati untuk semua sampel. Dimensi kristal sudut 2θ sepanjang sumbu-c adalah 34,57, 34,44, dan 34,05 untuk konsentrasi 1, 2, dan 3% Ga. Posisi puncak ini menunjukkan bahwa struktur kekisi dengan orientasi (002) tidak bergantung pada konsentrasi Ga. Namun, film yang difabrikasi dengan konsentrasi 3% Ga menunjukkan puncak (101) yang lemah. Pola spektrum menunjukkan bahwa semua film yang difabrikasi berstruktur polikristalin dengan struktur *wurtzite* dan memiliki orientasi dalam arah sumbu-c yang tegak lurus terhadap substrat. Fase Ga_2O_3 tidak ditemukan pada pola XRD film ZnO:Ga yang difabrikasi. Hal ini menunjukkan bahwa kehadiran atom Ga cenderung menggantikan atom Zn yang kosong.

Pola XRD juga menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi Ga berpengaruh pada intensitas difraksi. Intensitas puncak difraksi (002) meningkat ketika konsentrasi Ga ditambah dari 1% menjadi 2%. Namun, ketika konsentrasi Ga 3%, intensitas puncak (002) menurun secara signifikan, namun puncak (001) menjadi teramati. Puncak (001) tidak teramati pada film ZnO:Ga dengan konsentrasi Ga masing-masing 1% dan 2%. Penurunan intensitas puncak (002) dan puncak (001) menunjukkan terjadinya degradasi struktural film. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah atom Ga yang berlebihan dalam konfigurasi kristal ZnO menyebabkan penurunan derajat kristal film. Peningkatan konsentrasi Ga dalam kristal ZnO akan meningkatkan gaya tolak yang timbul dari muatan ekstra positif Ga^{3+} , kemudian menyebabkan sedikit deformasi kekisi dan gangguan pada kristal ZnO sebagai material *host* (Yang *et al.*, 2006).

Untuk menguji kandungan Ga dalam film ZnO telah dilakukan karakterisasi sampel film tipis ZnO dengan doping Ga 2% dengan menggunakan *electron dispersive X-ray (EDX) spectroscopy* dan spektrumnya ditunjukkan pada Gambar 14. Spektrum EDX film tipis yang difabrikasi menunjukkan komposisi elemen-elemen oksigen (O) 29,43 %, seng (Zn) 51,90 %, dan galium (Ga) 2,95 %, sedangkan dalam bentuk senyawa diperoleh ZnO 64,59 % dan Ga_2O_3 3,96 %. Hasil uji ini menunjukkan bahwa film yang difabrikasi merupakan film tipis ZnO dengan doping Ga.



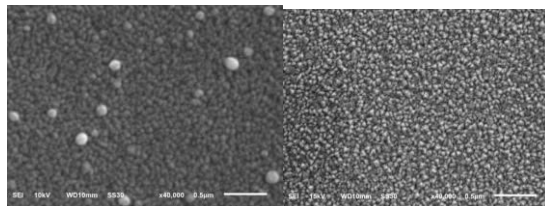
Gambar 14. Spektrum EDX sampel fim tipis ZnO:Ga (Marwoto *et al.*,2014)

Pola XRD film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan pada tekanan 400 mtorr dengan suhu deposisi masing-masing 350°C dan 450°C telah dilaporkan (Marwoto et al 2014). Kedua film menunjukkan puncak difraksi yang bersesuaian pada bidang (002) dari struktur ZnO heksagonal, yang menunjukkan bahwa pertumbuhan butiran-butiran (grain) tegak lurus pada permukaan substrat dengan intensitas relatif yang bergantung pada temperatur. Peningkatan suhu dari 350°C ke 450°C berpengaruh secara signifikan pada pola spektrum film ZnO:Ga yang difabrikasi. Film ZnO:Ga yang ditumbuhkan pada suhu 450°C menunjukkan intensitas yang lebih rendah dibandingkan film yang ditumbuhkan pada suhu 350°C. Puncak-puncak difraksi yang bersesuaian pada bidang (100), dan pada bidang (101) dan (004) yang lemah tampak pada film ZnO:Ga yang ditumbuhkan pada suhu 450°C.

Struktur kristal film tipis ZnO dengan doping Al yang ditumbuhkan dengan *dc magnetron sputtering* juga telah dikaji (Aryanto *et al.*, 2014). Pola spektrum XRD menunjukkan bahwa intensitas puncak bidang (110) meningkat dan puncak bidang (100), (002) dan (101) turun ketika film didoping dengan Al. Terjadi pergeseran sudut 2θ intensitas puncak ke nilai yang lebih besar ketika film tipis ZnO didoping Al. Pergeseran ke sudut 2θ yang lebih besar dikarenakan perbedaan jarak ion dari

Al^{3+} (0,54 Å) dan Zn^{2+} (0,74 Å). Variasi pada nilai 2θ dari puncak bidang (100) dan (110) dikarenakan ion Al^{3+} menggantikan ion Zn^{2+} pada struktur film tipis ZnO.

Analisis pola XRD dari ZnO: Ga(2%) film difabrikasi pada substrat kaca corning dengan tekanan argon yang berbeda telah dilakukan (Marwoto *et al.*, 2016a). Semua film menunjukkan struktur kristal tipe *wurzite* dengan puncak (002) yang kuat dan puncak (004) yang lemah. Namun, film yang difabrikasi pada tekanan gas argon 400 dan 550 mtorr memiliki puncak (101) yang lemah. Film tipis ZnO:Ga yang difabrikasi mempunyai fase polikristalin dengan orientasi puncak sepanjang bidang (002). Pola XRD yang diperoleh menunjukkan bahwa intensitas difraksi meningkat dengan meningkatnya tekanan argon. Puncak (002) film ZnO:Ga yang difabrikasi pada tekanan 550 mtorr argon menunjukkan intensitas difraksi tertinggi.



(a)

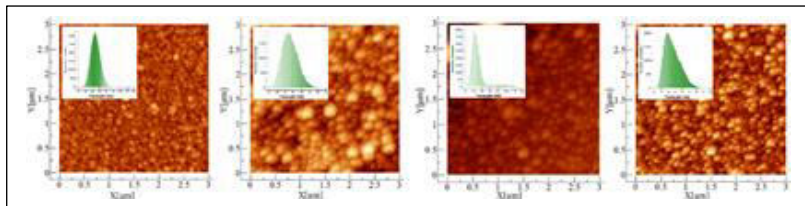
(b)

Gambar 15. Citra SEM film ZnO yang ditumbuhkan pada suhu deposisi: (a) 350°C dan (b) 450°C.

Analisis terhadap permukaan film tipis ZnO:Ga telah dilakukan dengan *scanning electron microscope* (SEM) (Marwoto, *et al.*, 2014; Marwoto *et al.*, 2016a). Gambar 15 memperlihatkan struktur morfologi film tipis ZnO:Ga yang diobservasi dengan menggunakan SEM. Film yang ditumbuhkan dengan suhu 350°C menunjukkan permukaan film yang kasar dengan ukuran butiran (*grain size*) berdiameter ~100 nm dengan

susunan yang rapat. Pada permukaan film tersebut tampak butiran-butiran yang tersebar tidak merata, agak menonjol dan berwarna lebih terang dengan ukuran butir lebih besar berdiameter ~150 nm. Butiran-butiran tersebut kemungkinan terbentuk dari molekul-molekul Ga₂O₃ atau ion-ion Ga³⁺ yang menggerombol dan membentuk *cluster* dengan jejari ~100 nm.

Pengaruh tekanan argon pada morfologi film tipis ZnO: Ga juga diamati dengan menggunakan mikroskop SEM. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa tekanan argon memiliki pengaruh besar pada struktur permukaan film ZnO:Ga (Marwoto *et al.*, 2016a). Film tipis ZnO:Ga yang difabrikasi pada 450 mtorr menunjukkan permukaan yang halus dan seragam dengan diameter ~ 50 nm. Morfologi permukaan film yang difabrikasi pada tekanan 500 mtorr mempunyai diameter butiran ~100 nm. Ukuran butir cenderung meningkat dan bentuk butir cenderung berubah dari butir kasar menjadi butir yang memanjang (*elongation*) ~ 150 nm ketika tekanan argon ditingkatkan dari 500 menjadi 550 mtorr.



