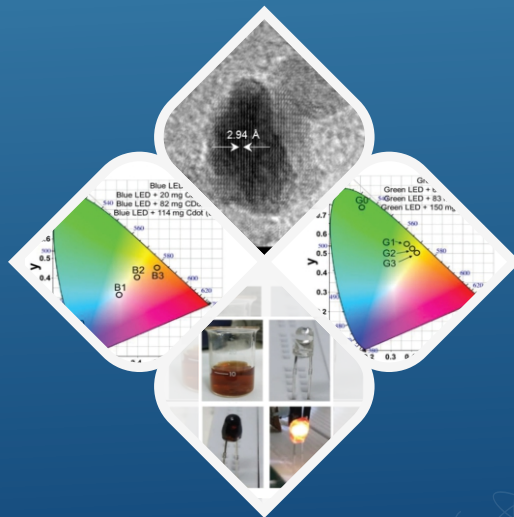


PEMANFAATAN *QUANTUM DOTS* PADA BIDANG ENERGI DAN LINGKUNGAN DI INDONESIA

ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
BIDANG OPTIK



OLEH:
ISNAENI

BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL

**PEMANFAATAN *QUANTUM DOTS*
PADA BIDANG ENERGI DAN LINGKUNGAN
DI INDONESIA**

Diterbitkan pertama pada 2024 oleh Penerbit BRIN

Tersedia untuk diunduh secara gratis: penerbit.brin.go.id



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0).

Lisensi ini mengizinkan Anda untuk berbagi, mengopi, mendistribusikan, dan mentransmisi karya untuk penggunaan personal dan bukan tujuan komersial, dengan memberikan atribusi sesuai ketentuan. Karya turunan dan modifikasi harus menggunakan lisensi yang sama.

Informasi detail terkait lisensi CC BY-NC-SA 4.0 tersedia melalui tautan: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



**PEMANFAATAN *QUANTUM DOTS*
PADA BIDANG ENERGI DAN LINGKUNGAN
DI INDONESIA**

**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
BIDANG OPTIK**

OLEH:
ISNAENI

Reviewer:

Prof. Dr. Rike Yudianti
Prof. Dr. Masno Ginting, M.Sc.
Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si.
Prof. Dr. Ir. Gadis Sri Haryani
Prof. Ir. Wimpie Agoeng Nugroho Aspar, MSCE., Ph.D.

Penerbit BRIN

© 2024 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Pusat Riset Fotonika

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Pemanfaatan Quantum Dots pada Bidang Energi dan Lingkungan di Indonesia/Isnaeni-Jakarta:
Penerbit BRIN, 2024.

vi + 98 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-623-8372-59-1 (*e-book*)

- | | |
|-----------------|---------------|
| 1. Quantum dots | 2. Optik |
| 3. Energi | 4. Lingkungan |




530.12

Copy editor : Nadifa Azzahra Putri
Proofreader : Noviasuti Putri Indrasari & S. Imam Setyawan.
Penata Isi : S. Imam Setyawan
Desainer Sampul : S. Imam Setyawan

Edisi pertama: April 2024



Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, Anggota Ikapi
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung B. J. Habibie, Jl. M. H. Thamrin No.8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340
Whatsapp: +62 811-1064-6770
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

 PenerbitBRIN
 @Penerbit_BRIN
 @penerbit.brin

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR	vii
BIODATA RINGKAS	1
PRAKATA PENGUKUHAN	5
I. PENDAHULUAN.....	7
II. PERKEMBANGAN RISET <i>QUANTUM DOTS</i>	11
A. Sejarah Riset <i>Quantum Dots</i>	11
B. Sifat <i>Quantum Dots</i>	16
C. Potensi Pemanfaatan <i>Quantum Dots</i>	19
III. RISET <i>QUANTUM DOTS</i> KARBON	27
A. Sintesis <i>Quantum Dots</i> Karbon dari Limbah.....	27
B. <i>Quantum Dots</i> Karbon sebagai LED	33
C. <i>Quantum Dots</i> Karbon sebagai Sensor Logam Berat.....	38
IV. PEMANFAATAN <i>QUANTUM DOTS</i> DI INDONESIA	45
A. Pemanfaatan <i>Quantum Dots</i>	45
B. Rekomendasi Riset <i>Quantum Dots</i>	48
V. KESIMPULAN	51
VI. PENUTUP	53
UCAPAN TERIMA KASIH	55
DAFTAR PUSTAKA.....	59
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH.....	71
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Satu Partikel <i>Quantum Dots</i> Karbon Hasil Pengujian dengan <i>Transmission Electron Microscopy</i>	31
Gambar 3.2 <i>Quantum Dots</i> Karbon sebagai Bahan Baku untuk Konversi Warna LED.....	35

BIODATA RINGKAS



Isnaeni, lahir di Medan pada tanggal 10 Februari 1978, adalah anak kelima dari lima bersaudara dari H. Usman Affandy (alm.) dan Hj. Basyariah (almh). Menikah dengan Femi Wulandari dan dikaruniai satu orang anak bernama Ayumi Azkadina Lashira Shanum.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 2/M Tahun 2023 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama Badan Riset dan Inovasi Nasional terhitung 9 Januari 2023.

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional Nomor 84/I/HK/2024 tanggal 1 Maret 2024 yang bersangkutan melakukan orasi pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Negeri 06 Pagi Kapuk Jakarta Barat pada tahun 1990, Sekolah Menengah Pertama Negeri 201 Jakarta Barat pada tahun 1993, Sekolah Menengah Atas Negeri 56 Jakarta Barat pada tahun 1996. Memperoleh Gelar Sarjana bidang Fisika dari Institut Pertanian Bogor pada tahun 2000, Gelar Master bidang Fisika dari The University of Queensland Australia tahun 2006, Gelar Doktor bidang Fisika dari Korea

Advance Institute of Science and Technology Korea Selatan tahun 2012. Mengikuti beberapa pelatihan yang terkait dengan bidang kompetensi, antara lain Workshop TEM, SEM dan Raman.

Pernah menduduki jabatan sebagai Ketua Kelompok Penelitian Laser tahun 2020–2021 dan ditugaskan oleh Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional sebagai Pelaksana Tugas Kepala Pusat Riset Fotonik (4 Maret–19 Juni 2022), Kepala Pusat Riset Fotonik (19 Juni 2022–31 Desember 2023) dan Pelaksana Tugas Kepala Pusat Riset Fotonika (1 Januari 2024–31 Maret 2024). Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Peneliti Ahli Muda tahun 2015, Peneliti Ahli Madya tahun 2018, dan Peneliti Ahli Utama tahun 2023.

