FORUM GURU BESAR
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG

Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung

FILM TIPIS ORGANIK

Fabrikasi, Karakterisasi, dan Aplikasinya

Profesor Herman

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Bandung

Aula Barat ITB
13 Juni 2026

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

FILM TIPIS ORGANIK:

FABRIKASI, KARAKTERISASI, DAN APLIKASINYA

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

FILM TIPIS ORGANIK:

FABRIKASI, KARAKTERISASI, DAN APLIKASINYA

Prof. Herman

13 Juni 2026
Aula Barat ITB

FORUM GURU BESAR
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG

ITB PRESS

Hak cipta © pada penulis dan dilindungi Undang-Undang

Hak penerbitan pada ITB Press

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh bagian dari buku ini tanpa izin dari penerbit

Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung:
Film Tipis Organik: Fabrikasi, Karakterisasi, dan Aplikasinya

Penulis : Prof. Herman
Reviewer : Prof. Rachmat Hidayat

Editor Bahasa : Rina Lestari
Cetakan I : 2026
ISBN : 978-623-297-898-0
e-ISBN : 978-623-297-899-7 (PDF)

ITB PRESS
Jl. Dipatiukur No. 26E
Bandung 40132
+62 022-20469019
office@itbpress.id
www.itbpress.id
itbpress.official

What I cannot create, I do not understand

Richard P Feynman

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga buku orasi ilmiah ini dapat diterbitkan sebagai bagian dari prosesi pengukuhan Guru Besar di Institut Teknologi Bandung. Buku ini merupakan dokumentasi resmi yang memuat gagasan, hasil penelitian, serta visi akademik yang diharapkan dapat memperkaya khazanah ilmu pengetahuan dan menjadi rujukan bagi pengembangan riset di masa mendatang.

Orasi ilmiah yang disampaikan dalam pengukuhan Guru Besar bukanlah sekadar pidato akademik, melainkan sebuah pernyataan komitmen untuk mengabdikan diri pada pengembangan ilmu pengetahuan, pendidikan, dan penguatan peran ITB sebagai institusi unggul di tingkat nasional maupun internasional. Melalui penerbitan buku ini, diharapkan gagasan yang tertuang dapat menjangkau khalayak lebih luas, baik di lingkungan akademik maupun masyarakat umum.

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Rektor ITB, Senat Akademik, Majelis Guru Besar, serta seluruh pihak yang telah mendukung terselenggaranya prosesi pengukuhan dan penerbitan buku ini. Semoga karya ini menjadi bagian dari kontribusi nyata ITB dalam membangun tradisi akademik yang kokoh, serta memperkuat reputasi bangsa Indonesia di dunia ilmu pengetahuan.

Saya menyadari bahwa buku ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan dan pengembangan lebih lanjut. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat bagi dunia akademik, industri, dan bangsa.

Bandung, 13 Mei 2026

Prof. Dr.Eng. Herman, M.S.

SINOPSIS

Buku ini membahas perkembangan film tipis berbasis bahan organik. Bahan organik yang dipilih adalah **Disperse Red 1 (DR1)**, turunan molekul azobenzena yang memiliki struktur khas Donor–π–Akseptor. Struktur ini memiliki momen dipole listrik dan sifat optik nonlinier yang kuat.

Dalam bentuk film tipis, orientasi molekul DR1 harus dikendalikan secara presisi agar menghasilkan sifat optik dan elektronik yang unggul. Orientasi molekul yang tepat akan meningkatkan sensitivitas optik, sehingga film tipis yang difabrikasi mampu memberikan performa yang lebih baik.

Untuk mencapai hal tersebut, diperlukan metode fabrikasi yang mampu mengontrol orientasi molekul secara efektif. Buku ini menguraikan teknik fabrikasi yang dikembangkan dengan nama EVA-PVD (*Electric Field Assisted Physical Vapor Deposition*)**,** yaitu pengembangan dari metode *Physical Vapor Deposition* (PVD). Pada metode ini, perangkat PVD dilengkapi dengan unit medan listrik eksternal yang bekerja selama proses deposisi, sehingga orientasi molekul dapat diarahkan sesuai kebutuhan.

Selain itu, buku ini juga memuat berbagai metode karakterisasi yang menunjukkan bahwa proses fabrikasi telah terkontrol dengan baik. Efek pengendalian orientasi molekul ditunjukkan melalui perubahan indeks bias film tipis DR1 ketika dikenai medan listrik.

Secara keseluruhan, buku ini menegaskan pentingnya kajian dengan pendekatan mikroskopik terhadap material, guna memperoleh film tipis dengan sifat fisik yang optimal. Pendekatan tersebut diharapkan dapat mendorong pengembangan riset dan aplikasi film tipis organik dalam bidang fotonik, medis, dan energi.

DAFTAR ISI

PRAKATA vii
SINOPSIS ix
DAFTAR ISI xi
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR TABEL xv
1 PENDAHULUAN 1
2 METODE FABRIKASI FILM TIPIS 5
2.1 Metode Fabrikasi Film Tipis konvensional 5
2.2 Metode Fabrikasi Film dengan Electric Field Assisted PVD (EFA-PVD) 11
3 METODE KARAKTERISASI FILM TIPIS 17
3.1 Karakterisasi Molekul Disperse Red 1 (DR1) yang di Evaporasi 18
3.2 Pola difraksi XRD dari film EVA-PVD 20
3.3 Image SEM dari film EVA-PVD 22
3.4 Spektrum UV-Vis dari Film EVA-PVD 23
3.5 Spektrum IRRAS dari Film EVA-PVD 26
3.6 Pengukuran Indeks Bias Film 30
4 APLIKASI FILM TIPIS DAN KAJIAN RISET TERKAIT 39
PENUTUP 43
DAFTAR PUSTAKA 45
UCAPAN TERIMA KASIH 47
CURRICULUM VITAE 49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Molekul DR1 3

Gambar 2.a Skema peralatan dan mekanisme penumbuhan film dengan metode *spin-coating* 6

Gambar 2.b Skema peralatan dan mekanisme penumbuhan film dengan metode Langmuir–Blodgett (LB) 6

Gambar 2.c. Skema peralatan dan mekanisme penumbuhan film dengan metode deposisi vakum (PVD) 7

Gambar 3 Skema perangkat EFA-PVD 14

Gambar 4 Spektrum FTIR dari serbuk DR1 murni (a) dan serbuk hasil evaporasi pada temperatur 173 °C (b) 19

Gambar 5 Pola difraksi XRD dari film DR1 yang dideposisikan pada substrat ITO dengan pengenaan medan listrik eksternal berbagai kekuatan ke arah menuju substrat. Sisipan gambar menunjukkan pola XRD dari sampel yang dideposisikan dengan medan listrik E = 3,3 MV/m yang diukur tiga bulan kemudian 20

Gambar 6 Citra SEM dari film DR1 yang dideposisikankan dengan medan listrik E bervariasi, yaitu (a) E = 0, (b) E = 0,59 MV/m, (c) E = 1,9 MV/m, dan (d) E = 3,3 MV/m, diambil bersamaan dengan pengukuran XRD 22

Gambar 7 Model susunan molekul vertikal dengan konfigurasi *head-tail* 24

Gambar 8 Spektrum serapan UV–Vis dari film DR1 yang didesposisi dengan berbagai medan listrik terapan, diukur dalam mode transmisi 25

Gambar 9 Spektrum serapan UV–Vis dari film DR1 yang diukur dalam mode refleksi untuk sampel yang sama seperti ditunjukkan pada Gambar 8. 26

Gambar 10 Spektrum IRRAS dari film DR1 yang selama deposisi dikenakan variasi medan listrik. 27

Gambar 11 Variasi absorbansi dari tiga komponen spektral yang terpisah dengan baik pada pita serapan OH yang lebar, dengan puncak pada 3458 cm^{-1}, 3515 cm^{-1}, dan 3562 cm^{-1} dalam rentang 3100–3800 cm^{-1}, untuk sampel yang disiapkan dengan E = 0, 1,9 MV/m, 2,6 MV/m, dan 3,3 MV/m. Perlu dicatat bahwa bilangan gelombang puncak dari komponen identik tersebut tetap tidak berubah..... 28

Gambar 12 Penyajian kuantitatif variasi absorbansi (luas terintegrasi) dari tiga komponen spektral yang ditunjukkan pada Gambar 11 untuk film yang disiapkan dengan berbagai kekuatan medan listrik terapan..... 29

Gambar 13 Variasi indeks bias (ditandai dengan kotak biru) dan intensitas refleksi (ditandai dengan kotak hitam) terhadap panjang gelombang pada substrat ITO..... 32

Gambar 14 Spektrum refleksi film tipis DR1 pada kondisi medan listrik yang berbeda. 33

Gambar 15 Perbandingan indeks bias film tipis DR1 pada berbagai kondisi medan listrik..... 34

Gambar 16 Hasil *fitting* spektrum reflektansi film tipis DR1 untuk memverifikasi kesesuaian hasil perhitungan ketebalan dan indeks bias pada medan listrik (a) 1 MV/m, (b) 2 MV/m, dan (c) 3 MV/m. 35

Gambar 17 Variasi indeks bias terhadap medan listrik dengan menggunakan sumber laser pada panjang gelimbang 614 nm. 36

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Perbandingan metode-metode fabrikasi 10
Tabel 2 Perbandingan metode-metode fabrikasi keseluruhan 13
Tabel 3 Identifikasi puncak-puncak absobsi utama dari DR1 20

1 PENDAHULUAN

Dalam kehidupan sehari-hari, penggunaan material berupa **film tipis** sebenarnya sudah banyak dijumpai, meskipun sering kali tidak disadari. Film tipis adalah lapisan material dengan ketebalan dari ukuran beberapa nanometer hingga mikrometer yang dideposisikan di atas suatu substrat.

Contoh yang mudah dikenali adalah kacamata antirefleksi, di mana lapisan tipis oksida pada permukaan lensa mampu mengubah sifat optik kaca dengan cara mengurangi pantulan cahaya melalui mekanisme interferensi destruktif. Efek ini tidak hanya meningkatkan transparansi lensa, tetapi juga membuat penglihatan menjadi lebih nyaman karena berkurangnya silau dari sumber cahaya eksternal. Selain itu, lapisan antirefleksi memberikan keuntungan praktis, misalnya memungkinkan pemakai difoto tanpa perlu melepas kacamata, karena pantulan cahaya pada lensa diminimalkan. Dengan demikian, teknologi pelapisan film tipis pada kacamata menunjukkan bagaimana rekayasa material dapat menghasilkan fungsi baru yang lebih bermanfaat, sekaligus memperluas penerapan film tipis dalam bidang optik, fotografi, dan kenyamanan pengguna.

Contoh lain adalah penggunaan film tipis pada layar sentuh ponsel pintar. Fungsinya sebagai layar sentuh dimungkinkan oleh adanya lapisan tipis Indium Tin Oxide (ITO), yang bersifat transparan sekaligus konduktif, dan bekerja berdasarkan deteksi perubahan kapasitansi pada lapisan tersebut. Ketika jari menyentuh permukaan layar, kapasitansi lokal berubah karena adanya interaksi antara konduktivitas ITO dan muatan listrik dari tubuh manusia. Perubahan kapasitansi ini kemudian diterjemahkan oleh sistem elektronik menjadi sinyal input yang sesuai dengan posisi sentuhan. Dengan demikian, film tipis ITO tidak hanya berperan sebagai lapisan pelindung transparan, tetapi juga sebagai komponen aktif yang memungkinkan integrasi fungsi optik dan elektronik dalam perangkat modern. Teknologi ini menjadi dasar bagi pengembangan antarmuka interaktif yang kini digunakan secara luas pada teknologi ponsel pintar, tablet, hingga perangkat layar sentuh lainnya.

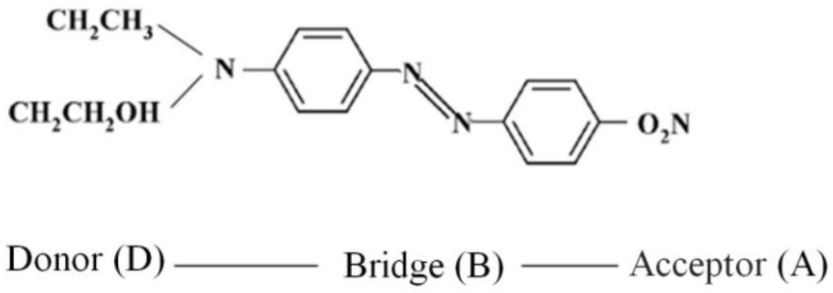
Hal ini menunjukkan bahwa pelapisan film tipis berperan penting dalam mengubah dan meningkatkan sifat optik dari material yang dilapisinya. Melalui kontrol ketebalan, orientasi molekul dan komposisi lapisan, film tipis mampu menghasilkan efek optik baru seperti interferensi destruktif, peningkatan transparansi, atau respons nonlinier terhadap cahaya. Dengan demikian, material yang semula hanya memiliki fungsi dasar dapat memperoleh karakteristik tambahan, misalnya kaca biasa yang berubah menjadi kaca anti-refleksi, atau polimer yang memperoleh sifat optik nonlinier untuk aplikasi fotonik. Transformasi ini membuka peluang besar bagi pengembangan teknologi modern, mulai dari perangkat optoelektronik, sensor biomedis, hingga sistem energi berbasis film tipis. Dengan demikian pelapisan film tipis menjadi strategi penting dalam rekayasa material masa depan.

Dalam orasi ini, saya akan menyoroti peran dan potensi molekul organik Disperse Red 1 (DR1), suatu turunan azobenzena yang memiliki struktur khas Donor–π–Akseptor (D–π–A). Molekul ini merepresentasikan paradigma penting dalam rekayasa material optoelektronik modern. Struktur DR1, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, tersusun atas tiga komponen utama: gugus donor elektron, jembatan ikatan konjugasi π, dan gugus akseptor elektron. Ketiga bagian ini membentuk sistem konjugasi yang terintegrasi, menghasilkan distribusi muatan yang asimetris dan momen dipol yang besar.

Konfigurasi D–π–A tersebut memberikan dua keunggulan mendasar. Pertama, sistem konjugasi π menurunkan energi transisi elektron, sehingga DR1 mampu menyerap cahaya tampak dengan efisiensi tinggi. Kedua, interaksi antara gugus donor dan akseptor melalui jembatan konjugasi menghasilkan sifat optik nonlinier (NLO) yang kuat, menjadikan DR1 sangat responsif terhadap medan listrik eksternal.

Kombinasi sifat ini menempatkan DR1 sebagai kandidat unggul dalam pengembangan material fotonik dan optoelektronik. Aplikasinya meliputi modulator elektro-optik, perangkat *second harmonic generation* (SHG), sensor optik, serta biosensor untuk deteksi biomolekul. Dengan karakteristik tersebut, DR1 tidak hanya memiliki nilai akademik yang tinggi sebagai model molekul

NLO, tetapi juga nilai strategis dalam pengembangan teknologi masa depan yang berorientasi pada efisiensi energi dan miniaturisasi perangkat optik.



Gambar 1 Molekul DR1

Beberapa aplikasi fotonik yang menonjol dari molekul Disperse Red 1 (DR1) mencakup pandu gelombang optik, modulator elektro-optik, perangkat optik nonlinier (NLO), laser organik/OLED, serta biosensor kanker. Pada pandu gelombang optik, film tipis DR1 berperan sebagai medium pengarah cahaya dengan indeks bias yang dapat dikontrol melalui orientasi molekul, sehingga memungkinkan rekayasa jalur propagasi cahaya secara presisi. Dalam modulator elektro-optik, momen dipol besar yang dimiliki DR1 menghasilkan respons cepat terhadap medan listrik eksternal, mendukung sistem komunikasi optik berkecepatan tinggi dan stabil.

Pada ranah optik nonlinier, DR1 berfungsi sebagai chromophore dengan kemampuan menghasilkan *second harmonic generation* (SHG) dan *switching* optik, yang sangat relevan untuk aplikasi fotonik canggih. Sementara itu, modifikasi DR1 dalam bentuk luminescent membuka peluang pemanfaatan sebagai medium aktif pada laser organik maupun perangkat OLED, memperluas cakupan aplikasi ke bidang optoelektronik konsumen. Yang tidak kalah penting, orientasi tegak dari molekul DR1 dalam film tipis terbukti meningkatkan sensitivitas optik secara signifikan. Hal ini menjadikan DR1 kandidat strategis untuk biosensor kanker dan deteksi biomolekul, sebuah aplikasi yang menghubungkan riset material dengan kebutuhan medis modern.

2 METODE FABRIKASI FILM TIPIS

Dalam teknologi film tipis, metode fabrikasi memegang peranan fundamental dalam menentukan arah pengembangan perangkat, karena setiap metode menghasilkan struktur, orientasi molekul, serta sifat material yang berbeda. Perbedaan ini secara langsung akan memengaruhi performa optik, elektronik, maupun biomedis dari devais yang dihasilkan. Oleh sebab itu, pemilihan metode fabrikasi tidak dapat dipandang semata-mata sebagai aspek teknis, melainkan sebagai keputusan strategi yang menentukan apakah suatu material dapat dioptimalkan untuk aplikasi sensor, optoelektronik, energi, atau bahkan biosensor.