Gambar 16. AFM images dan profil topografi film tipis ZnO pada suhu fabrikasi 27°C, 100°C, 200°C dan 300°C (Aryanto *et al.*, 2016)

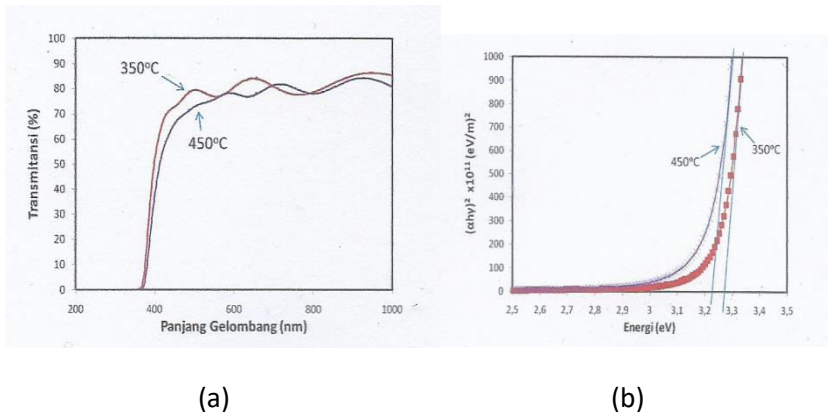
Analisis terhadap morfologi permukaan film juga dilakukan dengan *atomic force microscope* (AFM) (Aryanto *et al.*, 2016). AFM image dan profil topografi pemindaian 3 × 3 μm² sebagai fungsi dari berbagai suhu fabrikasi ditampilkan pada Gambar 16. Tampak bahwa morfologi permukaan film mengalami transformasi dengan meningkatnya suhu deposisi. Nilai akar rerata kekasaran permukaan (RMS) dapat ditentukan

masing-masing sebesar 7,05 nm, 9,54 nm, 17,05 nm, dan 5,67 nm untuk film tipis ZnO dengan suhu fabrikasi 27 ° C, 200 ° C, 300 ° C dan 400 ° C. Perubahan kekasaran permukaan disebabkan oleh perbedaan ukuran butir yang terdeposisi pada permukaan untuk suhu yang berbeda. Gambar 16 (c) dan Gambar 16 (d), menunjukkan bahwa ukuran butir yang lebih besar terbentuk pada permukaan dan derajat kekasaran permukaan lebih tinggi dari sampel lainnya. Hasil ini dikonfirmasi oleh profil topografi. Butir yang lebih besar diidentifikasi pada permukaan dengan ukuran kisaran 50-60 nm dan 60-120 nm untuk film tipis ZnO yang didapatkan masing-masing pada suhu 200 ° C dan 300 ° C. Peningkatan ukuran butir terbentuk di permukaan ketika suhu deposisi meningkat dari 27 °C menjadi 300 °C. Hasil sebaliknya ditunjukkan pada suhu pertumbuhan 400 °C, butirannya menjadi lebih kecil (2-35 nm) dan merata di seluruh permukaan. Hal Ini menyebabkan film memiliki permukaan yang relatif lebih halus dibandingkan dengan sampel lainnya. Peningkatan suhu deposisi memberikan kontribusi pada proses difusi atom yang terserap pada substrat dan mempercepat migrasi atom ke posisi energi yang sesuai.

Kajian terhadap sifat optik film tipis ZnO yang ditumbuhkan pada suhu kamar telah dilakukan. Film tipis ZnO yang ditumbuhkan pada suhu kamar menunjukkan transmitansi optik sebesar 76 – 92% dengan bandgap sebesar 3,10 dan 3,20 eV masing-masing untuk film yang difabrikasi pada daya plasma 40 dan 30 watt (Marwoto *et al.*, 2014). Pengaruh suhu deposisi terhadap sifat optik film tipis ZnO:Ga juga telah dilakukan (Marwoto *et al.*, 2014). Transmitansi film tipis ZnO:Ga sebagai fungsi panjang gelombang dalam range antara 200 – 1000 nm telah diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-vis diperlihatkan dalam Gambar 17(a). Hasil eksperimen menunjukkan bahwa suhu fabrikasi berpengaruh pada transmitansi film tipis ZnO:Ga. Transmitansi optik film yang dideposisikan pada suhu 350°C mencapai 85%. Nilai transmitansi ini sama dengan transmitansi ITO dan ZnO:Ga yang ditumbuhkan dengan *rf magnetron-sputtering*. Film tipis ZnO:Ga yang ditumbuhkan pada suhu 350°C mempunyai transmitansi optik yang lebih

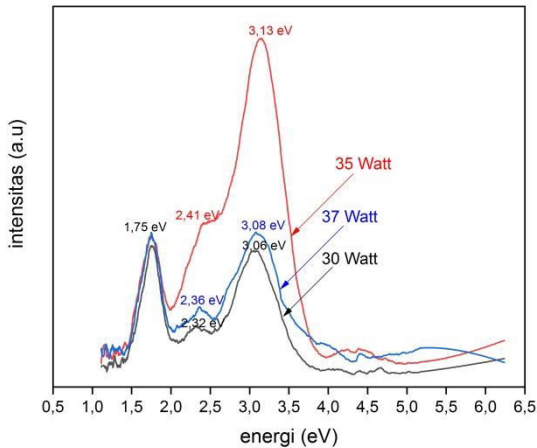
tinggi dibandingkan dengan transmitansi film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 450°C. Hal ini terjadi karena film yang dideposisikan pada suhu 450°C mempunyai kualitas kristal yang lebih rendah dan kerapatan yang lebih tinggi dibandingkan film ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 350°C. Hasil ini konsisten dengan pola spektrum XRD dan SEM film ZnO:Ga yang difabrikasi.

Energi bandgap (E_g) film tipis ZnO:Ga yang ditumbuhkan masing-masing pada suhu 350°C dan 450°C diperlihatkan pada Gambar 17(b). Nilai E_g diperoleh dengan melakukan plotting α^2 vs $h\nu$ (α = koefisien absorpsi dan $h\nu$ = energi foton) dan mengekstrapolasi kurva plotting tersebut. Perpotongan garis lurus hasil ekstrapolasi dengan sumbu energi menghasilkan energi bandgap film tipis ZnO:Ga yang difabrikasi. Gambar 17(b) menunjukkan bahwa film tipis ZnO:Ga yang ditumbuhkan pada suhu 350°C mempunyai energi bandgap ~3,27 eV, sedangkan film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 450°C mempunyai energi bandgap ~3,23 eV. Dengan demikian, lebar energi bandgap berkurang ketika suhu fabrikasi ditingkatkan dari 350°C menjadi 450°C. Energi bandgap yang diperoleh dalam eksperimen lebih kecil dibandingkan dengan energi bandgap ZnO tanpa doping (~3,3 eV). Hal ini diduga karena memendeknya konstanta kekisi-*c* dan spasi kekisi-*d* sebagaimana ditunjukkan pada hasil analisis spektrum XRD yang diperoleh.



Gambar 17. (a) Transmittansi film tipis ZnO:Ga yang difabrikasi pada suhu 350°C dan 400°C, dan (b) Energi bandgap film tipis yang difabrikasi pada suhu 350°C dan 400°C (Marwoto *et al.*, 2014)

Selanjutnya, sifat luminisensi film tipis ZnO:Ga yang difabrikasi dengan daya plasma yang divariasikan telah dianalisis dengan menggunakan spektrometer fotoluminisensi (PL). Gambar 18 menunjukkan spektrum PL film tipis masing-masing difabrikasikan pada daya 30, 35 dan 37 watt. Seluruh sampel menunjukkan spektrum dengan tiga puncak, yaitu masing-masing pada ~1,75 eV, ~2,40 dan ~3,1 eV yang bersesuaian pada warna merah, hijau dan violet. Intensitas PL pada 3,1 eV terjadi karena lebar bandgap film tipis ZnO ~3,1 eV. Puncak-puncak pada 1,75 eV dan 2,40 eV menunjukkan bahwa PL yang terjadi tidak hanya terjadi karena transisi dari pita valensi ke pita konduksi saja, tetapi kemungkinan dapat terjadi karena adanya kecacatan struktur sehingga mengakibatkan adanya *band tail* pada band gap film ZnO yang difabrikasi.



Gambar 18. Spektrum PL film tipis yang difabrikasi dengan daya plasma masing-masing 30, 35 dan 37 watt.