Menghasilkan 141 karya tulis ilmiah, baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain, dalam bentuk buku, jurnal, prosiding, dan paten. Sebanyak 110 di antaranya ditulis dalam Bahasa Inggris.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu pembimbingan skripsi (S-1) pada Universitas Sumatera Utara, Universitas Indonesia, Institut Teknologi Bandung, Universitas Gadjah Mada, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Universitas Hasanuddin, Universitas Diponegoro, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Universitas Pertamina; pembimbingan tesis

(S-2) pada Universitas Hasanuddin, Institut Pertanian Bogor; serta pembimbingan disertasi (S-3) pada Universitas Indonesia.

Aktif dalam kegiatan penelitian dan kerja sama Korea Advance Institute of Science and Technology Korea Selatan (2012–2014). Aktif dalam organisasi profesi ilmiah yaitu anggota Himpunan Peneliti Indonesia (Himpenindo), Himpunan Periset Indonesia (PPI), Himpunan Fisika Indonesia (HFI), dan Himpunan Optika Indonesia (HOI).

Menerima tanda penghargaan Satyalencana Karya Satya X (tahun 2011) dan Satyalencana Karya Satya XX (tahun 2021) dari Presiden Republik Indonesia.

PRAKATA PENGUKUHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Salam sejahtera untuk kita semua.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset yang mulia, Kepala BRIN, dan hadirin yang saya hormati.

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah swt. atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga dalam kesempatan ini kita dapat berkumpul dan bersama-sama hadir pada acara orasi ilmiah pengukuhan Profesor Riset di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).

Pada kesempatan yang berbahagia ini, dengan segala kerendahan hati, Izinkan saya pada tanggal 24 April 2024 menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

PEMANFAATAN *QUANTUM DOTS*
PADA BIDANG ENERGI DAN LINGKUNGAN
DI INDONESIA

Pada orasi ini, akan disampaikan *state of the art* tentang perkembangan, peluang dan tantangan penelitian *quantum dots*, yakni partikel semikonduktor atau material lain dengan ukuran partikel berskala nanometer yang menunjukkan sifat optik dan elektronik unik karena ukurannya yang kecil.

Orasi ini akan memberikan pemahaman terkait manfaat *quantum dots* yang begitu besar, misalnya bagi pembangkit listrik tenaga surya atau panel surya dan baterai. Orasi juga ini diharapkan dapat mendorong keberlanjutan riset mengenai pengembangan dan pemanfaatan *quantum dots*, terutama yang berasal dari sumber daya alam Indonesia karena sumber daya yang dimiliki negara Indonesia sangat melimpah dan dapat menjadi aset yang besar bagi pengembangan riset *quantum dots* yang tidak hanya akan memberikan manfaat bagi perkembangan sains saja, tetapi juga bagi masyarakat Indonesia.

I. PENDAHULUAN

Masalah energi dan lingkungan merupakan dua masalah penting yang memerlukan solusi praktis. Pada bidang energi, dapat dilihat dari adanya ketergantungan manusia pada energi fosil hingga saat ini. Pemerintah Indonesia melalui Perpres No. 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional telah menargetkan kontribusi energi baru terbarukan sebesar 17% pada tahun 2025 serta proyek listrik 35.000 MW (Sinaga et al., 2021). Permasalahan energi lain adalah efisiensi energi listrik yang meliputi faktor teknis dan budaya. Banyak konsumen listrik yang tidak menyadari pentingnya efisiensi energi atau tidak memiliki pengetahuan tentang cara menghemat energi. Mereka sering kali meninggalkan peralatan listrik dalam keadaan terhubung listrik atau menggunakan peralatan listrik yang tidak sesuai dengan kebutuhan. Salah satu penyebab hal tersebut adalah kurangnya regulasi atau insentif untuk mendorong penggunaan energi yang lebih efisien. Hal ini dapat menghambat adopsi teknologi dan praktik yang ramah lingkungan. Faktor teknis yang dapat menghambat efisiensi energi antara lain terbatasnya akses terhadap teknologi efisiensi energi, baik karena faktor finansial, infrastruktur, maupun kurangnya informasi. Faktor lain adalah peralatan listrik, terutama peralatan tua yang mungkin sudah

tidak efisien lagi. Penggunaan peralatan yang tidak efisien dapat menghabiskan lebih banyak energi daripada yang seharusnya. Selain itu, sebuah riset mengungkapkan bahwa masyarakat Indonesia belum sepenuhnya menyadari penggunaan energi listrik yang efisien. Hal ini ditandai dengan pemilihan jenis lampu yang boros listrik (Kresnadi, 2020). Sekitar 20% energi listrik digunakan untuk penerangan lampu, baik dalam ruangan maupun luar ruangan. Efisiensi penggunaan energi listrik dapat dicapai dengan menciptakan teknologi lampu penerangan yang hemat energi dan murah. Pengembangan lampu berbasis *light emitting diodes* (LED) menjadi salah satu kunci efisiensi energi listrik (Gunawan et al., 2018a; Lee et al., 2013).

Permasalahan bidang lingkungan juga tak kalah peliknya. Pencemaran lingkungan masih menjadi isu penting yang harus diselesaikan di Indonesia hingga saat ini. Indonesia menghasilkan 187,2 juta ton sampah setiap tahunnya. Hal ini menjadikan Indonesia sebagai negeri penghasil sampah terbesar kedua di dunia setelah Tiongkok (Kresnadi, 2020). Sampah domestik merupakan salah satu komponen sampah kota yang terbanyak. Sampah domestik yang sering dijumpai antara lain sampah makanan, kertas, kaca, logam, plastik, dan tekstil. Sebagian besar sampah tersebut juga terdiri dari tumbuhan dan hewan seperti sayuran, kulit buah, sisa tulang, daging, serta sampah ayam dan ikan, yang merupakan limbah basah. Kertas, karton, koran bekas, buku, sampah kertas lainnya, plastik, piring sekali

pakai, mainan, serta kaleng logam dan kaca juga merupakan bagian dari limbah domestik atau rumah tangga. Meningkatnya sampah domestik mengakibatkan lebih dari 73% sungai di Indonesia tercemar (Sakti et al., 2021; Sugiester et al., 2021). Permasalahan sungai di Indonesia tidak hanya disebabkan oleh sampah domestik saja, tetapi juga oleh logam berat dan bahan berbahaya lainnya yang bisa mengancam kesehatan manusia. Setidaknya, ada dua permasalahan yang ingin diangkat dalam naskah orasi ini, yaitu teknologi alternatif pengolahan sampah yang dapat dimanfaatkan menjadi hal yang berguna dan teknologi alternatif untuk mendeteksi pencemaran logam berat pada perairan.