Dengan kata lain, arah pengembangan teknologi film tipis sangat ditentukan oleh kecocokan antara metode fabrikasi dan fungsi target yang ingin dicapai. Keputusan ini mencerminkan bukan hanya keterampilan teknis peneliti, tetapi juga visi strategis dalam menghubungkan sains dasar dengan kebutuhan aplikatif. Pemahaman yang komprehensif terhadap karakteristik metode fabrikasi akan membuka peluang untuk merancang material dengan performa unggul, sekaligus memperkuat posisi riset dalam peta global teknologi fotonik dan optoelektronik.

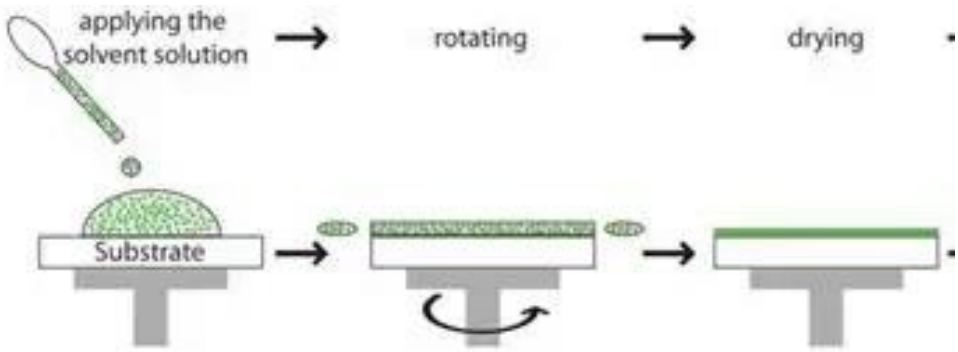
2.1 Metode Fabrikasi Film Tipis konvensional

Untuk metode fabrikasi film tipis konvensional, terdapat tiga pendekatan utama yang banyak digunakan, yaitu *spin coating*, *Langmuir–Blodgett* (LB), dan *Physical Vapor Deposition* (PVD). Masing-masing metode memiliki prinsip kerja, keunggulan, serta keterbatasan yang khas, sehingga pemilihan metode yang tepat sangat bergantung pada jenis material yang digunakan dan aplikasi yang diinginkan.

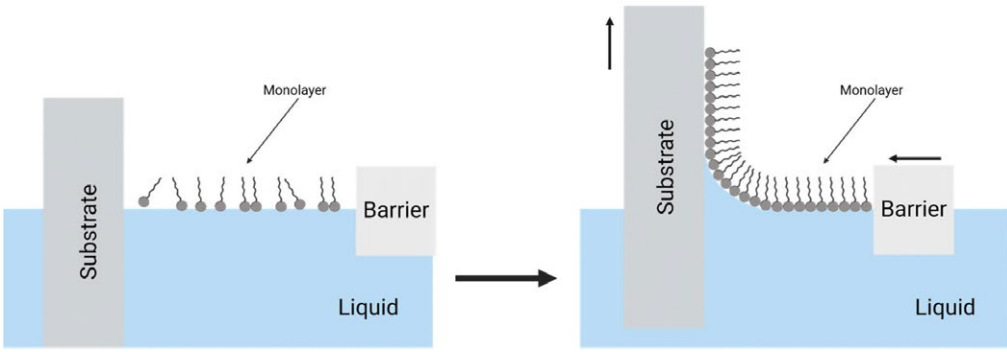
Metode *spin coating* unggul dalam menghasilkan lapisan homogen dengan biaya rendah dan proses yang relatif cepat. Namun, orientasi molekul yang terbentuk cenderung acak, sehingga kurang ideal untuk aplikasi yang menuntut keteraturan molekul. Sebaliknya, metode LB memungkinkan pembentukan monolayer dengan orientasi molekul yang teratur, menjadikannya sangat relevan untuk studi interaksi permukaan dan

biosensor. Keterbatasannya adalah proses yang relatif lama dan hanya sesuai untuk material amfifilik. Adapun PVD menawarkan kemampuan menghasilkan film tipis yang tahan gores, murni dan dengan ketebalan yang dapat dikontrol secara presisi. Kelemahannya terletak pada kebutuhan peralatan vakum yang kompleks dan biaya operasional yang tinggi.

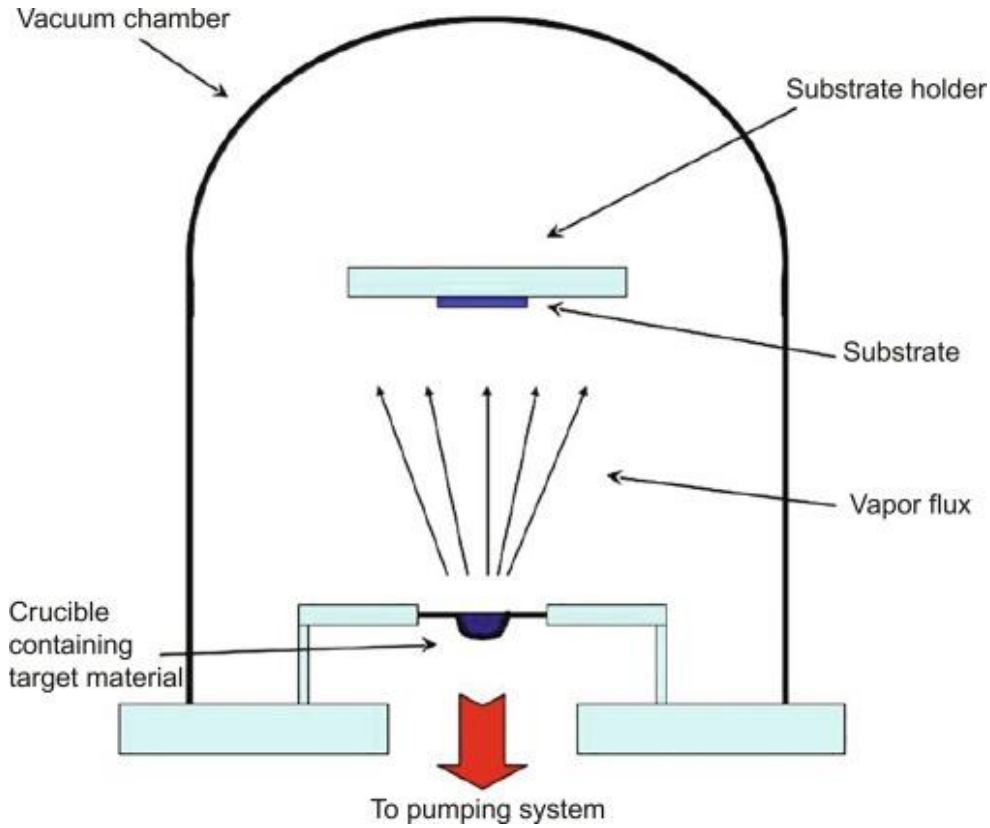
Dengan demikian, pemahaman mendalam terhadap karakteristik masing-masing metode menjadi krusial dalam merancang strategi fabrikasi film tipis untuk aplikasi fotonik, optoelektronik, maupun sensor. Skema peralatan serta mekanisme pendeposisiannya ditunjukkan pada Gambar 2, yang memperlihatkan perbedaan lingkungan proses dan alur deposisi dari ketiga metode tersebut. Perbandingan ini tidak hanya menyoroti aspek teknis, tetapi juga memberikan landasan strategis dalam memilih metode fabrikasi yang paling sesuai dengan kebutuhan riset maupun pengembangan teknologi.



Gambar 2.a Skema peralatan dan mekanisme penumbuhan film dengan metode *spin-coating*



Gambar 2.b Skema peralatan dan mekanisme penumbuhan film dengan metode Langmuir–Blodgett (LB)



Gambar 2.c. Skema peralatan dan mekanisme penumbuhan film dengan metode deposisi vakum (PVD)

Dalam proses fabrikasi dengan metode *spin coating*, sampel terlebih dahulu dilarutkan dalam pelarut yang sesuai dan memastikan homogenitasnya. Setelah larutan siap, sejumlah kecil diteteskan pada substrat yang telah dipersiapkan, kemudian substrat diputar dengan kecepatan tertentu untuk meratakan permukaan larutan (lihat Gambar 2a). Ketebalan film yang terbentuk sangat bergantung pada viskositas larutan, konsentrasi material aktif, serta kecepatan sudut putar substrat. Setelah diperoleh film dengan ketebalan yang diinginkan, pelarut diuapkan baik secara alami maupun dengan bantuan pemanasan, sehingga terbentuk lapisan tipis yang stabil. Pemilihan pelarut yang tepat menjadi faktor krusial, karena pelarut yang tidak sesuai dapat menyebabkan pengeringan tidak merata dan menimbulkan cacat permukaan seperti tekstur kulit jeruk (*orange peel).* Oleh karena itu, kontrol parameter proses mulai dari komposisi larutan, kecepatan putar, hingga kondisi penguapan sangat menentukan kualitas akhir film tipis yang

dihasilkan. Metode ini dikenal sederhana, cepat, dan ekonomis, sehingga banyak digunakan dalam riset maupun aplikasi praktis.

Spin coating paling sering dipakai untuk film polimer organik, perovskite, dan larutan nanopartikel, termasuk DR1. Metode *spin coating* banyak mampu menghasilkan film tipis yang homogen dengan ketebalan terkontrol. Peralatannya relatif terjangkau serta mudah dioperasikan, sehingga menjadikannya pilihan populer baik dalam riset maupun aplikasi praktis. Keunggulan utama metode ini adalah kemampuannya menghasilkan lapisan tipis dengan kualitas permukaan yang baik dalam waktu singkat. Namun, keterbatasan signifikan muncul ketika digunakan untuk pembuatan lapisan multilayer. Hal ini disebabkan oleh sifat prosesnya yang melibatkan pelarutan dan penyebaran larutan baru di atas lapisan sebelumnya, sehingga berpotensi merusak atau melarutkan lapisan yang telah terbentuk. Akibatnya, *spin coating* lebih sesuai untuk pembuatan lapisan tunggal atau struktur sederhana, sementara untuk multilayer dengan orientasi molekul terkontrol biasanya diperlukan metode alternatif seperti Langmuir–Blodgett atau deposisi vakum. Dengan demikian, pemahaman terhadap keunggulan dan keterbatasan *spin coating* menjadi penting dalam menentukan strategi fabrikasi film tipis sesuai kebutuhan aplikasi fotonik maupun optoelektronik

Dalam penggunaan metode Langmuir–Blodgett (LB), molekul-molekul yang akan dijadikan film harus bersifat amfifilik, di mana salah satu gugus ujungnya bersifat hidrofilik dan ujung lainnya bersifat hidrofobik (lihat Gambar 2.b). Ketika molekul-molekul tersebut disebarkan di atas permukaan air, orientasi teratur terbentuk secara spontan: gugus hidrofilik mengarah ke dalam air, sedangkan gugus hidrofobik mengarah ke udara. Monolayer yang terbentuk kemudian dikompresi secara perlahan menggunakan *barrier* hingga mencapai fase padat, dengan tekanan permukaan yang dijaga stabil agar susunan molekul tetap teratur. Kemurnian air yang digunakan menjadi faktor krusial, biasanya menggunakan *ultrapure water*, untuk mencegah kontaminasi yang dapat mengganggu pembentukan monolayer. Setelah itu, film dipindahkan ke substrat yang telah disiapkan melalui proses pencelupan vertikal. Metode ini mampu menghasilkan film monolayer dengan orientasi molekul yang terkontrol, bahkan dapat diperluas menjadi multilayer dengan

mencelupkan substrat berulang kali. Molekul yang umum digunakan antara lain stearic acid, arachidic acid, cetyltrimethylammonium bromide. Keterbatasan metode LB adalah hanya cocok untuk molekul amfifilik dan membutuhkan kontrol presisi terhadap tekanan permukaan, kecepatan transfer, serta kebersihan substrat. Selain itu, peralatannya lebih kompleks dan mahal dibanding *spin coater*, sehingga tidak semua laboratorium mampu memiliki *Langmuir–Blodgett trough*. Meski demikian, metode ini tetap menjadi pilihan utama ketika riset menuntut kontrol orientasi molekul secara presisi, misalnya dalam studi *second harmonic generation* (SHG) dan biosensor.

Metode Physical Vapor Deposition (PVD), sampel dipanaskan di dalam krusibel hingga mengalami perubahan fasa menjadi uap. Uap yang dihasilkan kemudian terdeposisi pada substrat yang berada di atasnya. Untuk mengontrol ketebalan lapisan, proses deposisinya dimonitor menggunakan Quartz Crystal Microbalance (QCM) sehingga ketebalan film yang terbentuk dapat diatur dengan tepat (lihat Gambar 2.c). Sampel yang bisa difabrikasi dengan metode PVD sangat luas: mulai dari logam, oksida, nitrida, karbida, hingga semikonduktor dan molekul organik tertentu.

Beberapa hal penting harus diperhatikan dalam penyiapan film tipis menggunakan metode deposisi vakum. Pertama, material sampel harus murni dan stabil pada suhu deposisi karena adanya kontaminan atau degradasi termal dapat mengganggu kualitas film yang terbentuk. Kedua, tekanan vakum harus dijaga cukup rendah, biasanya berada pada kisaran 10^{-5}–10^{-7} torr, untuk meminimalkan tumbukan partikel dengan molekul gas sehingga aliran atom atau molekul menuju substrat berlangsung bebas hambatan. Ketiga, permukaan substrat harus benar-benar bersih, bebas dari debu, minyak, atau oksida yang tidak diinginkan, karena ketidakmurnian permukaan dapat mengganggu proses penempelan molekul dan menyebabkan cacat struktural. Selain itu, kontrol terhadap laju deposisi, Temperatur substrat, dan arah aliran partikel juga penting untuk memastikan film tipis yang dihasilkan memiliki ketebalan seragam, orientasi molekul yang sesuai, serta sifat optik dan elektronik yang diinginkan. Dengan memperhatikan faktor-faktor tersebut, proses fabrikasi dapat menghasilkan film tipis berkualitas tinggi yang stabil

dan siap diaplikasikan dalam devais fotonik maupun optoelektronik. Perbandingan dari ketiga metode tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Perbandingan metode-metode fabrikasi

Metode	Jumlah Publikasi	Kelebihan	Kekurangan	Pioner
Spin-Coating	20–40 (Scopus)	Sederhana, murah, film homogen	Orientasi molekul acak, perlu annealing	Emslie, Bonner, Peck (1969-an)
Langmuir–Blodgett (LB)	10–15	Monolayer teratur, kontrol orientasi	Sulit skala besar, proses kompleks	I. Langmuir dan K.Blodgett (1920-1930-an)
PVD Konvensional	<10	Deposisi vakum, film tipis keras	Molekul organik mudah rusak, orientasi lemah	Faraday (1857)

Metode fabrikasi seperti spin coating, Langmuir–Blodgett (LB), dan Physical Vapor Deposition (PVD) telah digunakan secara luas dalam pembuatan film tipis berbasis molekul Disperse Red 1 (DR1). Namun, untuk aplikasi fotonik tertentu yang menuntut efisiensi tinggi, diperlukan kontrol tambahan yaitu molekul-molekulnya harus tersusun dengan orientasi sejajar dengan arah tegak lurus substrat. Pengaturan orientasi ini terbukti meningkatkan sifat optik nonlinier (NLO) serta kinerja optoelektronik secara signifikan.

Metode *spin coating* tidak mampu memenuhi kebutuhan tersebut karena orientasi molekul cenderung acak. Metode LB dapat mengakomodasi susunan molekul yang lebih teratur, tetapi terbatas pada molekul amfifilik dan melibatkan penggunaan pelarut, sehingga kurang fleksibel untuk molekul polar seperti DR1. Sementara itu, metode PVD memiliki potensi menghasilkan susunan molekul tegak lurus, namun tidak memberikan kontrol orientasi yang optimum.

Berdasarkan pertimbangan ini, dikembangkanlah metode Electric Field Assisted PVD (EFA-PVD**)** sebagai perluasan dari metode PVD konvensional.

Dengan menambahkan medan listrik eksternal selama proses deposisi, orientasi molekul dapat diarahkan secara presisi, sehingga menghasilkan film tipis dengan sifat optik unggul dan stabilitas yang lebih baik. Keunggulan utama metode ini terletak pada kemampuannya mengintegrasikan kesederhanaan proses PVD dengan kontrol orientasi molekul yang sebelumnya hanya dapat dicapai melalui teknik yang lebih kompleks. Dengan demikian, EFA-PVD tidak hanya menjembatani keterbatasan metode konvensional, tetapi juga membuka peluang baru dalam fabrikasi devais fotonik generasi berikutnya, termasuk pandu gelombang optik, modulator elektro-optik, laser organik, dan sensor berbasis cahaya. Lebih jauh, posisi strategis EFA-PVD dalam teknologi film tipis menegaskan perannya sebagai inovasi metodologis khas Indonesia yang mampu memperkuat riset material organik, meningkatkan reputasi akademik, sekaligus mempercepat komersialisasi perangkat optoelektronik modern di tingkat global.