Intensitas optimum diperoleh ketika film tipis ZnO:Ga difabrikasi pada daya plasma 35 watt. Namun demikian, hasil ini menunjukkan bahwa film tipis ZnO:Ga berpotensi sebagai pemancar cahaya untuk warna merah, hijau dan violet dengan intensitas PL tertinggi untuk daya plasma 35 watt. Astuti *et al.*(2019) telah melaporkan bahwa film tipis ZnO:Al yang difabrikasi dengan daya plasma 33 watt, menunjukkan spektrum PL dengan dua puncak, yaitu puncak di kawasan ungu ~ 3,2 eV dan puncak lainnya berada di kawasan cahaya tampak berpusat di ~3,05 eV.

ZnO sangat potensial diaplikasikan sebagai elektroda transparan dalam teknologi fotovoltaik, piranti elektroluminisensi dan material piranti pemancar ultraviolet. Dalam teknologi sel surya, material film tipis ZnO telah diupayakan sebagai *transparent conducting oxide* (TCO). Material TCO yang banyak digunakan adalah *indium tin oxide* (ITO). Material ITO memiliki sifat fisika yang baik dan TCO sangat sesuai diaplikasikan pada sel surya, sebab dari segi transmitansi, band gap yang lebar dan

konduktivitas listrik yang tinggi. ITO memiliki nilai transparansi ~80%, resistivitas $2,36 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$ (Patel *et al.*, 2010) dengan band gap ~ 3,7 eV (Tuna *et al.*, 2010). Namun demikian, ITO memiliki kelemahan yaitu merupakan material yang secara ekonomi relatif mahal dan mempunyai stabilitas yang rendah. Film tipis ZnO yang kami kembangkan, dari segi transmitansi dan band gap cukup memadai sebagai material TCO. Eksperimen yang telah dilakukan menunjukkan bahwa resistivitas film tipis ZnO yang difabrikasi dengan dc magnetron sputtering masih berkisar antara $5,75 \times 10^2 - 4,75 \times 10^4 \Omega\text{cm}$ (Sulhadi *et al.*, 2015), sedangkan resistivitas film tipis ZnO:Al menunjukkan nilai $6,280 \times 10^7 \Omega\text{cm}$ (Aryanto *et al.*, 2014).

Hadirin yang saya hormati,

7. Penutup

Sebagai penutup orasi ini, saya ingin menekankan, bahwa fabrikasi film tipis berbasis reaktor plasma, baik PECVD maupun sputtering, sifat-sifat fisika film tipis yang diperoleh bergantung pada parameter fabrikasi film. Secara saintifik masih banyak hal yang masih menantang, perlu dikaji dan dikembangkan sehingga dapat diperoleh material film tipis yang memadai kualitasnya sesuai dengan tujuan penerapannya. Misalnya, untuk material film tipis ZnO sebagai TCO, meskipun dari sisi transmitansi dan energi band gap cukup memadai, pengembangan sifat konduktivitasnya harus dikaji terus-menerus hingga diperoleh parameter yang tepat untuk memperoleh nilai konduktivitas yang ideal. Kajian dapat dilakukan, sebagai contoh, dengan memberikan *treatment* pada sampel pasca deposisi.

Selanjutnya, meskipun berfokus pada penelitian film tipis, saya dan kawan-kawan staf pengajar di jurusan fisika yang tergabung dalam kelompok peminatan kajian fisika material telah mengembangkan kajian selaras dengan visi Universitas Negeri Semarang sebagai universitas konservasi dan bereputasi internasional. Kajian-kajian itu antara lain

tentang material komposit seperti karbon sebagai material gesek (*friction materials*) (Sutikno *et al.*, 2010; Sutikno *et al.*, 2011) yang diterapkan sebagai kampas rem ramah lingkungan dalam rangka pengembangan teknologi hijau. Kajian terhadap *carbon-dots* (Aji *et al.*, 2018; Marwoto *et al.*, 2019) juga telah dilakukan, sebagai salah satu bentuk solusi *recycle* sampah plastik. Demikian juga kajian terhadap pemanfaatan sampah daun juga telah dilakukan (Khoiri *et al.*, 2018). Selain itu, publikasi bersama dengan *Nanotechnology Research Centre, Faculty of Science and Mathematics*, Universiti Pendidikan Sultan Idris telah menghasilkan beberapa kertas kerja tentang pengembangan *graphene* (Suriani *et al.*, 2018, Suriani *et al.*, 2019a, Suriani *et al.*, 2019b) yang diterapkan sebagai *photoanode, dye-sensitized solar cells photovoltaic, nanofiltration membrane for dye rejection*. Meskipun dengan berbagai keterbatasan, kajian-kajian itu dilakukan untuk “mengejar mimpi besar” saya dan kawan-kawan, di masa yang akan datang dapat menghasilkan karya-karya riset yang berkualitas tinggi, sehingga dapat memberikan kontribusi yang maksimal pada reputasi Universitas Negeri Semarang. Dengan demikian kita benar-benar dapat mewujudkan cita-cita, yaitu UNNES mendunia untuk Indonesia, menjadi *world class university* dan mewujudkan UNNES sebagai rumah ilmu pengembang peradaban. Amin.

Hadirin yang saya hormati,

8. Ucapan Terima Kasih

Saya menyadari bahwa keberhasilan dalam mencapai jabatan professor/guru besar ini karena ridla Allah swt, dan atas bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, sebelum saya mengakhiri pidato ini, perkenankanlah saya menyampaikan ucapan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah berperan dalam pencapaian jabatan professor/guru besar di bidang ilmu fisika terapan pada Universitas Negeri Semarang. Pada kesempatan ini, perkenankan saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Pemerintah Republik Indonesia melalui Menteri Riset, Teknologi dan pendidikan Tinggi (Menristekdikti) (2014 – 2019) (Prof. Drs. M. Nasir, M.Si, Akt., Ph.D), Direktur Jenderal Sumber Daya Iptek Dikti (Prof. Dr. dr. Ali Gufron), Direktur Karier dan Kompetensi Sumber Daya Manusia (Prof. Dr. Bunyamin Maftuh, M.Pd., M.A.) beserta seluruh jajarannya yang telah menetapkan saya dalam jabatan profesor/guru besar.
2. Rektor Universitas Negeri Semarang, Prof Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Wakil Rektor Bidang I, II, III dan IV yang telah mengusulkan dan memperjuangkan saya pada jabatan profesor.
3. Ketua Senat Akademik Universitas Negeri Semarang, Prof. Dr. Susanto, M.Pd, Sekretaris beserta seluruh anggota senat Akademik Universitas Negeri Semarang yang telah berkenan membahas dan menyetujui usulan saya pada jabatan profesor.
4. Ketua Majelis Profesor Universitas Negeri Semarang, Prof. Dr. Mungin Eddy Wibowo, M.Pd dan para Anggota Majelis Profesor yang telah mendukung usulan saya pada jabatan profesor.
5. Prof. Dr. Retmono (Alm), sebagai Rektor IKIP Semarang, yang telah mengizinkan saya untuk studi lanjut S2 Fisika di ITB (1988), meskipun dalam status CPNS.
6. Ketua Tim Penilai Angka Kredit (PAK) Jabatan Profesor Universitas Negeri Semarang, Prof. Dr. Achmad Slamet, M.Si (Alm) beserta seluruh anggota tim PAK.
7. Dekan FMIPA Universitas Negeri Semarang (ketika proses pengusulan), Prof. Dr. Zaenuri, S.E., Akt., M.Si, dan Dekan FMIPA UNNES sekarang, Dr. Sugianto, M.Si dengan seluruh Wakil Dekan, Senat FMIPA UNNES dan Tim PAK FMIPA UNNES yang telah memproses usulan saya. Terima kasih juga saya sampaikan kepada Ketua LPPM UNNES, Dr. Suwito Eko Pramono, M.Pd.

beserta supertim dan seluruh jajaran Tendik LPPM atas dukungannya selama ini.