Berbagai inovasi telah dihasilkan untuk mengatasi permasalahan di atas. Inovasi berbasis riset telah dilakukan, khususnya di bidang energi, yaitu telah dikembangkan lampu LED berbasis *quantum dots* (Isnaeni et al., 2020). Pada bidang lingkungan, telah dikembangkan teknik pengolahan limbah menjadi partikel *quantum dots* karbon dan teknik deteksi logam berat pada perairan menggunakan *quantum dots* karbon (Lewa & Isnaeni, 2020).

Naskah orasi ini memaparkan peran dan tantangan material optik *quantum dots* sebagai alternatif solusi masalah pada bidang energi dan lingkungan di Indonesia. Sejarah dan sifat *quantum dots* dihadirkan dalam Bab II. Orasi dilanjutkan dengan Bab III

yang menghadirkan beberapa capaian riset *quantum dots* yang mampu menjawab masalah bidang energi dan lingkungan. Bab IV mengakhiri orasi ini dengan bahasan peluang pemanfaatan *quantum dots* ke depannya di Indonesia.

II. PERKEMBANGAN RISET *QUANTUM DOTS*

Pada bab ini akan dijelaskan perkembangan riset *quantum dots*. *Quantum dots* telah menjadi salah satu tren riset yang berkembang saat ini. Selain itu, *quantum dots* memiliki sifat-sifat khas yang akan dibahas secara singkat untuk memberikan gambaran mengenai keunikan *quantum dots*.

A. Sejarah Riset *Quantum Dots*

Kemunculan *quantum dots* berawal dari pemikiran teoretis fisikawan pada awal abad ke-19. Prinsip pengurungan kuantum (*quantum confinement*), yang juga disebut sebagai kondisi partikel dalam kotak, secara teoretis dikemukakan pada tahun 1930 ketika fisikawan Herbert Fröhlich mengusulkan sebuah konsep mengenai sifat material yang dapat bergantung pada dimensi makroskopis sebuah partikel kecil (Efros & Brus, 2021). Fröhlich mengeksplorasi konsekuensi persamaan Schrödinger, yang menunjukkan bahwa ketika partikel menjadi sangat kecil, ruang untuk elektron dalam material makin berkurang dan pada gilirannya, elektron-elektron tersebut akan terhimpit. Beberapa dekade setelah karya Fröhlich, para fisikawan mempresentasikan studi lebih lanjut tentang efek ukuran kuantum. Pada tahun 1970, para peneliti berhasil membuat struktur nano dan menunjukkan

bahwa sifat optiknya memang bervariasi tergantung pada ukurannya. Namun, pengamatan mereka masih terbatas pada ukuran material yang besar saja. Hampir 50 tahun setelah pemikiran Fröhlich, prediksi keberadaan *quantum dots* tersebut masih belum dapat diuji secara eksperimental.

Penelitian tentang partikel *quantum dots* memasuki titik terang pada awal 1980 ketika Alexei Ekimov, seorang fisikawan dari Institut Ioffe di Rusia, mengamati pendaran nanokristal semikonduktor yang terbuat dari material kadmium selenida (Efros & Brus, 2021). Ekimov dan peneliti lainnya memperhatikan bahwa kristal berukuran nano memancarkan cahaya dengan warna berbeda tergantung dari ukurannya. Hal inilah yang membuat mereka menciptakan istilah *quantum dots* atau titik kuantum untuk menggambarkan hasil temuannya. *Quantum dots* adalah partikel semikonduktor atau material lain dengan ukuran partikel berskala nanometer yang menunjukkan sifat optik dan elektronik unik karena ukurannya yang kecil (Isnaeni, Sugiarto et al., 2016; Pattersons & Isnaeni, 2018). *Quantum dots* juga sering disebut sebagai atom buatan. Terminologi *dots* atau titik adalah kunci sebenarnya dari material *quantum dots*, dengan ukurannya yang sangat kecil sehingga dapat digambarkan sebagai material dengan dimensi nol atau *zero-dimension* (Efros & Brus, 2021). Hal ini berarti ukuran partikel hanya terdiri dari beberapa atom sehingga tidak terlihat dengan mata telanjang. Susunan atom yang sedikit inilah yang memungkinkan *quantum*

dots memiliki sifat khas yang unggul dalam aplikasi teknologi di berbagai bidang (Jumardin et al., 2023).

Pada perkembangannya, riset dan inovasi mengenai *quantum dots* telah menjadi fokus penting dalam bidang ilmu material, nanoteknologi, dan fisika kuantum. Riset yang sedang berlangsung di bidang ini pada umumnya bertujuan untuk memperluas pemahaman manusia tentang *quantum dots* (Isnaeni et al., 2013, 2015; Isnaeni & Cho, 2010; Kim et al., 2013). Hal ini ditunjukkan dengan adanya kemajuan riset terbaru tentang *quantum dots* yang meliputi proses sintesis partikel *quantum dots*, mempelajari sifat optik termasuk sifat optik nonlinear, dan memanfaatkan partikel *quantum dots* pada berbagai aplikasi (Bilqis et al., 2015; Chen et al., 2019; Isnaeni & Yulianto, 2015; Liu, 2020). Salah satu contoh dari kemajuan riset tersebut adalah kemampuan *quantum dots* untuk menghadirkan sebuah teknologi elektronika yang sangat luar biasa, yaitu teknologi layar atau *display* (Lee et al., 2013).

Perkembangan *quantum dots* sebagai material maju didasari oleh keunikan sifatnya. Saat dikenai arus listrik atau cahaya dari luar, partikel *quantum dots* memancarkan cahaya yang spesifik (Isnaeni, Yulianto et al., 2016). Kemampuan untuk menghasilkan cahaya yang berbeda membuat *quantum dots* berguna dalam berbagai aplikasi fluoresensi, fotonik, dan elektrokimia (Isnaeni, Sugiarto et al., 2016). Partikel *quantum dots* juga sangat efisien

karena sebagian besar energi cahaya yang diserap oleh partikel ini dapat dipancarkan sebagai cahaya baru (Isnaeni et al., 2011; Isnaeni, Sugiarto et al., 2016).