2.2 Metode Fabrikasi Film dengan Electric Field Assisted PVD (EFA-PVD)

Perangkat ini telah dirancang di Laboratorium Fotonik, KK FMF, FMIPA-ITB untuk menghasilkan film tipis dengan spesifikasi orientasi molekul yang terkontrol dan stabil.

Proses fabrikasi film ini memiliki kemiripan dengan prosedur fabrikasi film menggunakan metode Physical Vapor Deposition (PVD). Secara umum, tahapan prosedurnya dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Penempatan Sampel DR1 ditempatkan pada wadah pemanas (*crucible*) di dalam ruang deposisi.
2. *Bell jar* ditutup rapat, kemudian sistem vakum dijalankan. Vakum dibentuk menggunakan pompa difusi yang didukung oleh *rotary pump*, sehingga tekanan rendah dapat dicapai secara stabil.
3. Setelah tekanan sistem mencapai orde 10^{-5} torr, kondisi dianggap cukup untuk memulai proses deposisi.
4. *Crucible* dipanaskan secara bertahap hingga suhu mencapai sekitar **170 °C**, sehingga molekul DR1 mulai mengalami sublimasi atau evaporasi.

5. Suhu stabil, *shutter* dibuka sehingga molekul DR1 yang teruapkan dapat bergerak menuju substrat. Proses deposisi berlangsung hingga terbentuk lapisan tipis dengan ketebalan dan keteraturan molekul yang diinginkan.

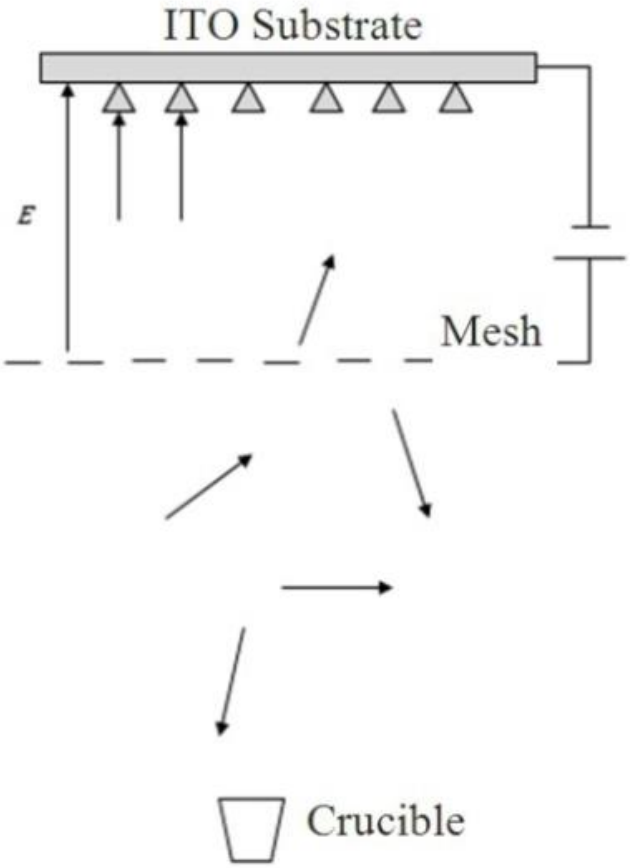
Namun pada fabrikasi dengan metode EFA-PVD, diperlukan langkah-langkah tambahan yang terkait dengan penyiapan unit medan listrik. Dalam hal ini arah medan harus diperhitungkan untuk mengakomodasi efek penjangkaran dan orientasi molekul DR1nya agar sejajar. Setelah siap, medan listrik dihidupkan. Dengan demikian selama proses deposisi berlangsung, molekul akan dikenakan medan listrik secara kontinu. *Shutter* kemudian dibuka sehingga molekul DR1 yang teruapkan bergerak menuju substrat sambil dikenai pengaruh medan listrik. Hal ini memungkinkan terbentuknya film tipis dengan orientasi molekul yang lebih teratur Setelah filmnya terbentuk, pompa dimatikan, dan film siap dikarakterisasi.

Film yang dihasilkan menunjukkan konsistensi struktur serta ketahanan terhadap variasi lingkungan, sehingga sesuai dengan kebutuhan aplikasinya di bidang fotonik dan sensor. Keunggulan metode ini dibandingkan dengan metode konvensional, seperti *spin coating,* Langmuir–Blodgett (LB), maupun Physical Vapor Deposition (PVD), terletak pada kemampuannya mengintegrasikan kesederhanaan proses dengan kontrol orientasi molekul yang presisi. Dengan demikian, metode Electric Field Assisted PVD (EFA-PVD) tidak hanya menjembatani keterbatasan metode konvensional, tetapi juga menghadirkan solusi inovatif yang membuka peluang aplikasi baru dalam perangkat optoelektronik dan biosensor. Posisi strategis EFA-PVD dalam pengembangan teknologi film tipis ditunjukkan secara sistematis pada tabel perbandingan berikut, yang merangkum prinsip kerja, keunggulan, keterbatasan, serta prospek aplikasinya. Melalui perbandingan ini, pembaca dapat menilai secara komprehensif bagaimana EFA-PVD menempatkan Indonesia sebagai pionir dalam riset film tipis organik dengan orientasi molekul terkontrol.

Tabel 2 Perbandingan metode-metode fabrikasi keseluruhan

Metode	Jumlah Publikasi	Kelebihan	Kekurangan	Pioner
Spin-Coating	20–40 (Scopus)	Sederhana, murah, film homogen	Orientasi molekul acak, perlu annealing	Emslie, Bonner, Peck (1969-an)
Langmuir–Blodgett (LB)	10–15	Monolayer teratur, kontrol orientasi	Sulit skala besar, proses kompleks	I. Langmuir dan K.Blodgett (1920-1930-an)
PVD Konvensional	<10	Deposisi vakum, film tipis keras	Molekul organik mudah rusak, orientasi lemah	Faraday (1857)
EFA-PVD (EVA-PVD)	5–8 (dominan di Indonesia)	Orientasi tegak lurus, indeks bias tinggi, orisinalitas riset	Peralatan khusus, publikasi masih terbatas	Herman (FMIPA ITB) (2000-2010 an)

Metode ini merupakan pengembangan dari teknik Physical Vapor Deposition (PVD), dengan menambahkan unit medan listrik eksternal untuk mengorientasikan molekul selama proses deposisi berlangsung. Kehadiran medan listrik memungkinkan molekul polar, seperti Disperse Red 1 (DR1), tersusun secara terarah sehingga menghasilkan film tipis dengan orientasi molekul yang lebih presisi. Keunikan metode ini juga terletak pada adanya mekanisme penjangkaran molekul melalui gugus ujung tertentu yang berinteraksi dengan permukaan substrat. Ikatan hidrogen antara gugus hidroksil (-OH) dari molekul dengan oksida pada substrat, misalnya ITO, berperan penting dalam menstabilkan susunan molekul yang terbentuk. Dengan kombinasi orientasi terarah dan mekanisme penjangkaran ini, film tipis yang dihasilkan memiliki stabilitas struktural, homogenitas morfologi, serta sifat optik yang unggul. Skema proses serta interaksi molekul dengan substrat ditunjukkan pada Gambar 3, yang memperlihatkan bagaimana medan listrik dan ikatan permukaan bekerja secara sinergis dalam *membentuk film tipis berkualitas tinggi. Pendekatan ini menegaskan bahwa* Electric Field Assisted PVD (EFA-PVD) bukan hanya sekadar modifikasi teknis dari PVD konvensional, melainkan sebuah inovasi metodologis yang diharapkan mampu menjawab kebutuhan aplikasi fotonik dan optoelektronik generasi mendatang.



Gambar 3 Skema perangkat EFA-PVD

Dalam perangkat ini, substrat ITO dihubungkan dengan kutub negatif, sedangkan jaring kawat *(mesh*) dihubungkan dengan kutub positif. Konfigurasi tersebut dipilih dengan mempertimbangkan gugus ujung molekul yang akan dijangkar pada substrat, sehingga orientasi molekul dapat diarahkan secara optimal. Medan listrik eksternal yang terbentuk dari konfigurasi ini mampu menarik gugus polar tertentu untuk berinteraksi dengan permukaan substrat, sementara bagian lain dari molekul tetap terorientasi sesuai arah medan. Temperatur krusibel ditetapkan sebesar 173 °C, berdasarkan hasil pengukuran Differential Scanning Calorimetry (DSC) yang menunjukkan titik transisi fasa material. Pada suhu tersebut, sampel telah berubah menjadi fase uap tanpa mengalami degradasi termal, sehingga identitas molekul tetap terjaga selama proses deposisi.

Ketika molekul memasuki daerah yang memiliki medan listrik, interaksi antara momen dipol molekul dengan medan eksternal memicu rotasi orientasi molekul Disperse Red 1 (DR1). Mekanisme ini memaksa gugus ujung tertentu menempel pada substrat, sehingga tercapai susunan molekul yang lebih teratur. Tanpa adanya mekanisme penjangkaran, orientasi dipol cenderung tidak stabil dan dapat membentuk konfigurasi antiparalel, yang menurunkan sifat optik nonlinier material. Dengan adanya medan listrik dan penjangkaran, susunan dipol dapat direalisasikan menjadi paralel, menghasilkan densitas polarisasi yang lebih tinggi dan indeks bias yang lebih besar.

Prinsip ini menjadi dasar penting dalam fabrikasi perangkat fotonik, karena proses yang biasanya rumit dan melibatkan banyak tahapan kini menjadi disederhanakan hanya dengan mengenakan pola medan listrik tertentu pada film tipis. Sebagai contoh, untuk membuat pandu gelombang optik, cukup dengan menerapkan medan listrik yang kuat pada film sehingga terbentuk jalur dengan indeks bias berbeda, dan perangkat tersebut langsung terwujud. Pendekatan ini membuka peluang besar bagi kemudahan fabrikasi berbagai devais fotonik di masa depan, termasuk modulator elektro-optik, sensor berbasis cahaya, dan komponen komunikasi optik generasi baru.

3 METODE KARAKTERISASI FILM TIPIS

Sejalan dengan tahapan fabrikasi, proses karakterisasi struktur dan susunan molekul menjadi krusial untuk diverifikasi kesesuaiannya dengan desain mikroskopiknya. Penting untuk memastikan bahwa proses evaporasi tidak merusak identitas struktur molekul, bahwa penjangkaran terjadi pada gugus ujung yang tepat, serta orientasi molekul dan agregatnya tersusun dengan benar. Selain itu, morfologi permukaan film harus dianalisis guna menilai homogenitas, morfologi, dan kemungkinan cacat yang dapat memengaruhi kinerja aplikasinya. Langkah selanjutnya adalah mengkarakterisasi sifat fisis untuk melihat keterkaitan antara struktur dan orientasi molekul dengan sifat fisisnya. Dalam hal ini, variabel utamanya adalah kuat medan listrik. Dengan medan yang tinggi, susunan molekul cenderung lebih banyak yang tegak, sehingga secara keseluruhan dapat mengubah indeks bias secara signifikan. Karakterisasi struktur yang dilakukan meliputi:

1. Pengecekan struktur molekul saat penguapan untuk memastikan bahwa dalam proses evaporasi identitasya tetap dipertahankan dan tidak mengalami degradasi.
2. Susunan molekul-molekul yang terdeposisi dipastikan tersusun secara vertikal (*head to tail*) dan paralel.
3. Terjadi mekanisme penjangkaran pada substrat melalui ikatan hidrogen dengan senyawa oksida substrat.
4. Molekul-molekul tersusun secara teratur membentuk agregat-H.
5. Morfologi dari permukaannya.

Poin 1 dapat dilakukan dengan spektroskopi FTIR. Poin 2-4 dilakukan dengan spektroskop FTIR, IRRAS dan XRD. Sedangkan poin 5 dilakukan dengan SEM (Scanning Electron Microscopy). Karakterisasi dengan spektroskopi FTIR dilakukan dengan mode transmisi, dengan bilangan gelombang antara 400-4000 cm^{-1}. Interaksi gelombang inframerah dengan molekul akan muncul dalam bentuk spektrum absorbsi dari modus vibrasi molekulnya. Sementara XRD akan muncul berupa puncak-puncak difraksi pada sudut-sudut yang berkaitan dengan adanya susunan teratur dari molekul-molekulnya. Dan ini juga bisa menunjukkan susunan dan orientasi

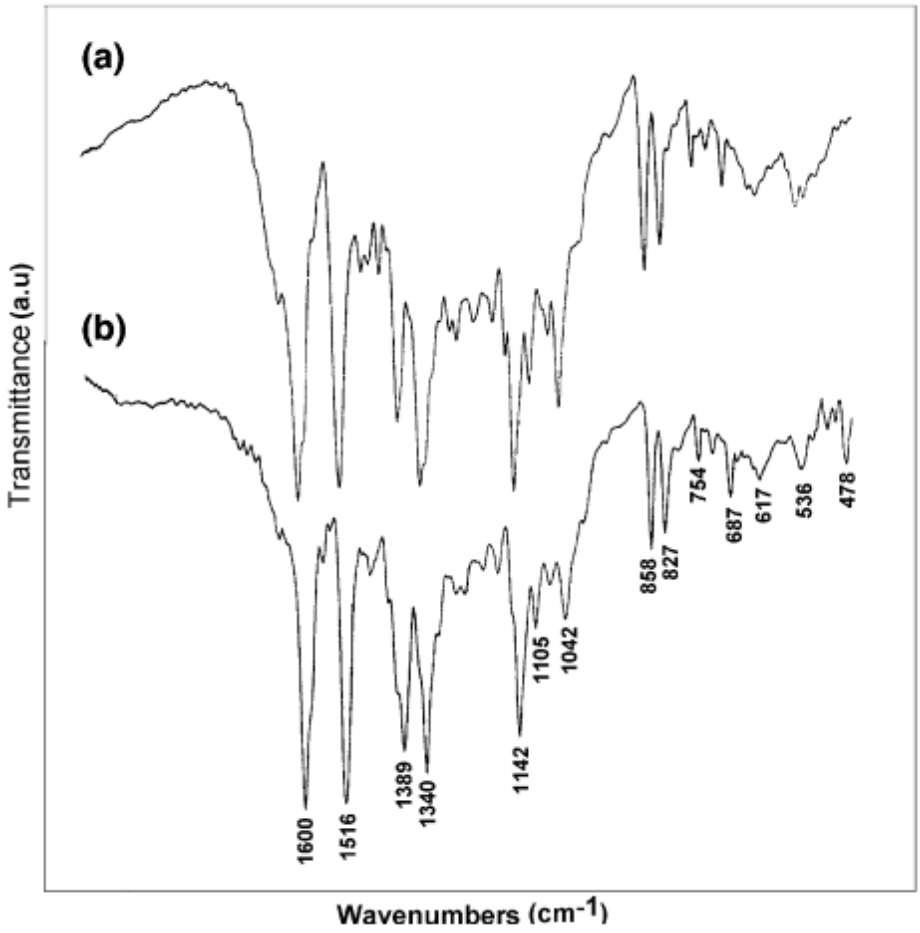
molekulnya. Karakterisasi film dengan IRRAS, dilakukan dengan menggunakan gelombang IR yang terpolarisasi. Hal ini dilakukan dengan mengenakan polatisator modus TM. Sudut datangnya dibuat mendekat 90^0 (*grazing angle*) agar komponen medan litrik yang tegak lurus dengan permukaan menjadi besar dan sinyal absorbsi dari gugus ujung molekul yang menempel di substrat dapat diamati dengan jelas. Spektroskopi ini digunakan untuk memastikan terjadi mekanisme penjangkaran pada molekul oleh substrat.

3.1 Karakterisasi Molekul Disperse Red 1 (DR1) yang di Evaporasi

Meskipun hasil pengukuran DSC menunjukkan bahwa pemanasan hingga 173 °C tidak menyebabkan degradasi pada molekul DR1, verifikasi tetap diperlukan. Untuk itu, uap yang terdeposisi pada substrat dikikis, kemudian dicampur dengan bubuk KBr untuk dibuat menjadi tablet. Spektrum FTIR dari kedua sampel, yaitu serbuk DR1 asli dan serbuk DR1 yang diperoleh melalui proses evaporasi, ditampilkan pada Gambar 4.

Dengan membandingkan pola puncak-puncak absorpsi dari kedua sampel, terlihat bahwa keduanya identik (lihat Tabel 3). Kesamaan ini menunjukkan bahwa struktur molekul Disperse Red 1 (DR1) setelah dipanaskan tidak mengalami perubahan signifikan. Stabilitas tersebut menegaskan bahwa ikatan azo (-N=N-) dan sistem aromatik dalam DR1 cukup kuat untuk menahan energi termal tanpa terjadi degradasi. Hasil ini sekaligus mengonfirmasi bahwa perlakuan termal tidak memengaruhi sifat optik dasar DR1, sehingga metode ini layak digunakan dalam fabrikasi film tipis. Temuan ini juga memperkuat asumsi bahwa proses evaporasi pada suhu yang ditetapkan mampu mempertahankan integritas molekul, sehingga orientasi molekul yang dihasilkan melalui medan listrik eksternal tetap relevan dengan desain awal. Dengan demikian, DR1 dapat diposisikan sebagai material yang stabil secara termal sekaligus memiliki potensi besar untuk digunakan pada aplikasi fotonik, baik dalam perangkat pandu gelombang, modulator elektro-optik, maupun biosensor optik. Kesimpulan ini memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi pengembangan metode Electric Field Assisted PVD (EFA-PVD),

karena kualitas film tipis yang dihasilkan tidak akan dirusak oleh proses pemanasan.