8. Ketua Jurusan Fisika Universitas Begeri Semarang, Dr. Suharto Linuwih, M.Si yang telah mengusulkan saya pada jabatan profesor beserta seluruh teman dosen Jurusan Fisika UNNES yang telah mendukung, memotivasi dan mendoakan saya. Terutama kepada Yunda Prof. Dr. Ani Rusilowati, M.Pd., yang tiada henti-hentinya memotivasi saya. Ucapan terima kasih sebesar-besarnya atas kesediaan Ibu Dr. Siti Wahyuni, M.Sc. yang telah bersusah payah menyusun borang angka kredit usulan kenaikan jabatan profesor saya.
9. Prof. Dr. Eng. Khairurijjal dan Prof Dr. Mikrajuddin Abdullah dari Jurusan Fisika Institut Teknologi Bandung (ITB) yang telah berkenan menjadi peer review karya ilmiah untuk usulan profesor saya.
10. Staf administrasi kepegawaian FMIPA, dan seluruh staf Bagian Kepegawaian dan Hutala Universitas Negeri Semarang yang telah bekerja keras memproses usulan kenaikan jabatan profesor saya.
11. Teman-teman dosen yang tergabung dalam peminatan fisika material, yaitu: Dr. Sugianto, M.Si.; Dr. Sulhadi, M.Si.; Dr. Budi Astuti, M.Sc.; Drs. Ngurah Made Darma Putra, M.Si., Ph.D.; Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si.; dan Prof. Dr. Sutikno, S.T., M.T. Terima kasih juga saya sampaikan kepada Dr. Edy Wibowo, S.Si.; M.Sc. (Universitas Telkom Bandung) dan Didik Aryanto, S.Si., M.Sc. (LIPI) atas terjalannya kerja sama riset selama ini. Demikian juga kepada para mahasiswa Prodi Fisika S1 dari berbagai angkatan yang tergabung dalam kelompok peminatan fisika material (film tipis) yang telah membantu keberlangsungan riset di bidang film tipis juga diucapkan terima kasih.

12. Para guru saya, mulai jenjang Sekolah Dasar (SD Negeri Lengkong, Kec. Batangan Kab. Pati), guru-guru SMP Negeri Juwana, terutama Bapak Miran dan Bapak Harun yang telah mengajarkan IPA (Fisika), dan guru-guru SMA Negeri 2 Rembang, terutama Bapak Drs. Moch. Efendi (Alm) dan Ibu Dra. Darminah guru fisika idola saya.
13. Para dosen saya di Program S1 Pendidikan Fisika IKIP Semarang, terutama kepada dosen-dosen idola saya: Bapak Drs. Sanyoto K. (Alm), Drs. Sutjipto, M.Pd. (Alm), Drs. Diyanto, M.Pd. (Alm), dan Prof. Drs. Nathan Hindarto, Ph.D (Alm). Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada para dosen program Pra S2 Fisika dan S2 Fisika ITB, terutama kepada Prof. The Houw Liong, Ph.D sebagai pembimbing tesis dan Prof. M. Barmawi, Ph.D yang telah memberikan fondasi dan pengalaman riset laboratoris.
14. Prof. Dr. Samsudi Sakrani sebagai Penyelia Utama Program Doktor Falsafah di Jabatan Fizik, Fakulti Sains, Universiti Teknologi Malaysia, yang dengan sungguh-sungguh telah memberikan perhatian, bimbingan dan nasihat, tunjuk ajar, motivasi dan bantuan keuangan selama saya studi. Beliau selalu menekankan pentingnya kerjasama serumpun dalam riset. Penghargaan yang sama juga diberikan kepada Prof. Madya Dr. Bakar Ismail (Alm) sebagai pembantu penyelia program doktor di Universiti Teknologi Malaysia. Terima kasih juga saya sampaikan kepada Prof. Dr. Md. Rahim Sahar, yang selalu memperhatikan kemajuan studi saya dan selalu memompa semangat saya dalam menyelesaikan program doktor. Juga kepada sahabat-sahabat dalam suka dan duka di Universiti Teknologi Malaysia, Prof. Madya Dr. Ramli Arifin dan Prof. Madya Dr. Zuhairi Ibrahim atas bantuannya selama saya menjalani studi program doktor. Demikian juga kepada Prof. Dr.

Suriani Abubakar, timbalan Naib Cancellor (TNC) *Research and Innovation* Universiti Pendidikan Sultan Idris (UPSI) Malaysia atas kerjasama publikasi selama ini.

15. Teman-teman sekolah di SD, SMP dan SMA, dan teman kuliah di IKIP Semarang, teman-teman kuliah di S2 Fisika ITB, dan teman-teman seperjuangan di Universiti Teknologi Malaysia, terutama kepada Prof. Ir. Pratikso, M.S.T., Ph.D. (UNISSULA), Prof. Dr. Ir. Bambang Pramudono, M.S. (UNDIP), Prof. Dr. Istadi, S.T., M.T. (UNDIP), Prof. Dr. Agus Setyobudi, M.Sc. (UNJ) yang selalu memotivasi saya untuk mencapai jenjang jabatan profesor.
16. Orang tua saya yang sangat saya hormati dan saya bangggakan, Bp. H. Marsudi Hadisumarto (Alm) dan Ibu Hj. Munfaati (Alm) yang telah mendidik dan selalu mendoakan kesuksesan putra-putrinya. Tentu beliau sangat bangga kalau dapat menyaksikan salah satu putranya mencapai jenjang jabatan akademik yang terhormat ini. Demikian juga kepada paman saya, Bapak Drs. Sutardhi Sd., M.Pd. sekalian yang selalu memotivasi dan mendoakan saya agar mencapai jenjang jabatan akademik profesor dan juga Bapak Maryadi sekalian yang selalu mendoakan kesuksesan saya. Ucapan terima kasih yang setinggi-tingginya juga saya sampaikan kepada Bapak Mertua, H. Surachmat Yusuf (Alm) dan Ibu Siti Sudarini (Alm).
17. Saudara-saudara kandung saya, terutama kepada mbakyu saya Dra. Yusetowati, M.Pd (mBak Yus) yang selalu memotivasi dan mendoakan saya. Terima kasih juga saya sampaikan kepada saudara-saudara ipar saya yang telah mendukung dan mendoakan saya.
18. Istri tercinta, Erwin Roosilawati dan anak-anak, menantu dan cucu tersayang: Widya Ganishaputra, Baskara Widyatmaja, Bintang Widyadewantara, Pranayu Pramatyarati Paramithasari,

Fitri Amalia Shintasiwi, dan Prisha Shanaya Laksyafiqa yang menjadi penyemangat dalam keluarga besar kami.

Akhir kata, ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah bekerja keras bagi terlaksananya acara pengukuhan ini.

Wassalamu’alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, M. P., A. L. Wati, A. Priyanto, J. Karunawan, B. W. Nuryadin, E. Wibowo, P. Marwoto, Sulhadi (2018). Polimer Carbon Dots from Plastics Waste Upcycling. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*. Vol.9 136 -140
- Astuti,B., Sugianto, S. N. Mahmudah, R. Zannah, N. M. D. Putra, P. Marwoto, D. Aryanto and E. Wibowo (2018). Structural and morphological study on ZnO:Al thin films grown using DC magnetron sputtering. *Journal of Physics: Conference Series* Vol. 983. 012012
- Astuti, B., Sugianto, I Maftuchah, N. A. Firmahaya, P. Marwoto, F. D. Ratnasari, R. Muttaqin, N. E. Setyaningsih, D. Aryanto and Isnaeni (2019). Photoluminescence study of ZnO:Al thin films with different power plasma. *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1321. 022009. doi:10.1088/1742-6596/1321/2/022009
- Aryanto, D., Sugianto, P. Marwoto, Sulhadi (2014). Karakterisasi Struktur

dan Sifat Listrik Film Tipis Zinc Oxide Didoping Galium dan Aluminium. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. Vol 15(3) pp 129 – 132.

Azni M. Yaakob, K., Rosli Hussin, P Marwoto, Suhaila M Sanip, Ahmad Fauzi Ismail (2004) Design of the DC plasma enhanced chemical vapor deposition (DC-PECVD) for the synthesis of carbon nanotubes. *Journal of Solid State Science & Technology*. Vol 12(2).

Chan, C.Y., K.H. Lai, M.K.Fung, W. K. Wong, W.K., I. Bello, R. F. Huang, C.S. Lee and S. T. Lee (2001) "Deposition and properties of tetrahedral amorphous carbon films prepared on magnetic hard disks". *J. Vac. Sci. Technol. A*. Vol. 19(4) 1606 – 1610.

Fang, T.H., C. I. Weng, M. J. Wang (2001). Effects of substrates bias on nanotribology of a-C:H films deposited by ECR-MPCVD. *Diamond and Related materials*. Vol. 11 1653 – 1659.

Grill, A. (1993). Cold Plasma in Materials Fabrications from Fundamentals to Applications. New York: IEEE Press.