Penelitian mengenai *quantum dots* awalnya sangat berpusat pada unsur semikonduktor golongan III-V pada tabel periodik kimia (Isnaeni, Yulianto et al., 2016; Xia et al., 2021). Namun, adanya kemajuan dalam sintesis selama bertahun-tahun telah memperluas komposisi unsur. Saat ini, *quantum dots* juga dapat disintesis dari unsur II-VI, I-III-VI, dikalkogenida, logam transisi, perovskite, karbon, dan lainnya (Fatimah et al., 2019; Isnaeni, Herbani et al., 2018; Isnaeni, Rahmawati et al., 2018). Komposisi unsur pada *quantum dots* juga memegang peranan penting. Perpaduan dua atau lebih unsur yang berbeda seperti kadmium selenida telurida (CdSeTe), dapat digunakan untuk menyintesis *quantum dots*. Pilihan material memengaruhi sifat optik dan elektronik *quantum dots* yang menghadirkan potensi tersendiri (Isnaeni et al., 2013). Namun, *quantum dots* jenis ini menunjukkan toksisitas *in vivo*. *Quantum dots* CdSe sangat beracun bagi sel yang dikultur di bawah penerangan UV dalam proses yang dikenal sebagai fotolisis. Hal ini dikarenakan *quantum dots* dapat melepaskan ion kadmium yang beracun ke dalam media kultur. Sifat toksisitas tersebut menjadi penghalang pemanfaatan *quantum dots* jenis ini hingga munculnya jenis *quantum dots* karbon.

Pada tahun 2004, seorang peneliti bernama Xu menemukan material koloid berpendar yang dihasilkan secara tidak sengaja setelah pemurnian *single-wall carbon nano tubes* melalui proses elektroforesis (Liu, 2020). Namun, istilah *quantum dots* karbon (*carbon quantum dots*) baru dipakai setelah diperkenalkan secara formal oleh Sun dan kawan-kawan pada tahun 2006 (Isnaeni, Herbani et al., 2018; Liu, 2020). Istilah *quantum dots* karbon digunakan untuk membedakannya dari jenis nanopartikel karbon yang sudah dikenal sebelumnya seperti karbon aktif, karbon hitam, grafit, graphene, dan lain-lain. Sejak saat itu, penelitian, pengembangan, dan pemanfaatan *quantum dots* karbon telah dilaporkan secara global di berbagai publikasi ilmiah.

Pada perkembangannya, *quantum dots* karbon memiliki sifat optik yang baik sehingga memiliki potensi besar untuk digunakan di bidang energi sebagai bahan untuk sel surya dan LED (Nozik, 2002). *Quantum dots* karbon, terutama yang dibuat dari sumber karbon seperti limbah domestik organik, memiliki potensi untuk mengurangi ketergantungan pada sumber daya fosil dan mengurangi pencemaran lingkungan. *Quantum dots* karbon dapat disintesis dari limbah teh, kopi, dan lainnya (Isnaeni, Rahmawati et al., 2018; Kasmiarno et al., 2021; Liu, 2020; Primadona et al., 2021; X. Wang et al., 2019). Pemanfaatan limbah organik ini membuat *quantum dots* karbon menjadi penting dan menarik untuk diteliti.

B. Sifat *Quantum Dots*

Quantum dots memiliki ukuran yang sangat kecil berkisar antara 5 hingga 100 nm (Isnaeni & Cho, 2016; Park et al., 2017). Karena ukurannya yang sangat kecil, momentum elektron di dalam sebuah *quantum dots* sangat terbatas dan dibatasi oleh energi potensial. Dimensi *quantum dots* cukup kecil dibandingkan dengan Bohr Radius, yaitu jarak yang mungkin bagi elektron untuk berada jauh dari inti atomnya atau jarak elektron dimungkinkan menjadi elektron bebas (Cassidy & Zamkov, 2020; X. Wang et al., 2019; Y. Zhang et al., 2014). Dalam ilmu fisika kuantum, keadaan ini mengakibatkan *electron confinement* atau pengurungan elektron yang memiliki peranan penting dalam menentukan sifat optik *quantum dots*. Elektron tidak akan bebas dan akan terkurung dalam sebuah energi potensial sehingga tingkat energi dalam *quantum dots* bersifat diskrit (Cassidy & Zamkov, 2020). Celah pita *quantum dots* bergantung pada area pengurungan di mana *quantum dots* berada, yang merupakan fungsi dari perbandingan ukuran *quantum dots* dan radius Bohr. Jika radius *quantum dots* sama besar dengan radius Bohr, *quantum dots* berada dalam lingkungan pengurungan lemah dan terpengaruh oleh efek kuantum yang tidak signifikan. Jika *quantum dots* berada dalam lingkungan pengurungan yang kuat di mana ukuran *quantum dots* lebih kecil dari radius Bohr, hal ini akan menjadi menarik. Pengurungan kuantum ini juga membuat celah pita energi berubah. Makin kecil ukuran *quantum*

dots, makin besar celah pita energi yang terbentuk sehingga *quantum dots* dapat menghasilkan cahaya baru dengan energi yang besar saat elektron kembali ke pita valensi. Warna cahaya pendaran *quantum dots* tergantung pada ukuran dan bentuk partikel. Partikel yang lebih besar memancarkan cahaya pada panjang gelombang yang mengarah ke spektrum kemerahan dan inframerah atau dengan energi foton yang lebih rendah (Z. Ji et al., 2019). *Quantum dots* yang lebih kecil memancarkan panjang gelombang yang lebih pendek atau lebih mendekati cahaya biru dan ultraviolet dari spektrum cahaya tampak dengan memancarkan energi foton yang lebih tinggi (Isnaeni, Yulianto et al., 2016; Pattersons & Isnaeni, 2018). Besarnya celah pita energi ini sangat bergantung pada ukuran *quantum dots* (Isnaeni, Sugiarto et al., 2016; Isnaeni, Yulianto et al., 2016).

Salah satu sifat optik yang sangat unik dari sebuah partikel *quantum dots* adalah efek berkedip atau *blinking* (Isnaeni et al., 2011; Kim et al., 2013). Saat sebuah partikel *quantum dots* CdSe dikenai sinar ultraviolet, partikel *quantum dots* tersebut akan mengeluarkan cahaya. Cahaya yang dikeluarkan tidak bersifat kontinu walaupun dikenai sinar kontinu. Efek berkedip ditandai dengan pengamatan intensitas cahaya yang dipancarkan oleh *quantum dots* yang dapat berfluktuasi dari waktu ke waktu, dengan periode pendaran terang diikuti periode tanpa pendaran. Periode tanpa pendaran dapat berlangsung mulai dari beberapa mili detik hingga detik (Isnaeni et al., 2011, 2013). Efek berkedip

satu partikel *quantum dots* menjadi salah satu sifat unik *quantum dots* yang masih terus dikaji penyebabnya. Keadaan perangkap elektron menjadi salah satu kajian penyebab efek berkedip ini, di mana *quantum dots* dapat menangkap atau melepaskan elektron yang menyebabkan perubahan sifat pendaran (Isnaeni et al., 2011).