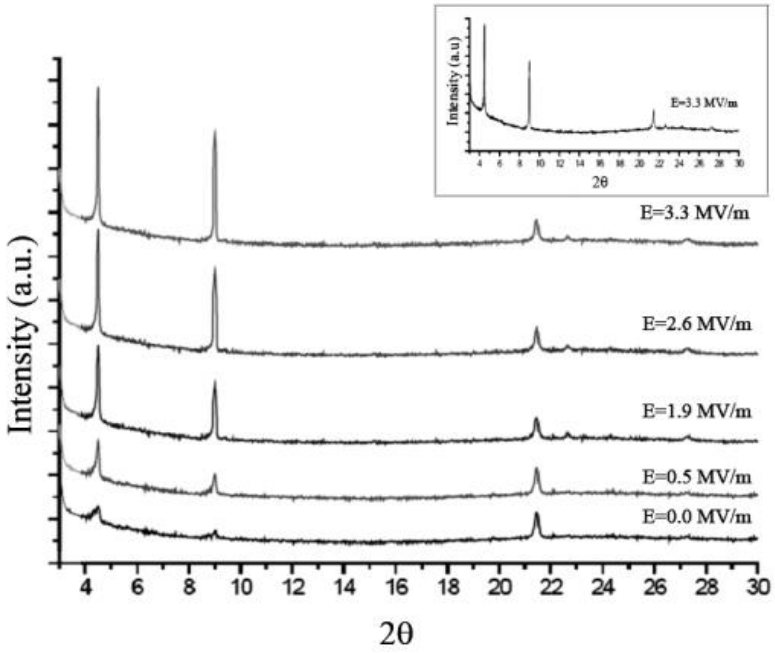


Gambar 4 Spektrum FTIR dari serbuk DR1 murni (a) dan serbuk hasil evaporasi pada temperatur 173 °C (b)

Tabel 3 Identifikasi puncak-puncak absobsi utama dari DR1

Frequency (cm^{-1})	Mode assignment [19,20]	Vibration direction with respect to *c*-axis
1601	C=C stretching in skeletal	∥
1514	NO_2 asymmetric stretching	⊥
1389	N=N stretching	∥
1340	NO_2 symmetric stretching	∥
1142	C–N stretching of aliphatic amine	∥
858	C–H (out-of-plane bending) nearby NO_2	⊥
824	C–H (out-of-plane bending) of aromatic	⊥

3.2 Pola difraksi XRD dari film EVA-PVD

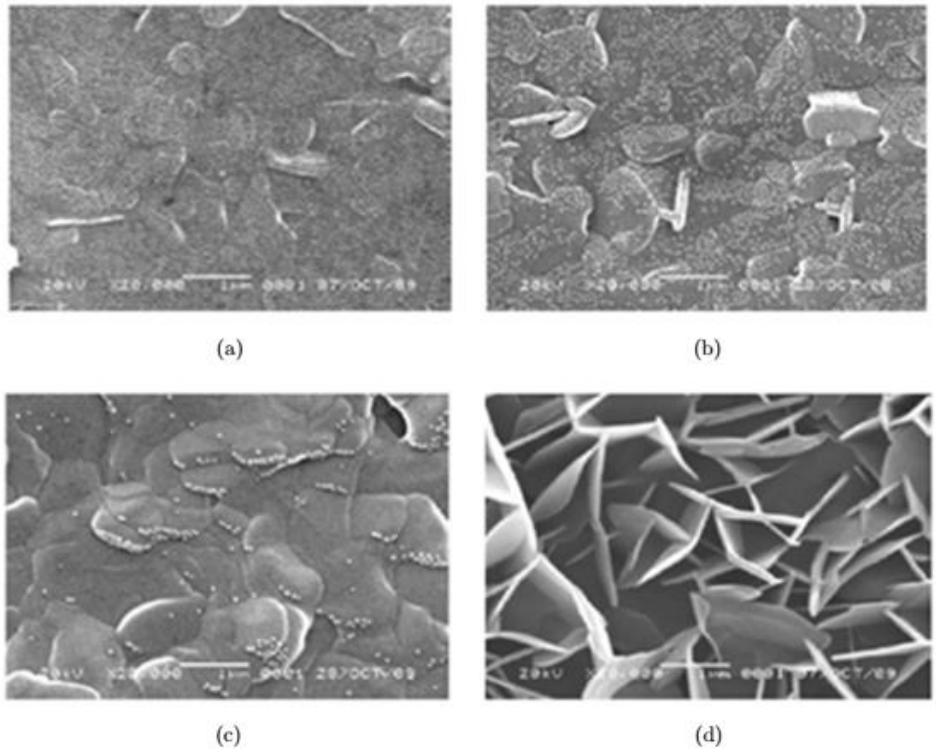


Gambar 5 Pola difraksi XRD dari film DR1 yang dideposisikan pada substrat ITO dengan pengenaan medan listrik eksternal berbagai kekuatan ke arah menuju substrat. Sisipan gambar menunjukkan pola XRD dari sampel yang dideposisikan dengan medan listrik E = 3,3 MV/m yang diukur tiga bulan kemudian

Pola XRD dari film yang dideposisikan dengan berbagai kuat medan menunjukkan dua kelompok puncak utama. Puncak pada 2θ di bawah 10° berkaitan dengan susunan molekul tegak lurus (vertikal), sedangkan puncak pada 2θ di atas 20° merepresentasikan susunan molekul sejajar (horizontal). Puncak difraksi yang tajam ditemukan berkorelasi dengan penumpukan vertikal periodik dari molekul DR1 dengan periodisitas sebesar 19,62 Å, yang konsisten dengan panjang konfigurasi molekul dalam keadaan teregang penuh. Temuan ini menegaskan bahwa medan listrik eksternal mampu mengarahkan orientasi molekul secara signifikan, sehingga menghasilkan struktur kristalin dengan keteraturan tinggi. Selain itu, keberadaan puncak-puncak difraksi yang jelas menunjukkan bahwa film tipis yang terbentuk memiliki kualitas struktural yang baik, dengan tingkat homogenitas dan stabilitas yang sesuai untuk aplikasi fotonik. Analisis ini sekaligus memberikan bukti eksperimental bahwa mekanisme orientasi molekul melalui medan listrik tidak hanya memengaruhi arah susunan molekul, tetapi juga memperkuat keteraturan periodik yang menjadi dasar bagi peningkatan sifat optik nonlinier (NLO). Dengan demikian, karakterisasi XRD menjadi salah satu metode kunci dalam memvalidasi keberhasilan proses Electric Field Assisted PVD (EFA-PVD) dalam menghasilkan film tipis DR1 dengan orientasi molekul yang terkontrol.

Hasil pengukuran SEM dari sampel DR1 ditunjukkan pada Gambar 6. Untuk medan listrik yang tinggi, terlihat adanya pola morfologi menyerupai dinding-dinding vertikal yang semakin jelas seiring dengan bertambahnya kuat medan. Pola ini menunjukkan adanya keteraturan struktural yang khas, yang dapat dikaitkan dengan susunan molekul DR1 dalam konfigurasi *head-to-tail* yang membentuk kristal. Kehadiran struktur menyerupai dinding tersebut merupakan indikasi bahwa medan listrik eksternal tidak hanya mengarahkan orientasi molekul, tetapi juga memperkuat keteraturan periodik dalam skala mikroskopik.

3.3 Image SEM dari film EVA-PVD



Gambar 6 Citra SEM dari film DR1 yang dideposisikankan dengan medan listrik E bervariasi, yaitu (a) E = 0, (b) E = 0,59 MV/m, (c) E = 1,9 MV/m, dan (d) E = 3,3 MV/m, diambil bersamaan dengan pengukuran XRD

Hasil-hasil ini memberikan bukti eksperimental bahwa film tipis DR1 yang dideposisikan pada substrat ITO dengan metode PVD yang dilengkapi unit medan listrik *(*Electric Field Assisted PVD, *EFA-PVD)* memperlihatkan struktur kristalin dengan susunan molekul *head-to-tail* yang terkontrol. Dengan demikian, metode ini terbukti mampu menghasilkan film tipis dengan morfologi yang homogen, stabilitas orientasi yang tinggi, serta kualitas struktural yang dibutuhkan untuk aplikasi fotonik dan optoelektronik. Temuan ini sekaligus menegaskan bahwa integrasi medan listrik dalam proses deposisi merupakan langkah strategis untuk meningkatkan performa material organik dalam devais optik generasi baru.

3.4 Spektrum UV-Vis dari Film EVA-PVD

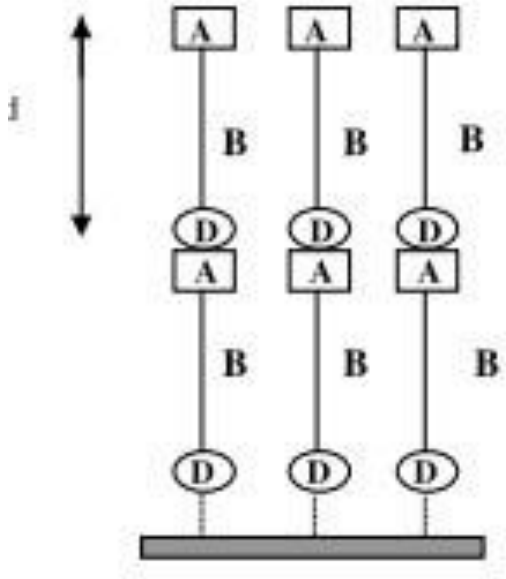
Secara periodik dalam orientasi vertikal, hasil pengukuran serapan optik memberikan bukti terbentuknya susunan polar paralel (*H-agregat)* dari molekul yang terdeposisi pada substrat, yang menawarkan potensi besar untuk aplikasi Second Harmonic Generation (SHG). Analisis spektral secara rinci terhadap data IRRAS mengungkap adanya mekanisme penjangkaran molekul pada permukaan substrat, yang terjadi akibat interaksi kuat antara gugus ujung Hydrozyl –OH dari DR1 dengan senyawa oksida pada substrat ITO. Mekanisme ini berperan penting dalam menstabilkan susunan molekul yang terbentuk di dalam film, sehingga orientasi paralel dapat dipertahankan dalam jangka panjang.

Berikut ini ditampilkan visualisasi dari susunan molekul Disperse Red 1 (DR1) dalam konfigurasi *head-to-tail* yang tersusun paralel secara vertikal. Ilustrasi ini memperlihatkan bagaimana medan listrik eksternal berperan dalam mengarahkan orientasi dipol molekul sehingga tercapai keteraturan struktural yang tinggi. Gugus Hydrozyl -OH dari DR1 berinteraksi langsung dengan permukaan substrat ITO melalui ikatan hidrogen. Mekanisme penjangkaran ini menstabilkan orientasi molekul dan mencegah terbentuknya konfigurasi antiparalel yang dapat menurunkan sifat optik nonlinier.

Susunan paralel vertikal ini menghasilkan agregat polar yang teratur, yang menjadi dasar peningkatan fenomena *second harmonic generation* (SHG) dan efisiensi optoelektronik. Visualisasi tersebut sekaligus menegaskan bahwa metode Electric Field Assisted PVD (EFA-PVD) mampu menghasilkan film tipis dengan orientasi molekul yang presisi, stabilitas jangka panjang, serta kualitas optik yang unggul. Dengan struktur seperti ini, DR1 dapat berfungsi sebagai material aktif dalam berbagai devais fotonik, seperti: modulator elektro-optik, sensor cahaya, dan pandu gelombang optik.

Setelah menunjukkan berbagai efek yang diinduksi oleh medan listrik, langkah berikutnya adalah memeriksa dan memverifikasi susunan polar molekul secara spesifik dalam film yang terdeposisi melalui analisis spektrum UV–Vis dalam mode transmisi. Spektrum yang dihasilkan, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 7, menunjukkan maksimum pita serapan lebar pada

402 nm dengan bahu lemah di sekitar 500 nm. Berdasarkan laporan sebelumnya, pita lebar tersebut merupakan superposisi dari dua pita yang saling tumpang tindih: satu berasal dari molekul dalam susunan polar paralel (H-agregat), dan satu lagi dari molekul terisolasi. Tidak ditemukan kontribusi dari molekul dalam agregat anti-paralel dari pita ini, menandakan dominasi susunan polar paralel dalam film.

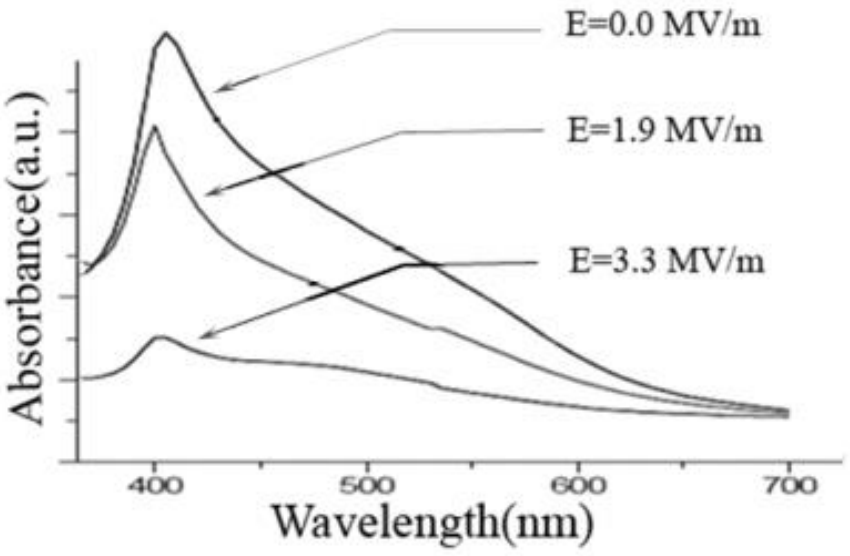


Gambar 7 Model susunan molekul vertikal dengan konfigurasi *head-tail*

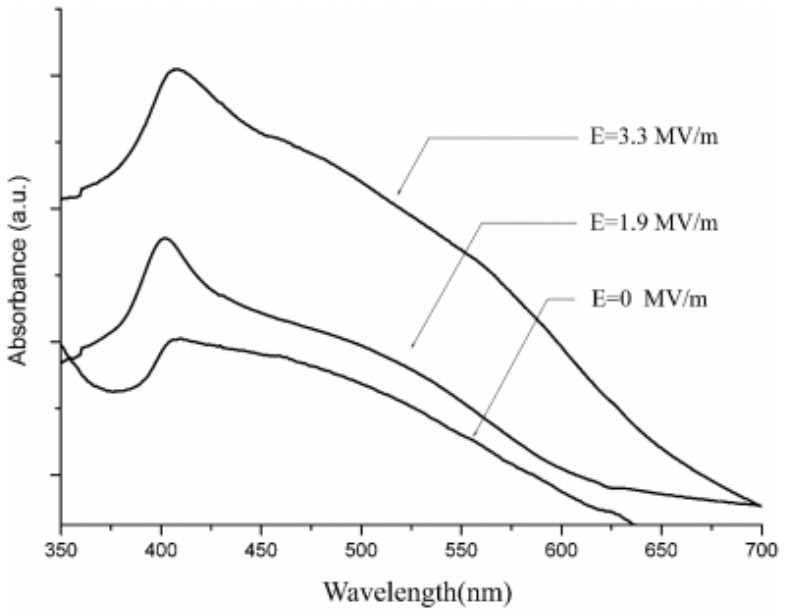
Dari spektrum tampak bahwa intensitas serapan meningkat seiring dengan bertambahnya kuat medan listrik yang diterapkan. Fenomena ini dapat dijelaskan dengan mempertimbangkan arah osilasi medan listrik dari berkas cahaya probe yang sejajar dengan substrat pada sudut datang normal. Karena cahaya datang sejajar dengan permukaan, maka pita serapan tersebut terutama berasal dari molekul-molekul yang berbaring sejajar dengan substrat dalam susunan polar paralel, bukan dari molekul yang terdeposisi secara vertikal. Penurunan intensitas serapan pada sampel dengan medan listrik lebih kuat menunjukkan peningkatan jumlah molekul yang terorientasi secara vertikal, atau secara ekuivalen, berkurangnya molekul yang berorientasi sejajar dengan substrat.

Kesimpulan ini diperkuat oleh hasil pengukuran dalam mode refleksi yang ditampilkan pada Gambar 8. Dalam pengukuran tersebut, berkas cahaya datang dengan sudut besar, menghasilkan komponen medan listrik yang berosilasi sejajar dengan molekul yang terdeposisi secara vertikal. Komponen ini berinteraksi efektif dengan molekul DR1 yang tersusun tegak, sehingga memberikan kontribusi utama pada spektrum serapan yang terdeteksi. Variasi absorbansi puncak pada 402 nm yang bergantung pada kuat medan menunjukkan tren peningkatan yang jelas, menegaskan bahwa medan listrik yang lebih kuat meningkatkan jumlah molekul yang terdeposisi secara vertikal dalam susunan polar paralel.