Hasan Y. (1997). *Fisika dalam Perspektif: Suatu Tinjauan Perkembangan dan Peran Masyarakat*. Pusat Pengkajian Teknologi Nuklir, Badan Tenaga Atom Nasional, Jakarta.

Hess, P. (1996). Chemical Vapour Deposition of Crystalline and Amorphous Carbon, Silicon, and Germanium Films. In Pogge, H. B. *Electronic Materials Chemistry*. New York, Basel, Hongkong: Marcell Decker Inc.

https://en.wikipedia.org/wiki/Sputter_deposition

- Jansen, F. (1997). Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition. *Handbook on Thin Films Process Tecnology*. IOP Publishing Ltd.
- Jemmer, P. (1999). Mathematical Modeling and Interpretation of Reactive Plasma Chemistry. *Mathematical and Computer Modelling*. Vol. 30. 63 – 76.
- Konuma, M. (1992). *Film Deposition by Plasma Techniques*. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hongkong, Barcelona, Budapest: Springer-Verlag
- Lieberman, M.A. and J.A. Lighterberg (1994). *Principles of Plasma Discharges and Materials Processing*. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons, Inc.
- Luft, W. and Y.S. Tsuo (1993). *Hydrogenated amorphous silicon alloy deposition Processes*. New York, Basel, Hongkong: Marcell Decker, Inc.
- Manage, D.P. (1998). Structural and Optical Characterization of Hydrogenated Amorphous Carbon Films. University of Toronto: Ph.D. Thesis.
- Marwoto, P. (2004). Pembangunan Reaktor DC PECVD dan kajian struktur film tipis karbon amorf terhidrogenasi (a-C:H). Universiti Teknologi Malaysia: Tesis Doktor Falsafah.
- Marwoto, P., Sugianto and Wiyanto (2007). Growth of gallium oxide thin films on silicon deposited by dc magnetron sputtering. *The Proceedings of Regional Annual Fundamental Science Seminar 2007*. Ibnu Sina Institute for Fundamental Science Studies, Universiti Teknologi Malaysia, Johor, Malaysia.
- Marwoto,P., N. Made Darmaputra, Sugianto, Z. Othaman, E. Wibowo

- dan S. Y. Astuti (2012a). Peningkatan kualitas film tipis CdTe sebagai absorber sel surya dengan menggunakan doping tembaga (Cu). *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*. Vol 8 (2) hlm. 215 -211
- Marwoto, P., Sugianto S, Wibowo E. (2012b). Growth of europium-doped gallium oxide (Ga_2O_3) thin films deposited by homemade DC magnetron sputtering. *Journal of Theoretical and Applied Physics*. 6(1)
- Marwoto, P., N. Made Darmaputra, Sugianto, E. Wibowo, Z. Othaman, S. Y. Astuti and N. P. Aryani (2013). Preliminary Study of CdTe and CdTe:Cu Thin Films Nanostructures Deposited by using DC Magnetron Sputtering. *AIP Conf. Proc.* 1555, 48-52.
- Marwoto, P., Fatiatun, Sulhadi (2014). Pengaruh Suhu Deposisi pada Struktur dan Sifat Optik Film Tipis ZnO:Ga. *Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Terapannya IV*, 15 November 2014.
- Marwoto, P. Sugianto, Sulhadi, Didik Aryanto, Edy Wibowo, Yanti (2015). Highly Oriented ZnO:Al Thin Films as an Alternative Transparent Conducting Oxide (TCO) for Windows Layer of Solar Cells. *Advanced Materials Research* Vol. 1123 (2015) pp 364-367.
- Marwoto, P., Fatiatun, Sulhadi, Sugianto, D. Aryanto (2016a). Effects of argon pressure on the properties of ZnO:Ga thin films deposited by dc Magnetron sputtering. *AIP Conference Proceedings* Vol. 1719 030016.
- Marwoto, P., E. Wibowo, D. Suprayogi, S. Sulhadi, D. Aryanto, S. Sugianto (2016b). Properties of ZnO thin films deposited by dc magnetron sputtering: Influence of Ga-doped concentrations on structural and optical properties. *American Journal of Applied Sciences*. Vol 13 (12) pp. 1394 -1395.

- Marwoto P., I. Yulianti, M. P. Aji (2019). Modifikasi Selubung Fiber Optik Polimer dengan Material Aktif Karbon Nanodots dari Daur Ulang Limbah Styrofoam (Polystyrene) untuk Deteksi Ion Logam. Laporan Penelitian, LPPM UNNES.
- Mokuno, Y., A. Chayahara, Y. Horino, Y. Nishimura (2002). Formation of hydrogenated amorphous carbon films by plasma based ion implantation system applying RF and negative high voltage pulses through single feedthrough. *Surface and Coating Technology*. Vol. 156 328 – 331.
- Mutsukura, N., S. Inoue, and Y. Machi (1992). Deposition mechanism of hydrogenated hard-carbon films in a CH₄ rf discharge plasma. *J. Appl. Phys.* Vol. 72(1). 43 -53
- Nicholson, D.R. (1983). *Introduction to Plasma Theory*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Robertson, J. and W. Milne (1998). Band model for emission from diamond-like carbon and diamond. *Jurnal of Non-Crystalline Solids*. Vol. 227 – 230 558 – 564.
- Robertson, J. (2002). Diamond-like amorphous carbon. *Materials Science and Engineering*. R 37 129 – 281.
- Rosyid, M.F., S.A. Santa, D. Intani, D. S. Palupi, T. Siahaan (2009). *Arah dan Strategi Pengembangan Riset Fisika di Indonesia*. Deputi Bidang Perkembangan RIPTEK Kementerian Negara Riset dan Teknologi. Penerbit: Gala Ilmu Semesta, Yogyakarta.
- Roosnagel, S.M. (1991). “Glow discharge plasma and Sources for Etching and deposition” in Vossen, J.L. and Kern W.: *Thin Film Processes II*. Boston, San Diego, new York, London, Sydney, Tokyo, Toronto: Academic Press, Inc.

- Saidin, M.A.R., A. F. Ismail, S. M. Sanip, P. S. Goh, M. Aziz, M. Tanemura (2012). Controlled growth of carbon nanofibers using plasma enhanced chemical vapor deposition: Effect of catalyst thickness and gas ratio. *Thin Solid Films* 520(7) pp 2575 – 2581
- Sagnes, E. (1998). *Influence of DC Saddle-Field Discharge Deposition Parameters on the Structure of Hydrogenated Amorphous Carbon Semiconductor*. University of Toronto: Ph.D Thesis.
- Rusli, G. A. J. Amaratunga, S.R.P. Silva (1996). Highly luminescent hydrogenated amorphous carbon (a-C:H) thin films. *Optical Materials* Vol. 6 93 – 98.
- Sarangi, D., O. S. Panwar, S. Kumar, R. Bhattacharyya (2000a) Characterization of a saddle field fast atom beam source and its application to the growth of diamond-like carbon films. *Vacuum*. Vol. 58 609 - 627.
- Sarangi, D., O. S. Panwar, S. Kumar, R. Bhattacharyya (2000b) Characterization studies of diamond-like carbon films grown using a saddle-field fast-atom-beam source. *J. Vac. Sci. Technol. A*. Vol. 73 765 – 768.
- Shohet, J. L. (1971). *The Plasma State*. New York: Academy Press.
- Sudjatmoko (2003). *Teknologi Sputtering* (Diktat Kuliah: Workshop Sputtering untuk Rekayasa Permukaan Bahan). P3TM BATAN, Yogyakarta: 1-16.
- Sulhadi, S. F. Fatiatun, P. Marwoto, S. Sugianto, E. Wibowo (2015). Variasi Suhu Deposisi pada Struktur, Sifat Optik dan Listrik Film Tipis Seng Oksida dengan Doping Galium (ZnO:Ga). *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*. Vol. 11(1) hlm. 93 – 99.