Riset yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti di seluruh dunia mengungkapkan bahwa ada banyak jenis *quantum dots* yang telah dikembangkan. Beberapa jenis *quantum dots* yang dikenal hingga saat ini antara lain:

1. *Quantum dots* semikonduktor koloid. *Quantum dots* koloid adalah *quantum dots* yang paling umum dan disintesis menggunakan metode kimia. *Quantum dots* ini disintesis dari material semikonduktor, seperti kadmium selenida atau fosfida indium, dan dikelilingi oleh lapisan luar bahan semikonduktor lain (Isnaeni et al., 2011).
2. *Quantum dots* epitaksi. Pada jenis *quantum dots* ini, diperlukan teknik penumbuhan fisika untuk menumbuhkan *quantum dots* pada substrat tertentu (Koguchi et al., 1993)
3. *Quantum dots* alloy. *Quantum dots* jenis ini dapat dibuat dengan menggabungkan dua atau lebih bahan semikonduktor dengan energi celah pita yang berbeda untuk membentuk struktur kristal tunggal (Y. Zhang et al., 2014).

4. *Quantum dots* upkonversi. *Quantum dots* jenis ini mampu mengubah foton berenergi rendah, seperti cahaya infra-merah, menjadi foton berenergi lebih tinggi, seperti cahaya tampak (Wen et al., 2014).
5. *Quantum dots perovskite*. *Quantum dots* ini adalah jenis nanokristal semikonduktor yang memiliki struktur kristal *perovskite* (H.C. Wang et al., 2018).
6. *Quantum dots* berbasis karbon adalah jenis *quantum dots* yang terdiri dari unsur karbon dengan struktur seperti graphene. *Quantum dots* karbon merupakan bahan utama yang akan dibahas dalam orasi ini (Isnaeni, Her bani et al., 2018; Liu, 2020).

C. Potensi Pemanfaatan *Quantum Dots*

Jika memperhatikan beberapa keunggulan dari *quantum dots*, potensi pemanfaatannya akan menjadi makin besar. Beberapa potensi tersebut sangat erat hubungannya dengan pemilihan jenis material, keseragaman ukuran, efisiensi kuantum, dan daya serap *quantum dots*.

Potensi pemanfaatan *quantum dots* dalam bidang energi telah menjadi sorotan utama dalam penelitian dan pengembangan teknologi energi berkelanjutan. Salah satu aplikasi paling menjanjikan dari *quantum dots* adalah dalam pembangkit listrik

tenaga surya atau panel surya. Dengan ukuran yang sangat kecil, *quantum dots* dapat menangkap dan mengubah energi matahari menjadi listrik dengan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan panel surya konvensional. Saat ini, teknologi panel surya untuk menghasilkan energi masih menyimpan masalah utama, yaitu efisiensi. Panel surya berbasis bahan silikon masih menjadi primadona pada masa kini walaupun efisiensi maksimumnya secara teoretis adalah sekitar 29% (Mao et al., 2022). Fenomena ini dikenal sebagai batas *Shockley-Queisser*, yang didasarkan pada sifat fisis material. Saat ini, para peneliti telah mendorong efisiensi teknologi panel surya supaya mendekati batas praktisnya sehingga dapat membuka peluang penggunaan material baru dalam pengembangan panel surya generasi ketiga. *Quantum dots* memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi konversi sinar matahari menjadi energi listrik karena kemampuannya untuk menghasilkan lebih dari satu pasangan *hole-electron* (Nakazawa et al., 2019). Panel surya yang ada saat ini hanya menghasilkan satu pasangan *hole-electron* per foton yang diserap. Namun, dengan efek *multiple exciton generation*, *quantum dots* dapat menjanjikan untuk menghasilkan lebih banyak energi listrik dari setiap foton matahari yang diserap. Selain itu, memvariasi berbagai ukuran *quantum dots* dapat secara efektif menyesuaikan untuk menyerap energi dari panjang gelombang cahaya matahari yang berbeda. Dengan menggunakan perhitungan termodinamika, dapat dilihat bahwa

panel surya *quantum dots* yang beroperasi di bawah sinar matahari memiliki efisiensi konversi teoretis maksimum hingga 66% (Nozik, 2002). Namun, sebelum panel surya *quantum dots* secara teknologi menjadi kenyataan, para ilmuwan harus terlebih dahulu mempelajari cara agar setiap *quantum dots* yang digunakan dapat merespons cahaya matahari secara spesifik dan menghasilkan energi yang maksimal. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa penggunaan *quantum dots* koloid dapat meningkatkan efisiensi dari panel surya dengan biaya rendah (Gao et al., 2020; Pu et al., 2018). Dengan adanya penelitian-penelitian terbaru mengenai sintesis *quantum dots* berkualitas tinggi, diharapkan bahwa teknologi panel surya akan menuju tahap pencapaian kematangan dan relevansi teknologi yang menghasilkan energi listrik tinggi, khususnya untuk diterapkan pada daerah terpencil.

Selain dapat digunakan sebagai teknologi panel surya, *quantum dots* juga bisa digunakan dalam pembuatan baterai yang lebih efisien dan tahan lama. *Quantum dots* dapat meningkatkan kapasitas penyimpanan energi dan memperpanjang masa pakai baterai sehingga cocok untuk aplikasi mobil listrik dan perangkat portabel seperti baterai ion sekunder. Baterai ion sekunder tidak hanya perangkat penyimpanan energi, tetapi juga alat yang ampuh untuk transformasi dari era bahan bakar fosil ke era modern dengan perangkat penyimpanan energi ramah lingkungan. Setelah penelitian mengenai baterai ini dilakukan

oleh industri dan akademisi selama beberapa dekade, salah satu hambatan penting yang ditemukan adalah bahan elektrodanya. Dalam hal ini, *quantum dots* karbon telah menunjukkan kemampuan yang menjanjikan untuk meningkatkan sifat elektrokimia baterai, yaitu meningkatkan konduktivitas listrik, kapasitas spesifik, dan kepadatan energi. Beberapa peneliti melaporkan peningkatan kapasitas baterai beberapa kali lipat setelah memasukkan *quantum dots* karbon ke elektrodanya (Gao et al., 2020).