Hasil ini melengkapi data XRD dan SEM yang telah dibahas sebelumnya, memberikan bukti tambahan mengenai peran krusial medan listrik dalam pembentukan keteraturan polar paralel dari agregat molekul dalam film yang terdeposisi. Temuan ini sekaligus memperkuat dasar ilmiah bagi pengembangan metode Electric Field Assisted PVD (EFA-PVD) sebagai pendekatan efektif untuk menghasilkan film tipis dengan orientasi molekul yang terkontrol dan sifat optik unggul.



Gambar 8 Spektrum serapan UV–Vis dari film DR1 yang didesposisi dengan berbagai medan listrik terapan, diukur dalam mode transmisi.



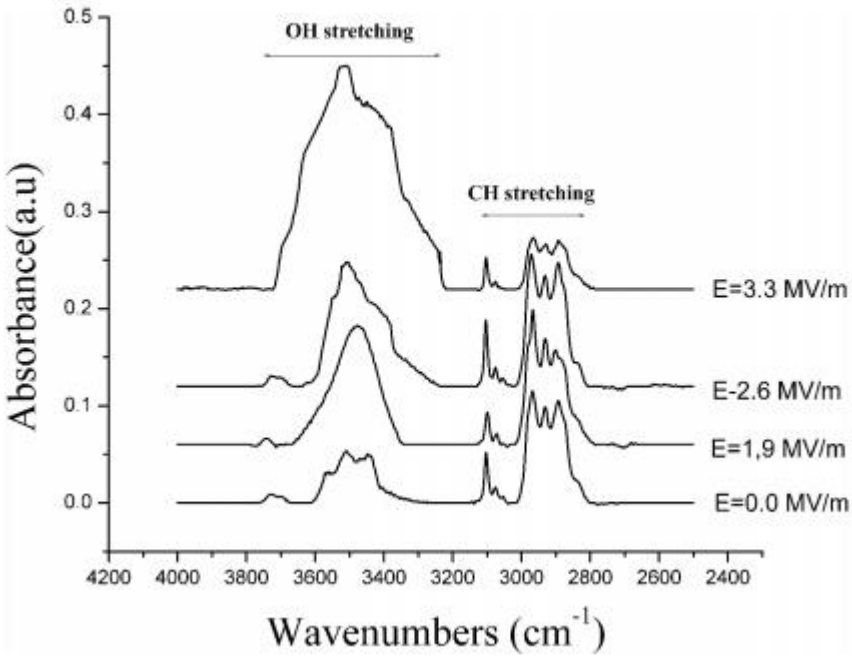
Gambar 9 Spektrum serapan UV–Vis dari film DR1 yang diukur dalam mode refleksi untuk sampel yang sama seperti ditunjukkan pada Gambar 8.

3.5 Spektrum IRRAS dari Film EVA-PVD

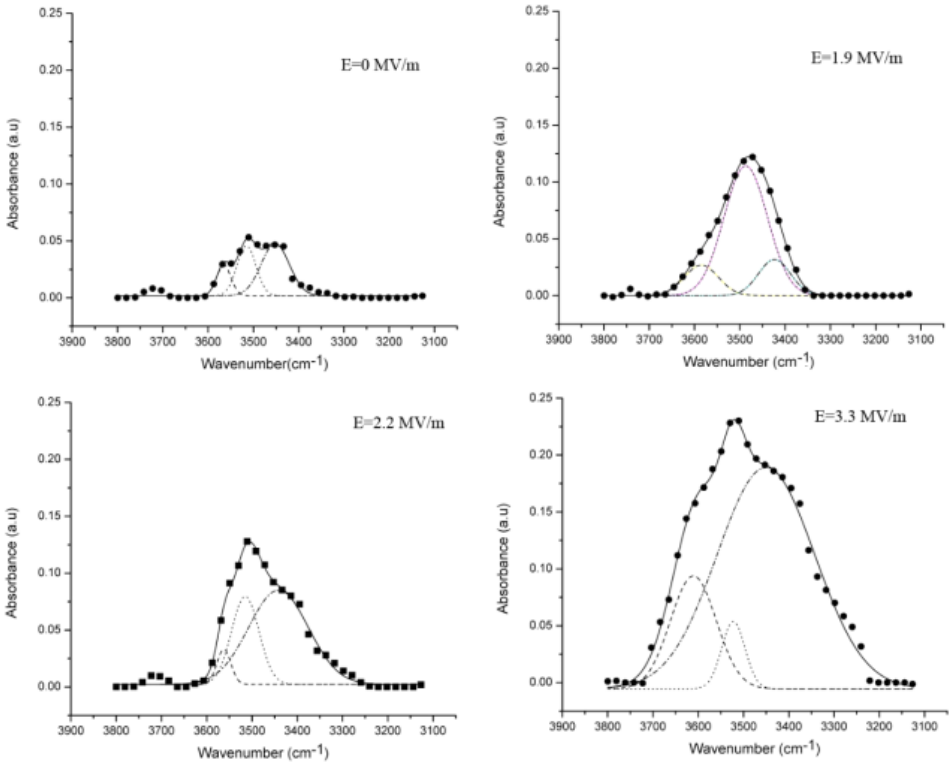
Masih terdapat satu isu mendasar yang perlu dibahas dalam studi ini, yaitu mekanisme fisik yang bertanggung jawab atas pembentukan dan stabilisasi *H-agregat* paralel pada molekul DR1 yang terdeposisi. Stabilitas luar biasa dari susunan ini mengindikasikan adanya peran ikatan molekul antara molekul yang terdeposisi dengan substrat, yang kemungkinan besar disebabkan oleh ikatan hidrogen antara komponen oksida dari substrat ITO dan gugus ujung hidroksil dari molekul DR1. Kemungkinan ini diteliti melalui pengukuran dan analisis data IRRAS yang ditunjukkan pada Gambar 10. Fokus utama diarahkan pada pita serapan OH yang muncul antara 3200–3700 cm^{-1}, di mana terdeteksi tiga puncak lebar pada 3458 cm^{-1}, 3515 cm^{-1}, dan 3562 cm^{-1}. Puncak-puncak ini secara tentatif diatribusikan pada mode regangan OH dari ikatan hidrogen yang terkait dengan tiga lingkungan ikatan berbeda:

1. Ikatan hidrogen antar molekul dalam rantai DR1 yang tersusun vertikal,
2. Ikatan hidrogen antara gugus ujung hidroksil DR1 dengan senyawa oksida In_2O_3, dan
3. Ikatan hidrogen dengan SnO_2 pada substrat ITO.

Penentuan spesifik dari masing-masing komponen serapan dilakukan dengan menganalisis variasi yang bergantung pada kuat medan listrik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 11. Kontribusi relatif dari komponen spektral yang saling tumpang tindih terlihat berubah secara nyata dengan meningkatnya kuat medan listrik yang diterapkan selama deposisi. Perubahan ini dapat digunakan untuk melacak asal dari ketiga pita tersebut sekaligus menguraikan lebih jelas mekanisme fisik yang mendasarinya. Untuk tujuan ini, masing-masing pita spektral lebar diuraikan menjadi komponen-komponen berbeda menggunakan metode Gaussian curve fitting. Hasil *best fit* yang ditunjukkan pada Gambar 11 memperlihatkan konsistensi tiga komponen utama dengan posisi puncak tetap pada 3458 cm^{-1}, 3515 cm^{-1}, dan 3562 cm^{-1}, sehingga memperkuat hipotesis bahwa ikatan hidrogen berperan krusial dalam menstabilkan susunan polar paralel molekul DR1 dalam film tipis yang difabrikasi dengan metode EFA-PVD.



Gambar 10 Spektrum IRRAS dari film DR1 yang selama deposisi dikenakan variasi medan listrik.



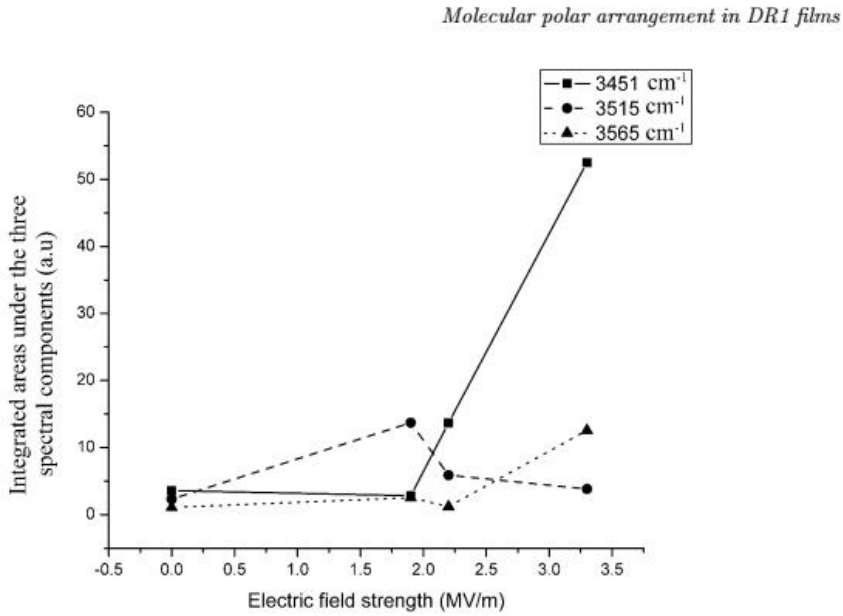
Gambar 11 Variasi absorbansi dari tiga komponen spektral yang terpisah dengan baik pada pita serapan OH yang lebar, dengan puncak pada 3458 cm^{-1}, 3515 cm^{-1}, dan 3562 cm^{-1} dalam rentang 3100–3800 cm^{-1}, untuk sampel yang disiapkan dengan E = 0, 1,9 MV/m, 2,6 MV/m, dan 3,3 MV/m. Perlu dicatat bahwa bilangan gelombang puncak dari komponen identik tersebut tetap tidak berubah.

Puncak pada 3515 cm^{-1} dan 3562 cm^{-1} ditemukan dalam pita spektral yang ditampilkan pada Gambar 8 untuk kondisi E = 0 MV/m. Posisi kedua puncak ini tetap praktis tidak berubah sepanjang variasi medan listrik yang dipertimbangkan, menandakan bahwa lingkungan ikatan hidrogen yang terkait relatif stabil terhadap perubahan medan. Namun demikian, gambar tersebut dengan jelas menunjukkan adanya variasi intensitas komponen spektral yang bergantung pada kuat medan listrik. Untuk mengkuantifikasi analisis ini, luas (intensitas) masing-masing pita dihitung dan diplot terhadap medan listrik yang diterapkan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9.

Hasil analisis memperlihatkan bahwa ketiga komponen spektral memberikan kontribusi yang hampir sama kecil terhadap pita serapan lemah pada sampel yang diperoleh tanpa medan listrik. Hal ini konsisten dengan

intensitas XRD yang rendah pada sampel yang sama, yang mencerminkan panjang tumpukan molekul yang pendek, jumlah ikatan hidrogen *head-to-tail* yang terbatas, serta densitas kemasan rendah akibat sedikitnya molekul DR1 yang terdeposisi dengan ikatan –OH pada substrat ITO. Sebaliknya, untuk sampel yang dipreparasi dengan medan listrik sebesar 1,9 MV/m, komponen dengan puncak pada 3515 cm^{-1} tampak memberikan kontribusi dominan. Fenomena ini menandakan adanya peningkatan panjang tumpukan molekul DR1 yang terdeposisi secara signifikan, sejalan dengan data XRD yang menunjukkan keteraturan struktural lebih tinggi.

Dengan demikian, analisis IRRAS yang dikombinasikan dengan data XRD memberikan bukti kuat bahwa medan listrik eksternal berperan penting dalam memperpanjang tumpukan molekul DR1 melalui mekanisme ikatan hidrogen, sehingga menghasilkan susunan polar paralel yang lebih stabil dan teratur. Temuan ini memperkuat hipotesis bahwa medan listrik bukan hanya sekadar mengarahkan orientasi molekul, tetapi juga meningkatkan kualitas kristalin film tipis melalui penguatan interaksi molekul–substrat.



Gambar 12 Penyajian kuantitatif variasi absorbansi (luas terintegrasi) dari tiga komponen spektral yang ditunjukkan pada Gambar 11 untuk film yang disiapkan dengan berbagai kekuatan medan listrik terapan.

Hal ini menjadi dasar untuk mengonfirmasi penetapan komponen spektral 3515 cm^{-1} sebagai ikatan OH antarmolekul dalam molekul DR1 yang tersusun vertikal. Untuk sampel yang dipreparasi dengan medan listrik lebih tinggi, dua komponen spektral lainnya yang terkait dengan puncak serapan pada 3458 cm^{-1} dan 3562 cm^{-1} tampak meningkat lebih cepat, sehingga melampaui dominasi relatif pita 3515 cm^{-1} pada medan listrik yang lebih rendah. Puncak-puncak ini diasosiasikan dengan ikatan OH pada permukaan ITO, yang melibatkan senyawa In_2O_3 dan SnO_2, dan diharapkan bertambah seiring dengan meningkatnya jumlah molekul yang terdeposisi pada substrat. Hasil ini mengimplikasikan bahwa proses deposisi molekul yang terorientasi medan relatif tidak efektif untuk E < 1,9 MV/m, sebagaimana disarankan oleh perhitungan model sederhana yang disebutkan sebelumnya. Peningkatan lebih lanjut dari kuat medan listrik diperkirakan akan menghasilkan pertumbuhan dua pita yang berbeda tersebut, seiring dengan bertambahnya jumlah agregat polar paralel yang terdeposisi pada substrat. Perlu dicatat bahwa kedua pita tersebut tetap memiliki rasio intensitas relatif yang kurang lebih sama pada berbagai medan listrik di atas 1,9 MV/m, dengan pita pada 3458 cm^{-1} secara konsisten menunjukkan kontribusi yang lebih besar, sesuai dengan konsentrasi SnO_2 yang jauh lebih tinggi (sekitar 90 wt.%) dibandingkan In_2O_3. Oleh karena itu, pita yang lebih besar pada 3458 cm^{-1} secara alami diasosiasikan dengan mode regangan OH yang melibatkan SnO_2. Sementara itu, penurunan relatif pita serapan 3515 cm^{-1} dengan meningkatnya medan listrik dapat disebabkan oleh meningkatnya kecenderungan molekul DR1 untuk diarahkan langsung ke "landasan" datar ITO di bawah pengaruh medan yang lebih kuat, alih-alih menempel pada ekor kecil molekul yang telah terdeposisi sebelumnya.

3.6 Pengukuran Indeks Bias Film

Indeks bias merupakan parameter optik yang krusial dalam perancangan devais fotonik, karena menentukan bagaimana cahaya dibelokkan, difokuskan, dan ditransmisikan melalui suatu material. Tanpa pengendalian indeks bias yang tepat, perangkat berbasis optik seperti lensa, pandu gelombang maupun sensor tidak akan mampu mencapai tingkat presisi, efisiensi, serta kualitas performa yang diharapkan. Oleh karena itu,

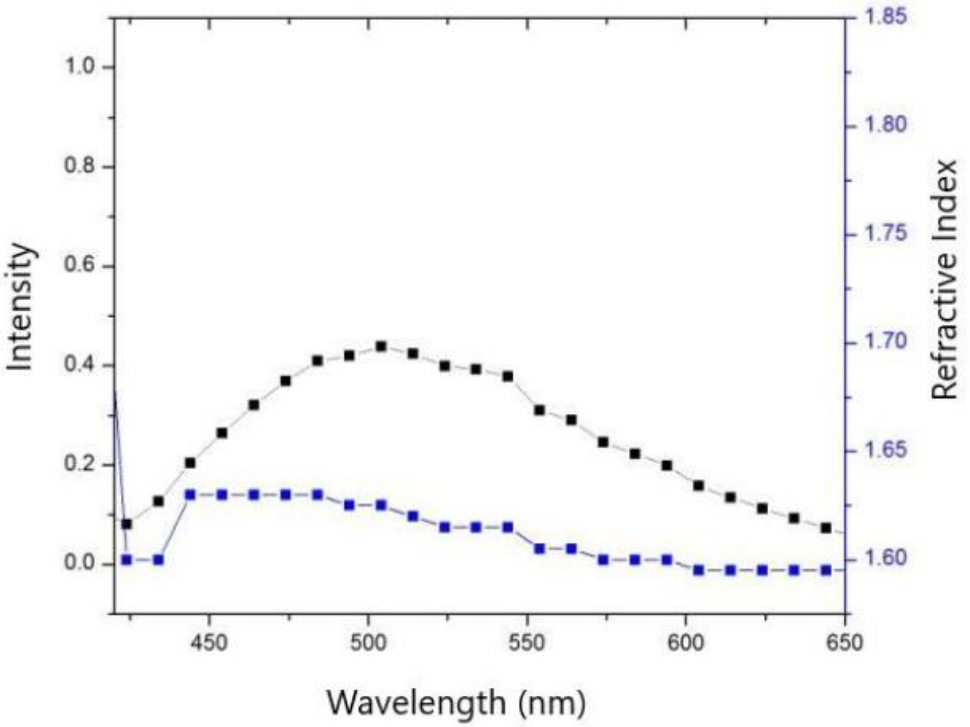
pengendalian indeks bias melalui rekayasa material dan metode fabrikasi menjadi salah satu fokus utama dalam pengembangan teknologi fotonik modern.