- Suriani, A.B., Fatiatun, A. Mohamed, Muqoyyanah, N. Hashim, M. H. Mamat, M. K. Ahmad, P. Marwoto (2018). Improved DSSC photovoltaic performance using reduced graphene oxide–carbon nanotube/platinum assisted with customised triple-tail surfactant as counter electrode and zinc oxide nanowire/titanium dioxide nanoparticle bilayer nanocomposite as photoanode. *Graphene Technology*, Vol. 4 (1-2).
- Suriani, A. B., Muqoyyanah, A. Mohamed, M. H. Mama, M.H.D. Othman, M.K. Ahmad, H.P.S. Abdul Khalil, P.Marwoto, M.D.Birowosuto (2019a). Titanium dioxide/agglomerated-free reduced graphene oxide hybrid photoanode film for dye-sensitized solar cells photovoltaic performance improvement. *Nano-Structures and Nano-Objects*. Vol. 18 – 100314.
- Suriani, A.B., Muqoyyanah, A. Mohamed, M. H. D. Othman, R. Rohani, I. I. Yusoff, M. H. Mamat, N. Hashim, M. N. Azlan, M. K. Ahmad, **P. Marwoto**, Sulhadi, H. H. Kusuma, M. D. Birowosuto, H. P. S. Abdul Khalil (2019). Incorporation of Electrochemically Exfoliated Graphene Oxide and TiO₂ into Polyvinylidene Fluoride-Based Nanofiltration Membrane for Dye Rejection. *Water, Air, & Soil Pollution*. 230:176.
- Sutikno, M., P. Marwoto, S. Rustad (2010). The mechanical properties of carbonized coconut char powder-based friction materials. *Carbon*. Vol. 48 3616 – 3620.
- Sutikno, P. Marwoto, H. Santiko (2011). *Pembuatan Bahan Gesek Kampas Rem Otomotif dengan Optimasi Panjang dan Orientasi Serat Nilon*. Semarang: UNNES Press.
- Yang, J.H., H.S. Kim, J.H. Lim, D.K. Hwang, J.Y. Oh and S.J. Park (2006).

The Effect of Ar/O₂ Sputtering Gas on the Phosphorus-Doped p-Type ZnO Thin Films. *Journal of The Electrochemical Society*, 153 (3) G242-G244.

Watson, C.J.H. (1974). "Introduction to Plasma Physics" in Keen, B.E. *Plasma Physics. Conference Series Number 20*. London and Bristol: The Institute of Physics.

Wirjoadi, Yunanto, dan Bambang Siswanto (2007). "Deposisi Lapisan Tipis (CdS) tipe – N di atas lapisan tipis (CuInSe₂) Tipe-P sebagai penyangga untuk sel surya CIS". *Ganesha X(2)* pp 33 – 38.

Lampiran

CURRICULUM VITAE

A. Identitas Diri

1. Nama : Prof. Dr. Putut Marwoto, M.S.
2. Tempat & Tanggal lahir: Pati, 21 Agustus 1963
3. Agama : Islam
4. Status Perkawinan : Menikah
Nama Istri : Dra. Erwin Roosilawati, M.Pd.

Nama Anak-anak : 1. Widya Ganishaputra, S.T.
2. Baskara Widyatmaja, B.M.Tech.,
M.B.A.
3. Bintang Widyadewantara
- Nama Menantu : 1. Pranayu Pramatyarati
Paramithasari, S.Psi
2. Fitri Amalia Shintasiwi, S.Hum.,
M.A.
- Nama Cucu : Prisha Shanaya Laksyafiq
5. Pekerjaan : Dosen Tetap Jurusan Fisika, FMIPA
Universitas Negeri Semarang
6. Alamat Kantor : Jurusan Fisika, FMIPA, UNNES
Gd. D7 Lt. 2 Kampus Sekaran,
Gunungpati Kota Semarang
50229, Jawa Tengah
7. Alamat Rumah : Jl. Stonen Timur No. 35
RT 08 RW 09 Kel. Gajahmungkur
Kec. Gajahmungkur, Kota
Semarang 50232
8. Surel (e-mail) : pmarwoto@mail.unnes.ac.id

B. Riwayat Pendidikan

1. *Doctor of Philosophy* (Ph.D) (Doktor Falsafah) dalam bidang fisika, Universiti Teknologi Malaysia (UTM) (2004/2005)
2. Magister Sains (M.S.) dalam bidang fisika, Institut Teknologi Bandung (ITB) (1990)
3. Sarjana Pendidikan (Drs) (fisika), IKIP Semarang (1986)
4. SMA Negeri 2 (SMPP 7) Rembang (1982)
5. SMP Negeri Juwana, Kab. Pati (1979)
6. SD Negeri Lengkong, Kec. Batangan, Kab. Pati (1975)

C. Riwayat Pangkat/Golongan dan Jabatan Akademik

Riwayat pangkat/golongan

No	Pangkat/golongan	No. SK	TMT
1	CPNS	241/PT.36/CPNS/1988	01-03-1988
2	Penata Muda (III/a)	050/C-2/1989	01-02-1990
3	Penata Muda Tk. I (III/b)	119/C-5.1/1994	01-04-1994
4	Penata (III/c)	118/KP-5.1/1996	01-10-1996
5	Penata Tk. I (III/d)	36097/A4.5/KP/2010	01-04-2010
6	Pembina (IV/a)	82581/A4.3/KP/2012	01-04-2012
7	Pembina Tk. I (IV/b)	96780/A4.3/KP/2014	01-04-2014

Riwayat Jabatan Akademik

No	Jabatan	No. SK	TMT
1	Asisten Ahli Madya	730/C-14.1/1993	01-12-1991
2	Asisten Ahli	866/C-14.1/1993	01-01-1993
3	Lektor Muda	350/KP-14.1/1996	01-05-1996
4	Lektor	164/K11/KP.PJF/2001	01-01-2001
5	Lektor Kepala	94142/A4.5/KP/2009	01-01-2010
6	Profesor/Guru Besar	35163/M/KP/2019	01-10-2019

D. Pengalaman Mengajar dan Menguji

Mengajar: Mata Kuliah yang pernah diampu: Fisika Matematika I (S1), Fisika Matematika 2 (S1), Termodinamika (S1), Fisika Statistik (S1), Struktur Elektronik Zat Padat (S1, pilihan), Metode Karakterisasi Fisika (S1, pilihan), Mekanika Statistik (S2 Pend. Fisika), Elektrodinamika (S2 Pendidikan Fisika), IPA Terapan (S3 Pend. IPA), Asisten Fisika Dasar (Institut Teknologi Bandung), Amali Fizik Am (Universiti Teknologi Malaysia)

Menguji: Sebagai *external examiner* Ujian Program Doktor

1. Universiti Teknologi Malaysia (2013)
2. Institut Teknologi Bandung (2013 dan 2017)

E. Pengalaman Manajerial

1. Ketua Program Studi S1 Fisika, Jurusan Fisika, FMIPA UNNES (2005 – 2007)
2. Ketua Jurusan Fisika (merangkap Ketua Program Studi S1 Pendidikan Fisika) FMIPA UNNES (2007 – 2011)
3. Ketua Program Studi Magister Pendidikan IPA (S2) Program Pascasarjana UNNES (2011 – 2013)
4. Ketua Program Studi Magister Pendidikan Fisika (S2) Program Pascasarjana UNNES (2013 – 2015)
5. Kepala Pusat Layanan Publikasi dan Kekayaan Intelektual LP2M UNNES (2018)
6. Kepala Pusat Layanan Penelitian dan Pengabdian Masyarakat LP2M UNNES (2019 – sekarang)

F. Publikasi (2010 – 2019 selected)

1. A.B.Suriani, Muqoyyanah, M.H. Mamat, M.H.D. Othman, M.K. Ahmad, H.P.S. Abdul Khalil, **P. Marwoto**, M.D.

- Birowosuto, 2019. Titanium dioxide/agglomerated-free reduced graphene oxide hybrid photoanode film for dye-sensitized solar cells photovoltaic performance improvement, *Nano-Structures & Nano-Objects* (Publisher: Elsevier), Vol. 18 article 100314
2. Suriani Abu Bakar, Fatiatun, Azmi Mohamed, Muqoyyanah, Norhayati Hashim, Mohamad Hafiz Mamat, Mohd Khairul Ahmad, **Putut Marwoto** (2019). Improved DSSC photovoltaic performance using reduced graphene oxide–carbon nanotube/platinum assisted with customised triple-tail surfactant as counter electrode and zinc oxide nanowire/titanium dioxide nanoparticle bilayer nanocomposite as photoanode, *Graphene Technology* (Publisher: Springer), Vol. 4 (1-2) p. 17 – 31.
 3. A. B. Suriani, Muqoyyanah, A. Mohamed, M. H. D. Othman, R. Rohani, I. I. Yusoff, M. H. Mamat, N. Hashim, M. N. Azlan, M. K. Ahmad, **P. Marwoto**, Sulhadi, H. H. Kusuma, M. D. Birowosuto, H. P. S. Abdul Khalil, 2019. Incorporation of Electrochemically Exfoliated Graphene Oxide and TiO₂ into Polyvinylidene Fluoride-Based Nanofiltration Membrane for Dye Rejection. *Water, Air, & Soil Pollution* (Publisher: Springer). 230:176
 4. Sulhadi, F. Usriyah, E. Wibowo, B. Astuti, Sugianto, D. Aryanto and **P. Marwoto** (2019). Influence of annealing temperature on the morphology and crystal structure of Ga-doped ZnO thin films. *Journal of Physics: Conference Series* 1170(1)
 5. E. Wibowo, N. Ulya, M. Rokhmat, Suwandi, Sutisna, Z. Othaman, **P Marwoto**, M. P. Aji, B Astuti, I Sumpono and Sulhadi (2019). The energy due to confinement of one-dimensional cylindrical quantum. *Journal of Physics: Conference Series*. 1170(1)
 6. D. Aryanto, **P. Marwoto**, T. Sudiro, A. S. Wismogroho and Sugianto (2019). Growth of *a*-axis-oriented