Selama beberapa dekade terakhir, LED berbasis material organik (OLED) telah berhasil diluncurkan di industri layar dan telah mendominasi pasar layar panel datar di dunia. Hal ini terjadi karena adanya keunggulan perangkat lapisan *self-emissive* dengan rasio kontras tinggi dan fleksibilitas substrat (Pattison et al., 2018). Meskipun industrialisasi OLED telah berhasil, permintaan akan saturasi warna yang lebih tinggi dan tajam dengan stabilitas daya yang lebih tinggi menjadi pemicu untuk tampilan layar (*display*) generasi berikutnya. *Quantum dots* adalah bahan yang menjanjikan sebagai komponen emisif dari LED karena saturasi warnanya yang tinggi dalam rentang panjang gelombang yang sempit sehingga menghasilkan warna yang lebih tajam (X. Zhang et al., 2013). Penyesuaian warna yang mudah, yaitu dengan mengontrol ukurannya dan stabilitas yang sangat baik juga menjadi keunggulan *quantum dots*. LED

berbahan *quantum dots* yang dapat diaktivasi oleh daya listrik dikenal dengan istilah LED *quantum dots* (*QD-LED*). LED *quantum dots* memiliki bentuk yang fleksibel dan emisi cahaya yang sangat tajam. Selain itu, LED tipe ini memanfaatkan sifat material utama dari *quantum dots*, yaitu gamut warna yang tinggi dengan pengaturan warna yang tinggi dan stabilitas listrik yang baik (Guo et al., 2021). Oleh karena itu, teknologi LED *quantum dots* makin menarik sebagai teknologi perangkat baru untuk generasi layar pintar. Hingga saat ini, kinerja perangkat LED *quantum dots*, seperti efisiensi kuantum eksternal, kecerahan, dan masa pakai telah meningkat pesat dengan adanya perkembangan bahan *quantum dots* yang baru. Ada upaya luar biasa untuk mencapai efisiensi kuantum eksternal yang tinggi (Ko et al., 2020; Lee et al., 2013). Beberapa riset yang pernah dilakukan menunjukkan bahwa efisiensi kuantum eksternal dapat ditingkatkan dengan memanfaatkan kristal fotonik (Isnaeni et al., 2015; Isnaeni & Cho, 2010, 2016; Ko et al., 2020). *Quantum dots* dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi pendaran cahaya pada lampu LED dan layar monitor. Ketika ditempatkan di dalam lapisan konversi warna lampu LED, *quantum dots* dapat mengubah cahaya biru dari LED menjadi cahaya putih atau warna lainnya dengan efisiensi tinggi (Guo et al., 2021).

Penerapan *quantum dots* dalam bidang lingkungan telah menunjukkan potensi yang besar. Partikel ini dapat digunakan

dalam fotokatalisis, yaitu proses energi cahaya digunakan untuk menginisiasi atau mempercepat reaksi kimia (Aryanto et al., 2020; Roza et al., 2020). *Quantum dots* yang disintesis dengan baik dapat berfungsi sebagai fotokatalis yang efisien untuk reaksi-reaksi seperti pemecahan air menjadi hidrogen dan oksigen yang dapat digunakan dalam produksi bahan bakar terbarukan. Partikel ini juga digunakan sebagai sensor yang sangat sensitif untuk mendeteksi berbagai zat pencemar dalam lingkungan seperti logam berat, pestisida, dan senyawa organik berbahaya lainnya. *Quantum dots* dapat diintegrasikan ke dalam sistem deteksi yang canggih untuk memantau kualitas udara, air, dan tanah secara *real-time*. Lebih lanjut, partikel ini juga dapat digunakan dalam pengembangan teknologi penyaringan air yang lebih efisien. *Quantum dots* dapat berfungsi sebagai katalis untuk reaksi penguraian polutan dalam air, serta sebagai bahan aktif dalam membran nanoteknologi untuk pemurnian air dari senyawa-senyawa berbahaya.

Berbagai potensi yang dimiliki oleh *quantum dots* sangat menarik untuk dikembangkan. Namun, *quantum dots* juga masih memiliki beberapa kelemahan yang membuat potensi aplikasinya berkurang. *Quantum dots* dari jenis semikonduktor pada umumnya bersifat toksik dan materialnya masih tergolong mahal (Isnaeni, Yulianto et al., 2016). Oleh karena itu, riset tentang *quantum dots* yang memiliki potensi toksisitas rendah

dan mudah, seperti *quantum dots* yang berbahan dasar karbon, menjadi salah satu tren riset saat ini. Hal ini dikarenakan *quantum dots* karbon memiliki potensi yang baik untuk berbagai aplikasi (Fatimah et al., 2019; Primadona et al., 2021; Roza et al., 2020). *Quantum dots* jenis inilah yang akan banyak dibahas pada kesempatan kali ini.

III. RISET *QUANTUM DOTS* KARBON

Pada bab ini disampaikan hasil riset yang telah dilakukan terkait riset quantum dots karbon yang berperan di bidang lingkungan dan energi. Capaian pertama, pengembangan teknologi sintesis quantum dots karbon menggunakan limbah organik maupun inorganik. Capaian kedua adalah pengembangan quantum dots karbon untuk aplikasi LED. Paparan ditutup dengan capaian pengembangan quantum dots karbon untuk deteksi logam berat.

A. Sintesis *Quantum Dots* Karbon dari Limbah

Permasalahan limbah organik dan anorganik dapat dijadikan ide riset yang sangat menantang di Indonesia. *Quantum dots* karbon, sebagai salah satu jenis *quantum dots* dapat disintesis dari limbah. Riset mengenai *quantum dots* karbon berkembang cukup pesat hingga saat ini karena partikel ini lebih memiliki potensi dan keunggulan dibandingkan *quantum dots* jenis lainnya. Beberapa keunggulan dari *quantum dots* jenis ini adalah sifat optiknya yang baik, mudah disintesis, memiliki nilai ekonomi tinggi, mudah larut dalam berbagai jenis pelarut, tingkat toksisitas yang rendah, dan stabilitas optik yang baik (X. Wang et al., 2019). Periset dari berbagai dunia telah berhasil membuat *quantum dots* karbon dari bahan limbah organik, seperti sisa makanan,

minuman, daun teh, dan lainnya (Fatimah et al., 2018; Ghifari et al., 2017; Liu, 2020; X. Wang et al., 2019). Hal ini menjadi menarik karena di Indonesia terdapat banyak bahan organik khas negara tropis yang dapat dimanfaatkan untuk membuat *quantum dots* karbon. Paparan berikut ini merupakan beberapa hasil sintesis *quantum dots* dari bahan alami di Indonesia yang sudah dilakukan.