Dalam penelitian ini, material yang digunakan adalah molekul polar Disperse Red 1 (DR1), yang dikenal memiliki sifat nonlinier optik kuat dan sensitivitas tinggi terhadap medan listrik. Fabrikasi film dilakukan dengan metode Electric Field Assisted Physical Vapor Deposition (EFA-PVD), di mana medan listrik dikenakan secara.tegak lurus terhadap substrat selama proses deposisi untuk mengendalikan orientasi molekul. Dengan pendekatan ini diharapkan akan terjadi pengendalian indeks bias melalui kontrol orientasi molekul, sehingga sifat optik film dapat diatur secara sistematis. Untuk mengevaluasi sejauh mana orientasi molekul akan memengaruhi nilai indeks bias, maka perlu dilakukan pengukuran indeks bias pada film yang dihasilkan.

Pengukuran ketebalan dan indeks bias film dilakukan menggunakan reflektometer, dengan konfigurasi cahaya datang tegak lurus terhadap substrat. Nilai indeks bias ditentukan melalui metode interferensi berkas ganda, yang memungkinkan estimasi parameter optik dengan akurasi tinggi. Untuk itu spektrum refleksi diukur menggunakan spectrometer *Ocean Optic,* dengan cahaya datang dan cahaya pantul diarahkan tegak lurus terhadap permukaan material. Data reflektansi yang diperoleh kemudian di-*fitting* menggunakan program simulasi yang telah dikembangkan, sehingga diperoleh nilai indeks bias dan ketebalan film tipis secara kuantitatif.

Pengukuran dilakukan secara bertahap sesuai struktur film tipis multilayer. Pertama, indeks bias lapisan ITO diukur sebagai parameter awal yang wajib dimasukkan ke dalam simulasi, karena sifat optik ITO akan memengaruhi hasil pengukuran pada lapisan di atasnya. Selanjutnya, data tersebut digunakan untuk menentukan indeks bias lapisan kedua. Jika terdapat lapisan tambahan, maka data dari lapisan sebelumnya digunakan sebagai dasar untuk menentukan indeks bias lapisan berikutnya. Dengan cara ini, profil optik multilayer dapat diperoleh secara akurat, sehingga memberikan gambaran menyeluruh mengenai sifat optik sistem film tipis yang dikembangkan.

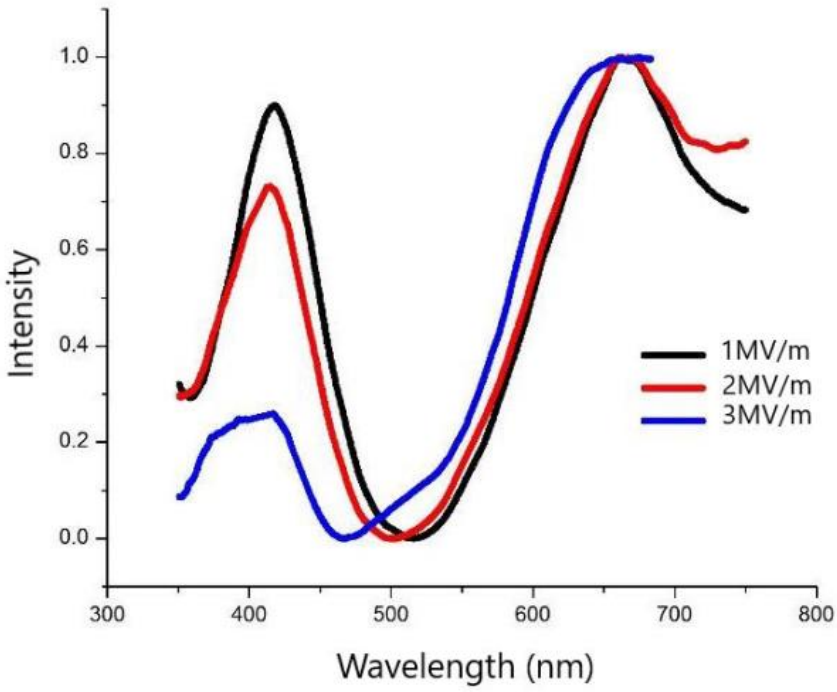
Spektrum hasil pengukuran variasi indeks bias dan intensitas refleksi dari substrat ITO terhadap panjang gelombang ditunjukkan pada Gambar 13. Data ini memberikan informasi mendasar mengenai sifat optik ITO, yang berfungsi sebagai lapisan dasar dalam struktur film tipis. Variasi indeks bias terhadap panjang gelombang mencerminkan perilaku dispersi material, sedangkan perubahan intensitas refleksi menunjukkan interaksi cahaya dengan permukaan substrat. Analisis spektrum ini sangat penting karena nilai indeks bias ITO akan memengaruhi akurasi pengukuran pada lapisan film tipis di atasnya. Dengan demikian, karakterisasi awal terhadap substrat ITO menjadi langkah krusial dalam memastikan keandalan simulasi danpenentuan parameter optik multilayer secara keseluruhan.



Gambar 13 Variasi indeks bias (ditandai dengan kotak biru) dan intensitas refleksi (ditandai dengan kotak hitam) terhadap panjang gelombang pada substrat ITO.

Spektrum refleksi dari film DR1 sebagai fungsi panjang gelombang ditunjukkan pada Gambar 14. Hasil pengukuran ini memperlihatkan bahwa intensitas spektrum refleksi menurun seiring dengan meningkatnya medan

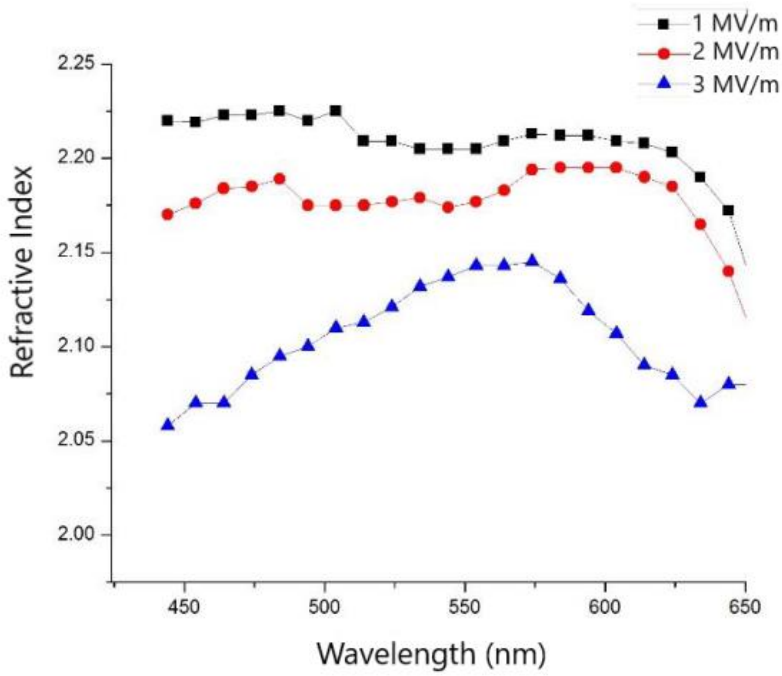
listrik yang diterapkan selama proses deposisi. Fenomena ini menunjukkan adanya perubahan orientasi molekul akibat pengaruh medan listrik, yang secara langsung memengaruhi sifat optik film tipis. Melalui simulasi, diperoleh bahwa ketebalan setiap film tipis berada pada kisaran 233 nm, nilai yang konsisten dengan hasil fabrikasi menggunakan metode Electric Field Assisted Physical Vapor Deposition (EFA-PVD). Ketebalan yang relatif seragam ini menjadi dasar penting untuk analisis lebih lanjut mengenai hubungan antara orientasi molekul, indeks bias, dan respons optik film DR1. Dengan demikian, data reflektansi dan hasil simulasi tidak hanya memberikan informasi kuantitatif mengenai ketebalan film, tetapi juga memperkuat pemahaman tentang mekanisme pengendalian indeks bias melalui medan listrik.



Gambar 14 Spektrum refleksi film tipis DR1 pada kondisi medan listrik yang berbeda.

Dengan menggunakan data ketebalan dan data spektrum refleksi, indeks bias dari setiap film tipis dapat ditentukan secara kuantitatif. Proses ini dilakukan melalui simulasi numerik yang menggabungkan informasi ketebalan hasil pengukuran dengan karakteristik reflektansi optik, sehingga

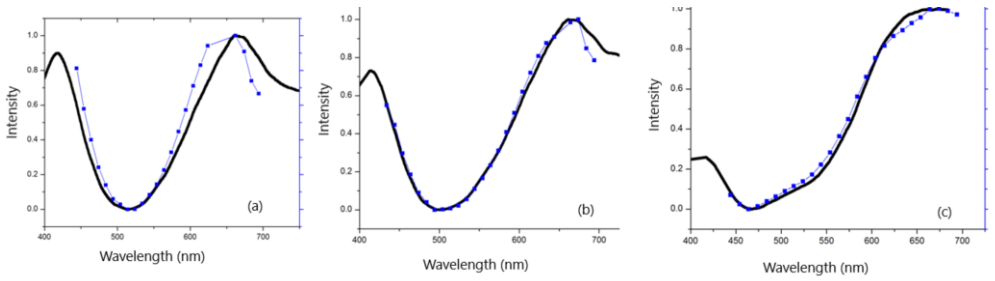
menghasilkan profil indeks bias yang akurat. Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 14, yang memperlihatkan variasi indeks bias terhadap panjang gelombang untuk masing-masing film. Variasi ini mencerminkan sifat dispersi optik material, di mana indeks bias berubah sesuai dengan panjang gelombang cahaya yang melewati film. Analisis dispersi tersebut sangat penting untuk memahami respons optik film DR1, khususnya dalam konteks aplikasi fotonik yang membutuhkan kestabilan indeks bias pada rentang panjang gelombang tertentu. Dengan demikian, Gambar 15 tidak hanya memberikan informasi mengenai nilai indeks bias, tetapi juga menunjukkan bagaimana sifat optik film tipis dapat dikendalikan melalui parameter fabrikasi dan orientasi molekul.



Gambar 15 Perbandingan indeks bias film tipis DR1 pada berbagai kondisi medan listrik.

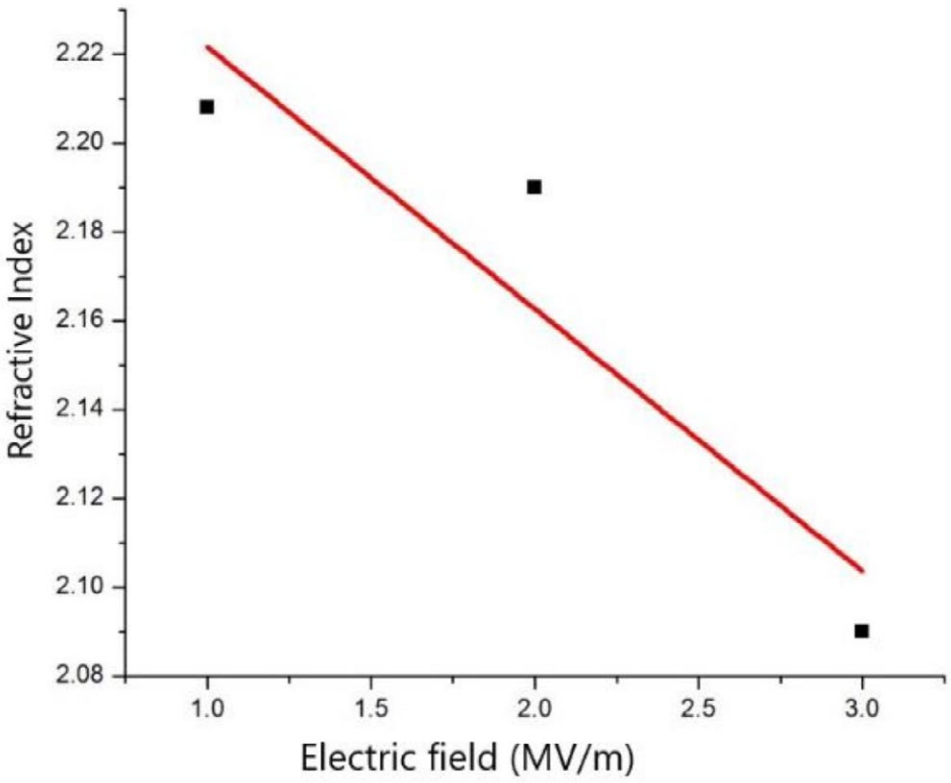
Berdasarkan data ketebalan dan indeks bias, spektrum reflektansi dari film dihitung menggunakan metode simulasi optik. Hasil perhitungan ini kemudian dibandingkan dengan spektrum reflektansi yang diperoleh secara eksperimen melalui pengukuran spektroskopi. Pada Gambar 16 terlihat bahwa kedua spektrum menunjukkan kesesuaian (*fit*) yang sangat baik untuk semua

film. Kesesuaian ini menegaskan bahwa parameter ketebalan dan indeks bias yang digunakan dalam simulasi telah merepresentasikan kondisi fisik film secara akurat. Dengan demikian, proses fitting tidak hanya memvalidasi hasil eksperimen, tetapi juga memperkuat keandalan model optik yang digunakan dalam analisis. Hal ini menjadi dasar penting untuk memahami hubungan antara struktur film tipis dan respons optiknya



Gambar 16 Hasil *fitting* spektrum reflektansi film tipis DR1 untuk memverifikasi kesesuaian hasil perhitungan ketebalan dan indeks bias pada medan listrik (a) 1 MV/m, (b) 2 MV/m, dan (c) 3 MV/m.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan medan listrik menyebabkan perubahan orientasi molekul DR1, dari semula sejajar dengan substrat menjadi lebih tegak lurus terhadap permukaan. Peningkatan kekuatan medan listrik secara bertahap mengurangi jumlah molekul yang tetap sejajar dengan substrat, sehingga dominasi orientasi tegak lurus semakin besar. Perubahan orientasi ini memiliki implikasi langsung terhadap sifat optik material, khususnya indeks bias. Ketika jumlah molekul sejajar berkurang, indeks bias film tipis mengalami penurunan signifikan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar berikut. Fenomena ini menegaskan bahwa medan listrik tidak hanya berperan sebagai faktor eksternal dalam proses deposisi, tetapi juga sebagai variabel kunci yang mampu mengendalikan sifat optik melalui mekanisme orientasi molekul. Dengan demikian, kontrol medan listrik dapat dijadikan strategi efektif untuk merekayasa indeks bias film organik, yang pada gilirannya membuka peluang aplikasi lebih luas dalam perangkat fotonik dan optoelektronik.



Gambar 17 Variasi indeks bias terhadap medan listrik dengan menggunakan sumber laser pada panjang gelimbang 614 nm.

Struktur D–π–A dari molekul Disperse Red 1 memiliki polarizabilitas yang besar, sehingga sangat responsif terhadap medan listrik eksternal. Jika molekul-molekul ini tersusun sejajar dengan pola *head–tail* dan arah medan listrik dari gelombang elektromagnetik sejalan dengan ikatan terkonjugasinya, maka secara makroskopis material akan menunjukkan suseptibilitas tinggi. Suseptibilitas ini merupakan hasil kolektif dari polarizabilitas molekul-molekul dalam film tipis, yang pada gilirannya meningkatkan indeks bias material. Sebaliknya, apabila orientasi molekul sebagian tegak lurus terhadap arah medan, interaksi antara gelombang elektromagnetik dan tumpukan molekul D–π–A berkurang, sehingga suseptibilitas menurun. Kondisi ini menjelaskan penurunan indeks bias ketika orientasi molekul berubah, karena densitas polarisasi yang searah dengan medan listrik (E) dari gelombang elektromagnetik menjadi lebih rendah. Dengan demikian, kontrol orientasi molekul melalui medan listrik eksternal merupakan faktor kunci dalam

rekayasa sifat optik film tipis organik, khususnya untuk aplikasi fotonik yang menuntut indeks bias tinggi dan respons nonlinier yang kuat. Temuan ini menunjukkan bahwa medan listrik bukan sekadar variabel tambahan, melainkan mekanisme kunci dalam pengendalian sifat optik material, sehingga membuka peluang baru bagi rekayasa film tipis untuk aplikasi fotonik.

4 APLIKASI FILM TIPIS DAN KAJIAN RISET TERKAIT

Material terkait riset film tipis telah dikembangkan dan diaplikasikan di beberapa bidang, mulai dari sel surya, *optical grating recording*, minyak sawit, hingga sensor, melalui kerja sama dengan sejumlah rekan. Pada sel surya, film tipis digunakan untuk meningkatkan efisiensi penyerapan cahaya sekaligus menekan biaya produksi. Dalam *optical grating recording*, lapisan tipis berperan dalam menghasilkan pola difraksi yang presisi untuk aplikasi optik dan komunikasi. Sementara itu, pada sensor, film tipis memungkinkan deteksi biomolekul dengan sensitivitas tinggi, termasuk untuk aplikasi biomedis seperti biosensor kanker. Kolaborasi dengan rekan penelitian memperkuat integrasi lintas disiplin, sehingga riset film tipis tidak hanya berkontribusi pada pengembangan material, tetapi juga membuka peluang komersialisasi dan penerapan teknologi di berbagai sektor strategis.