Al-doped ZnO thin film on glass substrate using unbalanced DC magnetron sputtering. *Journal of Physics.: Conference Series*. **1191** 012031

7. E. Wibowo, N. Ulya, Z. Othaman, **P. Marwoto**, I. Sumpono, M.P. Aji, Sulhadi, B Astuti, M. Rokhmat, Suwandi, A. Ismardi and Sutisna (2018). Effect of Substrate Orientation on the Growth Direction of $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ Nanowires (NWs) *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 395(1) 012003
8. N Khoiri, W. N. Jannah, C. Huda, R.M. Maulana, **P. Marwoto** and Masturi (2018). Leaves Waste Composite with Glass Fiber Reinforcement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 333 012082
9. Izzah S, **Marwoto P.**, Iswari R. (2018). Markisa fruit (*passiflora edulis* var. *flavicarpa*) as a fixation material of natural colour of mangrove waste on batik *Journal of Physics: Conference Series*. 983(1)
10. Mahardika Prasetya Aji, Annisa Lidia Wati, Aan Priyanto, Jotti Karunawan, Bebeh Wahid Nuryadin, Edy Wibowo, **Putut Marwoto**, Sulhadi, 2018. Polymer carbon dots from plastics waste upcycling, *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* (Publisher: Elsevier), Vol. 9 p. 136 – 140.
11. B. Astuti, Sugianto, S. N. Mahmudah, R. Zannah, N. M. D. Putra, **P. Marwoto**, D. Aryanto and E. Wibowo (2018). Structural and morphological study on ZnO:Al thin films grown using DC magnetron sputtering *Journal of Physics: Conference Series (2018)* 983(1)
12. Sugiyanto S., Hardyanto W., **Marwoto P.** (2018).The simulation of a two-dimensional (2D) transport problem in a rectangular region with Lattice Boltzmann method with two-relaxation-time *Journal of Physics: Conference Series* . 983(1)

13. D. Aryanto, W. N. Jannah, Masturi, T. Sudiro, A. S. Wismogroho, P. Sebayang, Sugianto and **P. Marwoto** (2017). Preparation and structural characterization of ZnO thin films by sol-gel method. *Journal of Physics: Conference Series* 817(1)
14. Andi Fadllan, **Putut Marwoto**, M.P. Aji, Susanto, R.S. Iswari (2017). Synthesis of Carbon nanodots from waste paper with hydrothermal method. *AIP Conference Proceedings* 1788
15. Nuroso H., Kurniawan W., **Marwoto P.** (2016). Designing Light Beam Transmittance Measuring Tool Using a Laser Pointer. *Journal of Physics: Conference Series* 739(1)
16. Woro Sumarni, Retno Sri Iswari, **Putut Marwoto**, Endah F Rahayu (2016). Physical characteristics of chitosan-silica composite of rice husk ash. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 107. 012039.
17. Purjiyanta E., Handayani L., **Marwoto P.**(2016). Development of an ICT-Based Air Column Resonance Learning. *Journal of Physics: Conference Series* 739(1)
18. **Marwoto P.**, Fatiatun, Sulhadi, Sugianto, Didik Aryanto, (2016). Effects of argon pressure on the properties of ZnO:Ga thin films deposited by DC Magnetron sputtering. *AIP Conference Proceedings* 1719
19. Sulhadi S., Rosita N., Susanto S., Nisa K., Wiguna P.A., **Marwoto P.**, Aji, M.P.(2016) Fabrication of porous carbon composite material from leaves waste as lightweight expanded carbon aggregate (LECA). *AIP Conference Proceedings* 1725
20. Sujarwata, **P. Marwoto**, L. Handayani (2016). Thin films-based sensor for motor vehicle exhaust gas, NH₃ and CO detection. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, Vo. 12 (2) p. 142 -147
21. **Marwoto P.**, E. Wibowo , D. Suprayogi, Sulhadi, D. Aryanto and Sugianto (2016). Properties of ZnO:Ga thin films deposited by dc magnetron sputtering: Influence of Ga-

- doped concentrations on structural and optical properties. *American Journal of Applied Sciences* (Publisher: Science Publication) 13(12)
22. Kusumawati I, **Marwoto P.**, Linuwih S. (2015). Implementation of multi representation and oral communication skill in Department of Physics Education on Elementary Physics II. *AIP Conference Proceedings* 1677
 23. Sulhadi, Fatiatun, **Putut Marwoto** (2015). Variasi suhu pada struktur, sifat optik dan listrik film tipis seng oksida dengan doping galium (ZnO:Ga). *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, Vol. 11 (1) p. 93 – 99
 24. **Putut Marwoto**, Sugianto, Sulhadi, Didik Aryanto, Edy Wibowo, Yanti (2015). Highly Oriented ZnO:Al Thin Films as an Alternative Transparent Conducting Oxide (TCO) for Windows Layer of Solar Cells. *Advanced Materials Research* Vol. 1123 pp 364-367
 25. Sutikno, **Marwoto P.**, Dian Puspita A (2014). Production and Characterization biodegradable plastics base on starch of artocarpus heterophyllus Lamb seeds. *Advanced Materials Research*. Vol. 896 pp 263-266
 26. **Putut Marwoto**, Sulhadi, Sugianto, Didik Aryanto, Edy Wibowo, Kiki Wahyuningsih (2014). Room temperature deposition of ZnO thin films by using DC magnetron sputtering. *Advanced Materials Research* Vol. 896 pp 237-240.
 27. **Putut Marwoto**, D. P. Ngurah Made, Sugianto, Edy W., Zulkafli Othaman, Santi Y.A., Nila P.A.(2013). Preliminary study of CdTe and CdTe:Cu thin films nanostructures. *AIP Conference Proceedings* 1555, 48.
 28. **Marwoto P**, Sugianto S, Wibowo E. (2012). Growth of europium-doped gallium oxide (Ga_2O_3) thin films deposited by homemade DC magnetron sputtering. *Journal of Theoretical and Applied Physics* (Publisher: Springer) 6(1)

29. Suriani Abu Bakar, Azira Abdul Aziz, **Putut Marwoto**, Samsudi Sakrani, Roslan Md Nor, Mohamad Rusop (210) Hydrogenated amorphous carbon films. *Advanced Structured Materials book series* (Publisher: Springer). Vol. 5 pp 79 - 99
30. M. Sutikno, **P. Marwoto**, S. Rustad (2010). The mechanical properties of carbonized coconut char powder-based friction materials. *Carbon* (Publisher: Elsevier), Vol. 48(12) pp. 3616-3620

G. Karya buku:

1. **Putut Marwoto** dan Budi Astuti (2018). *Pengantar Fisika Zat Padat*. ISBN 976-602-97835-9-9. Penerbit: FMIPA UNNES
2. Sutikno, **Putut Marwoto**, Heri Santiko (2011). *Pembuatan Bahan Gesek Kampas Rem Otomotif dengan Optimasi Panjang dan Orientasi Serat Nilon* ISBN: 9186028467497. Penerbit: UNNES Press
3. Sujarwata, **Putut Marwoto** (2014). *Karakterisasi Film Tipis Teori, Penerapan dan Analisis Hasil Deposisi Film Tipis*.