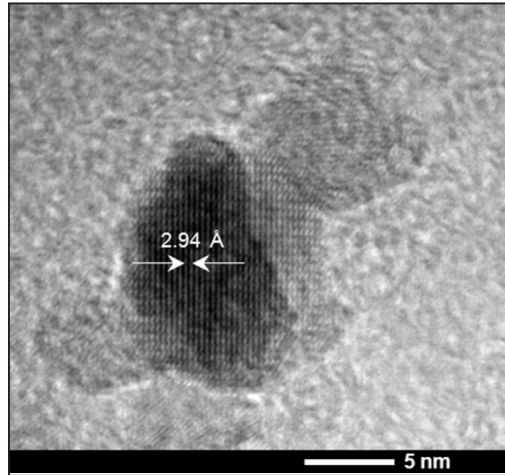
Quantum dots karbon lebih mudah disintesis daripada *quantum dots* semikonduktor anorganik. *Quantum dots* karbon dapat disintesis dengan menggunakan peralatan laboratorium sederhana seperti *microwave* dan oven suhu rendah (Ghifari et al., 2017; Isnaeni, Rahmawati et al., 2018; Putro et al., 2018a). Pembuatan *quantum dots* karbon dapat dilakukan dengan menggunakan *microwave* sederhana yang biasa kita gunakan di rumah. Proses sintesis *quantum dots* karbon dengan menggunakan *microwave* tergolong sangat sederhana dan cepat (Isnaeni, Herbani et al., 2018; Isnaeni, Rahmawati et al., 2018; Qurrata et al., 2018). Ekstrak dari bahan alam diletakkan di dalam *microwave* dan diproses hingga menjadi karbon. Proses pemisahan sederhana dapat dilakukan untuk memisahkan *quantum dots* karbon dengan serbuk arang. Beberapa riset juga telah membuktikan bahwa dengan metode hidrotermal dan *solvothermal*, yaitu menggunakan oven bersuhu 200–300°C dapat dihasilkan *quantum dots* karbon dengan tingkat kemurnian yang cukup tinggi (Dwandaru et al., 2019). Untuk mendapatkan

quantum dots karbon dengan kualitas yang lebih baik, metode pirolisis dapat digunakan di dalam sebuah laboratorium kimia sederhana.

Salah satu pengembangan sintesis *quantum dots* karbon adalah dari bahan jahe dan lengkuas (Isnaeni, Rahmawati et al., 2018). Riset yang telah dilakukan berupa menyintesis *quantum dots* karbon dari ekstrak jahe dan lengkuas menggunakan teknik gelombang mikro (*microwave*) dalam pelarut air dengan memvariasi waktu proses gelombang mikro. Serapan UV-Vis dan fotoluminesensi digunakan untuk mempelajari sifat-sifat *quantum dots*. Waktu pemrosesan *microwave* secara signifikan memengaruhi sifat optik *quantum dots* karbon yang disintesis. Spektrum serapan UV-Vis dan hasil fotoluminesensi *quantum dots* yang disintesis berdasarkan waktu proses menunjukkan bahwa pendaran *quantum dots* karbon didominasi oleh proses rekombinasi dari tingkat energi permukaan. Secara umum, *quantum dots* karbon dari ekstrak jahe dan lengkuas menghasilkan pendaran cahaya biru hingga hijau. Pendaran warna ini menunjukkan bahwa *quantum dots* karbon berhasil dibuat dengan teknik yang mudah.

Selain menggunakan teknik kimia, *quantum dots* karbon juga bisa disintesis menggunakan teknik fisika, yaitu dengan memanfaatkan batang grafit. Teknik elektrokimia sederhana dapat menghasilkan *quantum dots* karbon dari batang grafit

sederhana, seperti batang pensil sebagai elektrodanya (Isnaeni et al., 2023). Lebih lanjut, *quantum dots* karbon dapat disintesis menggunakan bantuan laser daya tinggi, yaitu teknik ablasi laser dengan serbuk karbon atau balok grafit dikenai sinar laser pulsa daya tinggi sehingga tercipta partikel-partikel karbon yang lebih kecil dan membentuk *quantum dots* karbon (Isnaeni et al., 2017, 2019). *Quantum dots* karbon dapat dibuat dari bahan pensil 2B menggunakan proses elektrokimia. Dua batang pensil digunakan sebagai elektroda anoda dan elektroda katoda untuk proses elektrokimia, dengan jarak antarelektroda sebesar 1 cm. Pelarut elektrolit yang dapat digunakan adalah campuran etanol dan natrium hidroksida. Elektroda yang telah dibuat kemudian dihubungkan ke satu daya listrik arus DC 45 mA selama sekitar 2 jam pada suhu kamar. Sementara itu, larutan elektrolit yang juga telah dibuat disimpan minimal 8 jam hingga muncul cairan berwarna coklat yang menandakan telah terbentuk *quantum dots* karbon. Karakterisasi *transmission electron microscope* (TEM) digunakan untuk mendapatkan ukuran partikel dan morfologi *quantum dots* karbon. Gambar 3.1 menunjukkan gambar satu partikel *quantum dots* karbon. Sebagian besar *quantum dots* karbon memiliki ukuran partikel kurang dari 5 nanometer, dengan distribusi ukurannya mulai dari 1 nm sampai 6 nm dan ukuran yang dominan adalah 3 nm. Sifat optik dan listrik lebih lanjut dari *quantum dots* karbon masih diselidiki oleh banyak peneliti, baik di Indonesia maupun di dunia.



Sumber: Isnaeni et al. (2018)

Gambar 3.1 Satu Partikel *Quantum Dots* Karbon Hasil Pengujian dengan *Transmission Electron Microscopy*

Quantum dots karbon dinilai memiliki nilai ekonomis yang sangat tinggi karena bahan baku untuk pembuatannya dapat ditemukan di sekitar lingkungan. *Quantum dots* karbon dapat disintesis dari bahan kimia sederhana seperti urea, asam sitrat, dan asam askorbat (Isnaeni et al., 2022). *Quantum dots* karbon juga dapat disintesis dari berbagai bahan organik, seperti buah-buahan, bunga, daun, batang pohon, serta limbah organik, seperti kulit buah, ampas teh, ampas singkong, dan sampah rumah tangga lainnya (Dwandaru et al., 2020; Ghifari et al., 2017; Hepriyadi & Isnaeni, 2018; Putro et al., 2018b, 2019a, 2019b; Qurrata et al., 2018). Selain itu, *quantum dots* karbon juga dapat

disintesis dari bahan plastik seperti polietilena (Isnaeni et al., 2021; Sujana et al., 2020). Hal ini menunjukkan bahwa *quantum dots* karbon dapat disintesis dari limbah plastik dan menjadi material bernilai ekonomis. Jika teknologi sintesis *quantum dots* karbon ini terus dikembangkan, maka akan berpotensi membantu kelestarian lingkungan dengan mengurangi limbah, baik limbah organik maupun anorganik.