1. Rekan kerja, Prof. Rahmat Hidayat dalam aplikasi sel surya dengan judul:
   a. Simple Preparation of ZnO Nano-layer by Sol-Gel Method as Active Electrode in P3HT/ZnO Heterojunction Solar Cell
   b. Influences of Aluminum Concentration to the Characteristics of ZnO Electron Transport Layer and Its Hybrid Polymer Solar Cell
   c. Influences of Dopant Concentration in Sol–Gel Derived AZO Layer on The Performance of P3HT:PCBM Based Inverted Solar Cell
   d. Poly(ionic-liquid) from Imidazoline-Functionalized Siloxane Prepared by Simple Sol-Gel Route for Efficient Quasi-Solid-State DSSC
   e. Influences of Precursor Solution Concentration and Temperature on CH3 NH3 PbI3 Perovskite Layer Morphology and the Unconverted PbI2 Proportion to their Perovskite Solar Cell Characteristics
   f. Some Considerations On Photocurrent Characteristics Of Poly(alkylthiophene) And Photovoltaic Characteristics Of Poly(alkylthiophene)/ZnO Based Hybrid Solar Cells
   g. The Temperature Effect on the Working Characteristics of Solar Cells Based on Organometal Halide Perovskite Crystals
   h. Prelimenary Study on the Photovoltaic and Impedance Characteristics of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) using Polymer Gel Electrolyte

2. Rekan kerja, Dr. Priasturi Wulandari dalam aplikasi sel surya dengan judul
    a. Performance of Air-Stable Cs2SnI6 Perovskite as Electron Transport Layer in Inverted Bulk Heterojunction Solar Cell
    b. Effect of Localized Surface Plasmon Resonance from Incorporated Gold Nanoparticles in PEDOT:PSS Hole Transport Layer For Hybrid Solar Cell Applications
3. Rekan kerja, Dr. A Miniewicz dalam aplikasi Optical grating recording dengan judul:
    a. Optical Grating Recording in Highly Organized Thin Films of Disperse Red 1
4. Rekan kerja, Prof. Mitra Djamal dalam aplikasi sel surya dengan judul:
    a. Er3+ Doped TeO2 Glass Fabricated Through Microwave Assisted Melt-Quenching Technique and Its Application For Enhance The Efficiency of Dye Sensitized Solar Cells
5. Rekan kerja, Prof. Mitra Djamal dalam aplikasi minyak sawit dengan judul:
    a. Determination of Carotene Content Of Crude Palm Oil Using Raman Spectroscopy
6. Rekan kerja, Dr. Nina Siti Aminah, Mitra Djaman dalam aplikasi Sensor dengan judul:
    a. Fabrication of Au Coated Sinusoidal Grating Substrates as SPP-SERS Sensor Chip for Trace-Level Detection of Explosive

Selain itu, riset ini tidak hanya berfokus pada pengembangan teknologi inti, tetapi juga melahirkan berbagai *spin-off* yang secara langsung mendukung agenda pengabdian kepada masyarakat. *Spin-off* tersebut memperlihatkan bagaimana riset akademik dapat berkontribusi pada kebutuhan nyata di bidang pangan, energi, dan industri nasional.

a. Pertama, **Riset Kehalalan** diarahkan pada pengembangan metode analisis berbasis **spektroskopi Raman** dan **kemometrik** untuk membedakan berbagai jenis lemak hewan. Melalui pendekatan ini, komposisi *fatty acid* dari beragam sumber lemak dapat dipetakan secara akurat. Hasil kajian ini membuka peluang penerapan teknologi analisis dalam memastikan

kehalalan produk pangan dan farmasi, sehingga mendukung ketahanan pangan sekaligus memperkuat kepercayaan konsumen terhadap produk dalam negeri.

b. Kedua, **Riset Kelapa Sawit** memanfaatkan metode analisis yang sama untuk mengkaji komposisi minyak kelapa sawit dari berbagai daerah di Indonesia. Kajian ini bertujuan menilai kualitas minyak sawit secara komprehensif, sehingga dapat menjadi dasar peningkatan standar produksi dan memperkuat daya saing industri sawit nasional di pasar global. Dengan demikian, riset ini tidak hanya berkontribusi pada aspek ilmiah, tetapi juga memberikan dampak strategis bagi sektor agribisnis Indonesia.
c. Ketiga, riset solar glass berfokus pada pemanfaatan pasir silika dan jenis pasir lainnya sebagai bahan baku industri kaca. Inovasi yang dikembangkan mencakup kaca fungsional berbasis *upconversion*, yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi sel surya. Riset ini diharapkan dapat mendukung pengembangan energi terbarukan sekaligus membuka peluang industri baru berbasis sumber daya alam lokal, sehingga memperkuat kemandirian energi dan industri nasional.

Dengan demikian, riset utama ini tidak berhenti pada pencapaian akademik saja, melainkan berkembang menjadi cabang-cabang penelitian yang relevan dengan kebutuhan masyarakat dan industri. *Spin-off* yang dihasilkan memperlihatkan kesinambungan antara pengembangan ilmu pengetahuan, penerapan teknologi, dan kontribusi nyata terhadap pembangunan berkelanjutan di Indonesia.

PENUTUP

Hasil penelitian ini menunjukkan, *thin film* DR1 untuk aplikasi fotonik dapat disiapkan dengan mudah dan praktis melalui metode EFA-PVD, yaitu metode PVD yang dimodifikasi dengan penambahan unit unit medan listrik.

Film tipis DR1 yang dideposisikan pada substrat ITO dengan metode ini memperlihatkan kemampuannya menghasilkan struktur kristalin, di mana molekul-molekul DR1 tersusun secara periodik dengan pola *head-to-tail* dalam orientasi vertikal. Pengukuran serapan optik lebih lanjut memberikan bukti terbentuknya susunan polar paralel (H-aggregate) dari molekul yang tersusun dalam film, yang menawarkan potensi besar untuk aplikasi second harmonic generation (SHG).

Analisis spektral secara rinci terhadap data IRRAS mengungkap adanya mekanisme penjangkaran molekul pada permukaan substrat akibat ikatan hidrogen antara gugus hidroksi (-OH) dari molekul DR1 dengan senyawa oksida pada substrat ITO, sehingga menstabilkan susunan molekul dalam film.

Secara keseluruhan, hasil studi ini mendorong pengembangan proses fabrikasi dan fungsionalisasi film tipis organik berbasis molekul polar dengan metode fabrikasi yang relatif sederhana dan praktis untuk devais fotonik. Selain itu, hasil fabrikasi film tipis dengan metode ini terbukti sangat stabil terhadap perlakuan termal maupun lingkungan. Hal menarik berikutnya adalah keterkaitan erat antara sifat fisis material dengan orientasi molekul yang dapat dikontrol melalui pengenaan medan listrik eksternal.

Temuan-temuan ini membuka perspektif baru bahwa proses fabrikasi devais fotonik di masa depan, berpotensi menjadi lebih sederhana dengan penggunakan metode Electric Field Assisted Physical Vapor Deposition (EFA-PVD). Dengan adanya medan listrik, orientasi molekul polar dapat diarahkan secara konsisten ke posisi tegak lurus permukaan substrat. sehingga menghasilkan film tipis dengan sifat optik yang lebih kuat dan terkontrol.

Mekanisme ini tidak hanya menyederhanakan proses fabrikasi dibandingkan metode konvensional, tetapi juga meningkatkan kualitas dan

fungsionalitas dari material yang dihasilkan, khususnya dalam hal indeks bias, respons optik nonlinier, dan sensitivitas sensor. Oleh karena itu, EFA-PVD dapat dipandang sebagai pendekatan strategis yang mampu mengintegrasikan kesederhanaan proses dengan performa tinggi, menjadikannya kandidat utama untuk pengembangan devais fotonik generasi berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. D. S. Chemla and J. Zyss (eds.), Nonlinear Optical Properties of Organic Molecules and Crystal, Vol. 1 (Academic Press, Orlando, 1987).
2. P. N. Prasad and D. J. Williams, Introduction to Nonlinear Optical E®ect in Organics Molecules and Polymers (Wiley, Newyork, 1991).
3. S. Xie, A. Natansohn and P. Roohon, Recent development in aromatic azo polymer research, Chem. Mater. 5 (1993) 403–411.
4. F. Ebisawa, M. Hoshino and K. Sukegawa, Self-holding photochromic polymer, MarkZhnder optical switch, Appl. Phys. Lett. 65 (1994) 2919–2921.
5. T. Nakamura and T. Hamada, Novel all optical light modulation base on refractive changes of organic dye-doped polymer ¯lm upon photoexcitation, Appl. Phys. Lett. 69 (1996) 1191–1193.
6. J. W. Kang, J. Kim and E. Kim, All optical Mach Zehnder modulator using a photochromic dye-doped polymer, Appl. Phys. Lett. 80 (2002) 1710–1712.
7. K. Clays, Molecular nonlinear optics: From paranitroniline to electrochemical switching of hyperpolarizability, J. Nonlinear Opt. Phys. Mat. 12 (2003) 475–494.
8. C. Khoo, J. Liou and M. V. Stinger, Microseconds–nanoseconds all-optical switching of visible-near infrared (0.5 m–1.55 m) lasers with dye-doped nematic liquid crystals, Mol. Cryst. Lliq. Cryst. 527 (2010) 107–118.
9. X. Wang et al., Third-order nonlinear optical properties of a novel series of D––A pyrene–aldehyde derivatives, J. Nonlinear Optic. Phys. Mat. 25 (2016) 1650014.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga orasi ilmiah ini dapat tersusun dan disampaikan pada kesempatan yang berbahagia ini.

Pada kesempatan ini, izinkan penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang setulusnya kepada:

- **Rektor Institut Teknologi Bandung** beserta jajaran pimpinan atas kesempatan dan dukungan yang diberikan,
- **Ketua dan Anggota Senat Akademik ITB** atas arahan, bimbingan, dan kepercayaan,
- **Dewan Guru Besar ITB** yang senantiasa menjaga tradisi akademik dan integritas ilmiah,
- **Rekan sejawat di FMIPA ITB**, khususnya Departemen Fisika, atas kerja sama, diskusi, dan dukungan dalam pengembangan ilmu,
- **Mahasiswa** yang telah menjadi mitra belajar sekaligus sumber inspirasi, dan
- **Keluarga tercinta** atas doa, kesabaran, dan dukungan moral yang tiada henti.

CURRICULUM VITAE

Nama	: Herman
Tempat/tgl lahir	: Jakarta, 12 Februari 1961
Kel. Keahlian	: Fisika Magnetik dan Fotonik
Alamat Kantor	: Jl. Ganesha No.10
Nama Istri	: R. Tati Kartiawati Soediro
Nama Anak	1. Ir. Luqman Hertanto Herman
	2. Fadi Akira Herman S.Sn.
	3. Fajar AuliaHerman S.AP.

I. RIWAYAT PENDIDIKAN

No.	Institution of Education	Field	Degree
1	Jurusan Fisika ITB, Bandung	Physics	Sarjana S-1, 1986
2	Jurusan Fisika ITB, Bandung	Physics	Magister S-2, 1989
3	Department of Polymeric and Organic Material, Tokyo Institute of Technology, Tokyo	Polymer Physics	Doktor, 1997

II. RIWAYAT KERJA DI ITB

No.	*Position*	*Periode*
1	*Lecturer/Researcher*	*1986-present*
2	*Head of research division, Physics of Magnetism and Photonics*	*2006-2010*
3	*Member of FMIPA senate*	*2006-2010*

III. PENGALAMAN MENGAJAR

No.	Activities	Period
1	Teaching of several topic lectures, such as Basic Physics I and II, Thermodynamics, Mechanics, Advaced Mechanics, Analytical Mechanics, Electromagnetism, Waves, Physic of Organic Material, Introduction to Material Physics, Physics III, Tranport phenomena in ecosystem at ITB	1986-Sekarang
2	Teaching of Modern Physics for lecturers at Physics department of Cendrawasih university.	1996
3	Teaching of several topic lectures, such as Basic Physics I and II, Introduction to Probabilities, Introduction to Material Physics at Parahyangan University	1998-1999

No.	Activities	Period
4	Teaching of several lectures, such as Basic Physics I and II, Thermodynamics, Electronics Properties of Materials, Enginering Mechanics at President University	2001-Sekarang
5	Teaching of several lectures, such as Advanced Mechanics, Optics, Wave, Mechanics, Polymer, modern physics, Statistical mechanics, Material Chractrizations at ITERA	2018-Sekarang

IV. RIWAYAT KEPANGKATAN

Pangkat	Nomor SK	Terhitung
Lektor Kepala (400.00)	49981/A2.III.1/KP/2002	01 November 2002
Asisten Ahli (150.00)	405/SK/PT07.H/C/PPAK.3/1990	01 Juli 1990
IV/b - Pembina Tk. I	33678/B/07/2024	01 April 2024
IV/a - Pembina	28685/A4.5/KP/2007	01 April 2007
III/d - Penata Tk. I	160/SK/K01/KP.03.3/2003	01 April 2003
III/c - Penata	1318/K01.2/KP.03.3/SK/1998	01 Oktober 1998
III/b - Penata Muda Tk. I	098/PT07.H2/C.1K.10/SK/1991	01 Oktober 1990
III/a - Penata Muda	751/PT07.H15.1/C.1/1987	01 Maret 1987

V. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

Guru Besar dalam bidang ilmu Film Tipis untuk Aplikasi Fotonik, 13 Juni 2025

VI. RESEARCH HISTORY AND PUBLICATIONS

No.	*Research History*	*Period*
1	*Doctoral graduate student at TIT Japan.*	*Graduated 1997*
2	Hibah Tim URGE, “Synthesis, Characterization and Application of Conjugated Chain Nonlinear Optical Materials”, (Member)	1997/1998
3	Toray Foundation “Preparation of an Oriented Polyaniline Films by Vapor Deposition Method”, (Principal)	1998
4	Hitachi Fellowship, three months research at Prof. Norimasa Okui Laboratory, TIT, Japan	1998
5	RUT VI‘Fabrication of Organic and Polymeric Thin Film By Using PVD Method” (Principal)	1998-2000
6	QUE,”Study of Electric Properties of Polyaniline Thin Film Prepared by PVD Method” (Principal)	1998
7	QUE, “Study of Optical Properties of Polyaniline Thin Film Using ATR Method”, (Member)	2000
8	RUTI, “PHOTONIC DEVICES FOR APPLICATION TO THE GIGABIT ETHERNET SYSTEM”’, (Member)	2002-2005

No.	Research History	Period
9	PHKB, “Development and Optical Characterization of Thin Films Incorporating Transition Metal Complexes for Optical Devices”, (Member)	2006-2007
10	RUTI, “PHOTONIC DEVICES FOR WDM OPTICAL COMMUNICATION SYSTEMS AND OPTICALLY INTEGRATED SENSORS”, (Member)	2006-2007
11	ASAHI GLASS, “STUDY OF NONLINEAR OPTICAL PROPERTIES OF VAPOR DEPOSITED FILM OF DISPERSE RED-1”, (Principal)	2007-2008
12	JSPS-DGHE, “Research and Development of Novel Organic Light Emitting Devices” (member), at OSAKA Univ for 1 month	2008
13	Insentif RISTEK, “Investigasi spektroskopi dan sifat 51ptic non-linear dari film tipis Disperse Red-1 serta derivatifnya untuk aplikasi devais fotonik”, (Principal)	2008-2009
14	Riset KK, “Kajian Susunan dari Agregat Molekul Disperse Red-1 dalam Film tipis Terstruktur dengan Metode Sprektotroskopi UV – VIS”, (Principal)	2010
15	Riset KK, “Kajian sifat Optik dari film tipis DR1 yang difabrikasi dengan metode EFA-PVD”, (Principal)	2011
16	Riset KK, “Kajian fenomena foto-luminesensi yang dihasilkan oleh film terstruktur DR1” ,(Principal)	2013
17	Riset KK, “Kajian Struktur Elektronik dari Aggregate Molekul DR1”, (Principal)	2014
18	DIPA: Investigation of Charge Carrier Dynamics in Perovskite Based Solar Cell Materials by Transient Photocurrent Measurement and Muon Spectrocopy (Member	2015
19	Studi Peningkatan Efisiensi Polymer Light Emitting Diode (PLED) dengan Bantuan Efek Plasmon dari Nanopartikel Logam, (member)	2016
20	Kajian Perubahan Momen Dipol Listrik dari Molekul Disperse Red 1 terhadap medan listrik dengn Metode DFT	2017
21	Studi Pengaruh Kation dan Anion pada struktur Elektronik APbX3 (A= Li, Na, K, Rb dan Cs; X = I dan Br) dengan Metode Density Functional Theory (principal)	2018
22	Karakterisasi Sifat fisis Film Tipis Terstruktur EFA-PV)D DR1 untuk Aplikasi Devais Optik (principal)	2019
23	Analisis distribusi ukuran partikel metode DLS (‘Dynamic Light Scattering’) untuk aplikasi pada bidang material dan medis (principal)	2020