H. Pengalaman Penelitian (2 tahun terakhir)

1. Pengaruh Daya Plasma dan Suhu Annealing pada Sifat Fisis Film Tipis ZnO Doping Galium yang Ditumbuhkan dengan Metode DC Magnetron Sputtering (DIPA MIPA UNNES 2019-anggota)
2. Modifikasi Selubung Fiber Optik Polimer dengan Material Aktif Carbon Nanodots dari Daur Ulang Limbah Styrofoam (Polystyrene) untuk Deteksi Ion Logam (DIPA UNNES 2019-Ketua)
3. PROFIL GURU SMA DAN SMK DI PROVINSI JAWA TENGAH DAN KALIMANTAN SELATAN (DIPA UNNES 2019 – ketua)

4. Dispersi Titanium Dioksida (TiO₂) dalam Minyak Jelantah sebagai Bahan Double Photocatalyst untuk Dekomposisi Polutan Pewarna Cair (DRPM Dikti 2019 – anggota)
5. Pemanfaatan Nanopartikel Carbon Dots (C-Dots) sebagai Suplemen Pupuk untuk Pemacu Pertumbuhan Tanaman (DRPM Dikti 2019 – anggota)
6. Pengembangan Sistem Layanan Penerbitan Buku yang Profesional Sebagai Penguat Tahun Internasionalisasi UNNES (DIPA UNNES 2018 – Ketua)
7. Analisis Sifat Termal Limbah Plastik untuk Menentukan Potensi Daur Ulangnya menjadi Carbon Nanodots (DIPA MIPA UNNES 2018 – anggota)
8. Deteksi Ion Logam Berat menggunakan Carbon Dots dari Sampah Plastik (DRPM Kemristekdikti 2018 – anggota)
9. STUDI tentang struktur Morfologi dan Sifat Optik Film Tipis ZnO:Al Pada Daya Plasma Yang Berbeda (DIPA MIPA UNNES 2018 – anggota)

I. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat (3 tahun terakhir)

1. PENINGKATAN PROFESIONALISME GURU SMP/MTs DALAM MENGEMBANGKAN PEMBELAJARAN FISIKA BERBASIS STEAM DENGAN MEMANFAATKAN KEARIFAN LOKAL DAN MENULIS KARYA ILMIAH DI KABUPATEN WONOSOBO (2019) (Anggota)
2. Peningkatan Kemampuan Guru dalam Penulisan Artikel Ilmiah Berbasis Penelitian Tindakan Kelas (PTK) di SMA N 2 Kota Pekalongan (2019) (Ketua)
3. Upaya Peningkatan UMKM di Kota Semarang : Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu untuk Pengembangan Lorong Garden (2019) (anggota)
4. WORKSHOP MENGKONVERSI LAPORAN HASIL PENELITIAN MENJADI BUKU TEKS BER-ISBN BAGI GURU BAHASA INDONESIA DI KOTA SEMARANG (2018) (Anggota)

5. Pelatihan dan Pendampingan Penulisan Artikel Ilmiah Berbasis Penelitian Tindakan Kelas (PTK) Bagi Guru-guru Fisika SMA dan SMK Kabupaten Rembang (2018) (Ketua)
6. Pemberdayaan Guru-guru Sekolah Dasar di Kecamatan Karimun Jawa dalam Pemanfaatan Aplikasi Mobile sebagai Media Pembelajaran melalui Kegiatan Pelatihan dan Pendampingan (2018) (anggota)
7. IbM Kelompok Usaha Tepung Tapioka di Kecamatan Margoyoso Kabupaten Pati (2017) (anggota)
8. Peningkatan Profesionalisme Guru Melalui Pelatihan dan Pendampingan Penulisan Artikel Ilmiah di MGMP Fisika SMA Kabupaten Rembang (Ketua)

J. Pengalaman Sebagai Reviewer jurnal dan conference

- *Optik – International Journal for Light and Electron Optics* (Publisher: Elsevier)
- *3rd MRS-ID Meeting 2018*
- *American Journal of Applied Sciences* (Publisher: Science Publication)
- *Chiang Mai Journal of Science* (Publisher: Chiang Mai University)
- *Nano* (Publisher: World Scientific)
- *Surface & Coatings Technology Surface* (Publisher: Elsevier)
- *International Journal of Environmental Science and Toxicology Research* (IJESTR) (Publisher: IC World of Journals)
- *Journal of Theoretical and Applied Physics* (Publisher: Springer)
- *International Conference on Advanced Materials Science and Technology* (ICAMST 2014)
- *Optical Engineering* (Publisher: SPIE)
- *International Conference on Advances in Education Technology* (ICAET), 2014

- *International Conference on Theoretical and Applied Physics (ICTAP)*, 2014
- *Tsinghua Science & Technology* (Publisher: Elsevier)

K. Keanggotaan Organisasi

- Himpunan Fisikawan Indonesia (HFI)
- Masyarakat Nano Indonesia (MNI)
- Materials Research Society of Indonesia (MRI).

L. Penghargaan

1. Satya Lencana Karya Satya XX (Presiden RI)
2. Dosen Berprestasi III, Universitas Negeri Semarang (2017)
3. *Reviewing award* dari jurnal *Surface and Coating Technology* (Q1, SJR:0.973, h_{index} :153) (Penerbit: Elsevier)(2016)
4. *Reviewer award* dari jurnal *Optical Engineering* (Q1, SJR: 0,403, h_{index} : 93) (Penerbit: SPIE)(2014)

M. Lain-lain

1. Profil scopus:
 Jumlah manuskrip terindeks scopus : 50
 Scopus Author ID: 36904245100
<http://orcid.org/0000-0001-8926-9441>
2. *Inviting researcher* di Fakultas Kejuruteraan Kimia dan Sumber Asli, Universiti Teknologi Malaysia (2007)
3. *Visiting professor* di Fakultas Sains, Universiti Teknologi Malaysia (2011)



Putut Marwoto lahir di Pati, 21 Agustus 1963 dan memperoleh gelar Sarjana Pendidikan (Fisika) di IKIP Semarang (1986), Magister Sains (Fisika) di Institut Teknologi Bandung (ITB) (1990) dan *Doctor of Philosophy* (Ph.D.) dalam bidang fisika di Universiti Teknologi Malaysia (UTM) (2004/2005) dengan kepakaran dalam rancang bangun reaktor *plasma enhanced chemical vapour deposition* (PECVD) untuk

fabrikasi material film tipis (*thin films*). Memulai karir sebagai tenaga pengajar di IKIP Semarang - kini Universitas Negeri Semarang (UNNES) pada tahun 1988 dengan fokus riset di bidang film tipis selama lebih dari dua dekade ini dan sekarang telah diangkat sebagai guru besar dalam bidang **ilmu fisika terapan**. Pernah mengemban tugas sebagai Ketua Program Studi S1 Fisika FMIPA UNNES (2005 – 2007), Ketua Jurusan Fisika FMIPA UNNES (2007 – 2011), Ketua Program Studi S2 Pendidikan IPA Pascasarjana UNNES (2011-2013) dan Ketua Program Studi S2 Pendidikan Fisika Pascasarjana UNNES (2013-2015), *inviting researcher* di Fakultas Kejuruteraan Kimia dan Sumber Asli (FKKSA) UTM (2007) dan *visiting professor* di Jabatan Fizik UTM (2011), *external examiner* pada ujian program doktor di UTM (2013) dan ITB (2013 dan 2017). Aktif sebagai anggota Himpunan Fisikawan Indonesia (HFI), Masyarakat Nano Indonesia (MNI), *Materials Research Society of Indonesia* (MRI). Berpengalaman sebagai reviewer dalam jurnal internasional, seperti: *Tsinghua Science and Technology* (Elsevier), *Journal of Theoretical and Applied Physics* (Springer), *Nano* (World Scientific), *American Journal of Applied Sciences* (Science Publications), *Optical Engineering* (SPIE), *Surface and Coating Technology* (Elsevier), dan *Optik-International Journal for Light and Optic* (Elsevier) dan namanya tercantum dalam buku “300 Ilmuwan Nano Indonesia” yang diterbitkan oleh Masyarakat Nano Indonesia. Karya-karya monumentalnya: Reaktor PECVD untuk fabrikasi film tipis karbon amorf terhidrogenasi (a-C:H) di Jabatan Fizik UTM, dan reaktor PECVD untuk deposisi *carbon nanotube* (CNT) di *Advanced Membrane Research Unit* (AMRU) Universiti Teknologi Malaysia.



Gd. Prof. Retno Sriningsih Satmoko
UNNES Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229
www.lppm.unnes.ac.id