VII. KEGIATAN PENELITIAN

- Penguatan Kompetensi Guru dan Pemahaman Siswa dalam Elektromagnetisme dan Optik melalui Pembelajaran Kontekstual Berbasis Eksperimen di Lampung (2026)

- Fabrikasi Sel Surya Bulk Heterojunction Performa Tinggi dengan Efek Resonansi Plasmon dari Nanopartikel Perak dalam Struktur 2D Array (2026)
- Pelatihan Penyegaran dan Pendalaman Materi Listrik dan Magnet dari konsep sampai perancangan alat Peraga Sederhana serta Pengenalan Keilmuan Fisika Magnetik dan Fotonik bagi Guru dan Siswa SMA di Banyumas dan Sekitarnya (2025)
- Equity2025 - Pengembangan Material Kaca Upconversion (UC) Didoping Ion Tanah Jarang untuk Meningkatkan Kinerja Sel Surya (2025)
- Peningkatan Sensitivitas dan Selektivitas Biosensor Berbasis Fenomena Resonansi Plasmon Permukaan dengan Menggunakan Nanopartikel Perak (2025)
- Studi Peningkatan Performansi Sel Surya Hibrid Bulk Heterojunction dengan Penambahan Struktur Array 2D dari Nanopartikel Emas (2024)
- Peningkatan Respon Optik Efek Resonansi Plasmon Permukaan dengan Penumbuhan 2D Array Nanopartikel Perak untuk Aplikasi Biosensor dalam Mendeteksi Bio-Molekul (2024)
- Pelatihan Penyegaran dan Pendalaman Materi Fisika Dasar dan Pengenalan Keilmuan Fisika Magnetik dan Fotonik bagi Guru dan Siswa SMA di Magelang dan Sekitarnya (2024)
- Studi Peningkatan Sensitivitas Biosensor Berbasis Surface Enhanced Raman Spectroscopy dengan Menggunakan Struktur 2D Nanopartikel Logam untuk Mendeteksi Keamanan Pangan (2024)
- Pendalaman Konsep Fisika Dasar dan Aplikasinya dalam Kehidupan Sehari-hari (vol. 1) (2024)
- Pengembangan Struktur Periodik Pembangkit Plasmonic Surface Lattice Resonance untuk Peningkatan Sensitivitas Devais Pengindera Senyawa Biokimia (2024)
- Pengabdian masyarakat KK FMF (2023)
- Kajian Resonansi Plasmon Permukaan yang Tidak Biasa pada Struktur Plasmonik Berbentuk Periodik (2023)
- Studi untuk Menguji Validitas Teknologi Langenburg Technologies Llc Terkait Penyediaan Listrik Berbasis Air Menggunakan Prinsip Quantum-

Hydrodunamics untuk Pabril Peleburan Aluminium PT Indonesia Asahan Aluminium (PERSERO) (2023)

- Penentuan Kualitas Hingga Penentuan Kandungan Kontaminan pada Minyak Sawit Menggunakan Surface Enhanced Raman Spectroscopy (SERS) dan Kemometri (2023)
- Kajian Prinsip Hydrodynamics Baru dalam Teknologi Pembentukan Bahan Bakar H2 dan Pemanfaatannya untuk Pembangkit Tenaga Listrik (2022)
- Studi Peningkatan Performansi Sel Surya Perovskite Bebas Timbal dan Inkorporasinya dengan Nanopartikel Emas dan Perak (2022)
- Pengembangan Bahan Perovskait untuk Sel Surya dan Karakterisasi Rugi Rekombinasi (Recombination Loss) dengan Teknik Intensity Modulated Photovoltage Spectroscopy (IMVS) (2022)
- PPMI KK Fisika Magnetik dan Fotonik (2022)
- Analisis Distribusi Ukuran Partikel Metoda Dls ('Dynamic Light Scattering') Untuk Aplikasi Pada Bidang Material Dan Medis (2020)
- Karaterisasi Sifat Fisis Film Tipis Terstruktur Efa-Pvd Dr1 Untuk Aplikasi Devais Optik (2019)
- Studi Pengaruh Kation dan Anion Pada Struktur Elektronik Apbx3 (A= Li, Na, K, Rb Dan Cs; X = I Dan Br) Dengan Metode Dft (2018)
- KAJIAN PERUBAHAN MOMEN DIPOL LISTRIK DARI MOLEKUL DISPERSE RED 1 TERHADAP MEDAN LISTRIK DENGN METODA DFT (2017)
- Kajian Struktur Elektronik dan Aggregate Molekul DR1 (2014)
- Kajian Fenomena Foto-Luminesensi yang Dihasilkan oleh Film Terstruktur DR1 (2013)
- Program Academic Recharging (PAR) (2011)
- Kajian Sifat Optik Dari Film Tipis DR1 yang Difabrikasi dengan Metoda EFAPVD (2011)
- Investigasi Spektroskopi dan Sifat Optik Non-Linear dari Film Tipis Disperse Red-1 serta Derivatifnya untuk Aplikasi Devais Fotonik (2009)
- Investigasi Spektroskopi dan Sifat Optik Non-Linear dari Film Tipis Disperse Red-1 serta Derivatifnya untuk Aplikasi Devais Fotonik (2009)
- Study of Nonlinear Optical Properties of Vapor Deposited Film of Disperse Red-1 (2007)

- Investigasi Spektroskopi dan Sifat Optik Non-Linear dari Film Tipis Disperse Red-1 Serta Derivatifnya untuk Aplikasi Devais Fotonik (2007)
- Study of Nonlinear Optical Properties of Vapor Deposited Film of Disperse Red-1 (2007)
- Investigasi Spektroskopi dan Sifat Optik Non-Linear dari Film Tipis Disperse Red-1 Serta Derivatifnya untuk Aplikasi Devais Fotonik (2007)

VIII. PUBLIKASI

1. Herman, et. al. " Structural Changes in Vapor Deposited VdF Oligomer Thin Film", Kobunshi Gakkai (The Society of Polymer Science) -The 40th Meeting, Nagoya-Japan, 25-27 May 1994
2. Herman and N. Okui, " Pembuatan Film Tipis dengan Metoda Physical Vapor Deposition (Preparation of Thin Film Polimer by Vapor Deposition Method)" Proceeding Symposium Nasional Polimer, Jakarta 11-12 Juli 1995.
3. Herman and N. Okui, " Efek Shutter dan Quenching pada Struktur Thin Film (The Effect of Shutter and Qunching on the molecular structure)". Proceeding 16th National Symposium on Physics and ASEANIP Regional Seminar on the Physics of Metal and Alloy, Dec 12-14, 1996
4. Studies on Crystal Form of Poly (vinylidene Fluoride) , Thesis Doctor, 1997
5. H. Taunaumang, Herman. R.E. Siregar, M.O. Tjia, "Blending PANI-EB/PI dan Karakterisasinya (Blending PANI-EB/PI and Its Characterization)", submitted to Seminar Nasional Fisika Terapan dan Lingkungan'97, Sepong, November 1997.
6. M.O. Tjia, Herman. F. fitrilawati, H. Taunaumang, "Experiments on Polyaniline Based Polyblends for Chemochromic, Electrochromic, dan Optical Applications", submitted to 5th Pacific Polymer Conference, Korea, October 1997.
7. M.O. Tjia, R.E. Siregar, A. Soehianie, Herman. F. Fitriiawati, H. Taunaumang, Mikrajuddin, D. Sasmita, "Synthesis, Characterization and Application of Conjugated Chain Nonlinear Optical Materials", Research report of Hibah Tim, Contract No. 004/HTPP-U/URGE/1996.1997.
8. Herman at. al, Effect of Molecular Weight and Chain End Groups on Crystal Form of PVdF Oligomer, Polymer, 38, no.7, pp. 1677-1683,1997

9. Herman at. al, Chain length effects on Crystal Formation in Vinylidene Fluoride Oligomers, Polymer Journal, 1998
10. Herman, Fitrilawati, "Preparation of an Oriented Polyaniline Films by Vapor Deposition Method", Research report of ITSF, 1999
11. F. Fitrilawati, Herman, and M.O. Tjia, Synthesis of Poly(ehoxyaniline) Thin Film and Its Non Linear Optical Properties. Kontribusi Fisika Indonesia, Vol 10., No. 4, 1999
12. Herman et. Al., "Fabrication of Organic and Polymeric thin films by Physical Vapor Deposition Method", Proceeding National Symposium on Physics, 2000
13. H. Taunaumang, Herman, M.O. Tjia, Molecular Orientation in Disperse Red 1 Thin Film Produced by PVD Method, Journal of Optical Material 18, 2001.
14. H. Taunaumang, Herman, M.O. Tjia, Effect of substrate Temperature on vacuum deposited thin film of disperse red 1 on ITO glass, Proc. ITB, vol. 33, No. 1, 2001
15. H.Taunaumang, Herman, M.O.Tjia, M.Samoc, "Electric field Induced Second Harmonic Generation in Vacuum Evaporated Disperse Red 1 Film" Opt.Mat. Vol 22 (2003), 289
16. H.Taunaumang, R.Hidayat, Herman, M.O.Tjia, "Effects of Substrate temperature and external poling field on molecular orientation and aggregation effects in vacuum deposited photorefractive DR1 film", International Symposium on Modern Optics and Its Application, Aula Timur ITB, July 3-5, IS-MOA 2002, JNOPM. Vol 12 (2003) 213.
17. Sukmawati W., Yonan W., Herman, Rahmat H., M.O. Tjia, "Photopolimerization and Spectroscopic Characteristic of Europium (III) Complex Doped Hybrid Polymer Ormocer, Proceding of International Conference on Mathematics and Natural Sciences", 29-30 Nov 2006, Bandung Indonesia
18. Herman, Takeyuki Suzuki, Pardi Sampe Tola, Rany Miranti, Fitrilawati, Rahmat Hidayat, "Synthesis Of Hybrid Organic-Inorganic Polymer by Sol-Gel Method and Its Characterizations", presented in ICMNS 2008, Bandung

19. Donny Royke Wenas, Dwi Ayu Setia, Affan Dafananto, Narayana, Rahmat Hidayat, H.Taunaumang, Herman, R.E. Siregar, M.O.Tjia, "Structural and Spectroscopic Study of Aggregation effect in DR1 Thin Films Deposited by E-PVD Method" ,presented in ICMNS 2008, Bandung
20. D.R.Wenas, Ellianawati, Hendro, R. Hidayat, Herman, R.E. Siregar, M.O. Tjia, SPR spectroscopy of DR1 thin films deposited by E-PVD method, presented in APS 2009, Bandung
21. D.R.Wenas, R. Hidayat, Herman, R.E. Siregar, M.O. Tjia, Spectroscopic and Optical measurements for the studies of molecular arrangement in DR1 thin films deposited by E-PVD method, presented in ISMOA 2009, Bandung
22. Aprilia, A. Herman , Hidayat, R.," Simple preparation of ZnO nano-layer by sol-gel method as active electrode in P3HT/ZnO heterojunction solar cell", AIP Conference Proceedings,Volume 1284, 2010, Pages 142-147
23. Hidayat, R., Herman , Fitrilawati , Ojima, M. , Ozaki, M. Fabrication of distributed feedback grating from hybrid polymer which exhibits photo-pumped lasing action, International Journal of Nanoscience, Volume 9, Issue 4, August 2010, Pages 307-310
24. Wenas, D.R., Herman , Siregar, R.E., Tjia, M.O.," X-ray diffraction pattern and optical properties of disperse red-1 thin films deposited by electric field assisted PVD method", AIP Conference Proceedings,Volume 1250, 2010, Pages 349-352
25. Aprilia, A., Wulandari, P., Suendo, V., Herman, Hidayat, R., Fujii, A., Ozaki, M. Influences of dopant concentration in sol-gel derived AZO layer on the performance of P3HT:PCBM based inverted solar cell, Solar Energy Materials and Solar Cells Volume 111, 2013, Pages 181-188
26. Herman, Naily Ulya, " Study of photoluminescence properties of thin film DR1**",** AIP Conference Proceedings 1677, 070020 (2015);
27. Ambran Hartono, Darwin, , Ramli, Suparno Satira, Mitra Djamal, and Herman, "Electric field poling 2G V/m to improve piezoelectricity of PVDF thin film", AIP Conference Proceedings 1719, 030021 (2016)
28. Mhd. Ikhsan Alturisa, Joe Wira, Mardiyati, Herman and Rahmat Hidayat, "Temperature on CH3NH3PbI3 Perovskite Layer Morphology and the Unconverted PbI2 Proportion to their Perovskite SolarCell

Characteristics", IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 877 (2017) 012046
29. Wa Ode Sukmawati Arsyad, Herman Bahar, Bambang Prijamboedi, Rahmat Hidayat, " Revealing the limiting factors that are responsible for the working performance of quasi-solid state DSSCs using an ionic liquid and organosiloxane-based polymer gel electrolyte", Ionics Vol.24, Issue 3, 1 March 2018, Pages 901-914
30. Tanti Dewinggih, Shobih, Lia Muliani, Herman, Rahmat Hidayat, "The Temperature Effect on the Working Characteristics of Solar Cells Based on Organometal Halide Perovskite Crystals", IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 877 (2017) 012043
31. H. Herman, R. E. Siregar, and M. O. Tjia," Spectroscopic study on the olecular polar arrangement and anchoring mechanism in crystalline DR1 ¯lms deposited on ITO by electric ¯eld assisted PVD process", Journal of Nonlinear Optical Physics & Materials, Vol. 27, No. 2 (2018) 1850021
32. Herlin Pujiarti, Herman Bahar and Rahmat Hidayat, Poly(ionic-liquid) from imidazoline-functionalized siloxane prepared by simple sol-gel route for efficient quasi-solid-state DSSC, Materials Research Express, Volume 6, Number 7, 2019
33. Nina Siti Aminah, Mitra Djamal , Herman Bahar, Sakoolkan Boonruang , and Mati Horprathum, FABRICATION, CHARACTERIZATION AND SIMULATION OF GRATING-BASED STRUCTURES FOR SURFACE-ENHANCED RAMAN SPECTROSCOPY (SERS) SUBSTRATES, Suranaree J. Sci. Technol. Vol. 27 No. 4; October - December 2020
34. Adhita Asma Nurunnizar , Priastuti Wulandari , Herman Bahar , Fitri Fitrilawati , Munawar Khalil , Rahmat Hidayat, The influences of interfacial recombination loss on the perovskite solar cell performance studied by transient photovoltage spectroscopy, Materials Science in Semiconductor Processing 135 (2021) 106095
35. Rahmat Hidayat , Jalu Setiya Pradana , Alvin Fariz , Susi Komalasari , Siti Chalimah & Herman Bahar, Dual plasmonic modes in the visible light region in rectangular wave-shaped surface relief plasmonic gratings, Scientific report Scientific Reports, 2023•nature.com

36. Setiya Rahayu , Alifah Labiba , Herman, and Priastuti Wulandari, Localized surface plasmon resonance effect of 3-mercaptopropionic acid capped on silver nanoparticles for sensing probe application, Journal of Physics: Conference Series 2696 (2024) 012014
37. Qoid Abrori Syakuro, Yoda Taruna, Setiya Rahayu, Herman, Priastuti Wulandari, Optimization of Organic Capping Material on Silver Nanoparticles by Chemical Reduction and Its Functionalization for Plasmonic Sensor Application, Journal of Physics: Conference Series 2734 (2024) 012043
38. NinaSiti Aminah, Tossaporn Lertvanithphol, Asmar Sathukarn, Mati Horprathum, Husin Alatas, Vivi Fauzia, SigitPuji Santosa, Isnaeni, Herman, A. Alni, Mitra Djamal, Fabrication of Au coated sinusoidal grating substrates as SPP-SERS sensor chip for trace-level detection of explosive, Optical Materials Volume 149, March 2024, 114952
39. Eka Sylvianti Rahayu , Herman , R. Rajaramakrishna , N. Wantana, Nina Siti Aminah , J. Kaewkhao, L. Yuliantini , N. M. Nursam , N. Discharoen , K. Boonin, P. Yasaka, Isnaeni , P. Meijitpaisan, S. Kothan , Mitra Djamal, Er3+ doped TeO2 glass fabricated through microwave assisted melt-quenching technique and its application for enhance the efficiency of dye sensitized solar cells, Journal of Alloys and Compounds ISSN: 09258388 Volume: 1036 Article EID: 2-s2.0-105009509696, 2025

IX. PENGHARGAAN

1. Indonesia Halal Industry Awards (IHYA) 2021
2. Satyalancana Karya Satya 20th

X. SERTIFIKASI

Sertifikasi dosen

ITB PRESS
Jl. Dipatiukur No. 26E
Bandung 40132
+62 022-20469019
office@itbpress.id
www.itbpress.id
itbpress.official

Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung
Jalan Dipati Ukur No. 4, Bandung 40132
E-mail: sekretariat-fgb@itb.ac.id
Telp. (022) 2512532
fgb.itb.ac.id FgbItb FGB_ITB
@fgbitb_1920 Forum Guru Besar ITB

ISBN: 978-623-297-898-0
9 786232 978980