Nilai ekonomis *quantum dots* karbon sangat tinggi jika dibandingkan *quantum dots* jenis lainnya. Nilai ekonomis dihitung berdasarkan sumber bahan baku dan biaya sintesis. *Quantum dots* semikonduktor koloid dan *quantum dots* epitaksi membutuhkan sumber bahan baku berupa bahan kimia dengan kemurnian yang sangat tinggi, umumnya pada tingkat *analytical grade* (Isnaeni et al., 2011, 2013). Sebagai ilustrasi, untuk membuat *quantum dots* CdSe dibutuhkan serbuk CdO dengan harga lebih dari satu juta rupiah per 100 gram. Sementara itu, untuk membuat *quantum dots* karbon, hampir tidak membutuhkan biaya untuk bahan bakunya. Selain itu, peralatan yang digunakan untuk membuat *quantum dots* karbon juga jauh lebih sederhana dan murah dibandingkan *quantum dots* semikonduktor. Nilai ekonomis *quantum dots* karbon akan makin besar jika produksinya dilakukan pada skala yang lebih besar.

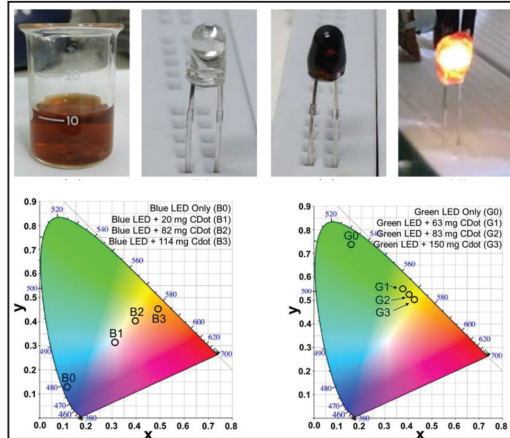
Keberhasilan sintesis *quantum dots* karbon dari berbagai sumber limbah telah membuktikan bahwa pengembangan riset *quantum dots* mampu menjadi solusi permasalahan lingkungan, khususnya limbah lingkungan. Pengembangan yang telah dilakukan penulis menunjukkan bahwa *quantum dots* karbon dapat disintesis dari lebih dari 30 jenis limbah, baik limbah organik maupun anorganik. Capaian ini memberikan dampak positif bagi pengembangan sintesis *quantum dots* karbon selanjutnya.

B. *Quantum Dots* Karbon sebagai LED

Di bidang energi, *quantum dots* menjadi salah satu material utama yang memiliki potensi pemanfaatan untuk teknologi pencahayaan LED, salah satu teknologi penghematan energi listrik (Park et al., 2017). Riset mengenai *quantum dots* tetap berlanjut, baik oleh peneliti internasional maupun Indonesia (Gunawan et al., 2018a, 2018b). Dalam subbab ini akan ditunjukkan pengembangan *quantum dots* karbon pada LED yang telah dilakukan oleh penulis. Untuk beberapa aplikasi penerangan ruangan, LED diperlukan untuk menghasilkan warna tertentu di sebuah ruangan kecil. Untuk mendapatkan warna tersebut, periset menggunakan teknologi konversi warna dengan mengubah LED biru menjadi warna yang diinginkan dengan menambahkan fosfor kuning atau *dyes* dengan warna tertentu. Namun, penggunaan *dyes* mengundang masalah toksisitas pada

LED sehingga dibutuhkan material pengganti yang lebih aman. *Quantum dots* karbon dalam hal ini telah menjadi salah satu material pengganti *dyes* yang aman dan murah.

Quantum dots karbon yang sederhana dan tidak beracun dapat disintesis dengan mudah dari bahan baku gula pasir dan air. Caranya adalah dengan mencampur gula dan air, kemudian campuran tersebut dipanaskan dalam *microwave* hingga *quantum dots* karbon dengan bentuk seperti karamel muncul. *Quantum dots* karbon tersebut dilapiskan pada LED biru dan LED hijau, seperti terlihat pada Gambar 3.2 (Isnaeni et al., 2020; Zufara et al., 2020). *Quantum dots* karbon yang telah dibuat berhasil untuk menghasilkan konversi warna pada LED biru dan hijau (Zufara et al., 2020). Kemudian, analisis kuantitatif dilakukan pada spektrum cahaya yang dihasilkan. Koordinat ruang warna dari spektrum cahaya yang dihasilkan lalu disajikan ke dalam diagram warna *Commission Internationale de l'Elclairage* (CIE) 1931 seperti terlihat pada Gambar 3.2. Spektrum warna yang dikonversi bergantung pada beberapa faktor, seperti jenis LED, panjang gelombang pendaran *quantum dots* karbon, dan ketebalan atau massa *quantum dots* karbon pada permukaan LED. Riset dengan menggunakan *quantum dots* karbon pada LED berhasil menghasilkan warna pendaran kuning, merah, hingga putih (Zufara et al., 2020). Hal ini merupakan sebuah terobosan pada riset *quantum dots*; satu jenis *quantum dots* dapat menghasilkan beberapa jenis warna LED.



Sumber: Isnaeni et al. (2020), Zufara et al. (2020)

Gambar 3.2 *Quantum Dots* Karbon sebagai Bahan Baku untuk Konversi Warna LED.

Penjelasan *quantum dots* karbon sebagai bahan LED telah dikaji lebih lanjut (Isnaeni et al., 2020). Kajian yang telah dilakukan memperlihatkan bahwa energi permukaan *quantum dots* karbon memainkan peran penting dalam pendaran *quantum dots* karbon pada LED. Tipe LED yang dikembangkan adalah pengonversi warna atau *down conversion LED*. Peranan energi permukaan *quantum dots* karbon pada LED sangat dipengaruhi oleh kemampuan *quantum dots* karbon untuk menyerap dan mengonversi energi yang terserap menjadi pendaran cahaya baru. Arus listrik DC digunakan untuk menyalakan LED hijau dan biru. Cahaya LED ini kemudian diserap oleh *quantum dots* karbon dan diubah menjadi cahaya baru. Gambar 3.2 menunjukkan

spektrum emisi LED biru dan hijau dengan *quantum dots* karbon. LED biru memancarkan cahaya pada panjang gelombang sekitar 460 nm. Cahaya ini membuat *quantum dots* karbon dapat memancarkan cahaya baru pada panjang gelombang 582 nm, yaitu pada cahaya kuning. Campuran cahaya biru dari LED biru dan kuning dari *quantum dots* karbon menciptakan warna hijau yang menghasilkan cahaya pada panjang gelombang sekitar 520 nm. Cahaya ini membuat *quantum dots* karbon memancarkan cahaya pada panjang gelombang 630 nm. Campuran warna hijau dari LED dan merah dari *quantum dots* menghasilkan warna jingga. *Quantum dots* karbon yang dibuat mampu memiliki *quantum* efisiensi sebesar 5%–10% dan mampu menghasilkan warna baru yang terang (Isnaeni et al., 2020). Konversi cahaya *quantum dots* karbon terjadi ketika *quantum dots* karbon mampu menyerap cahaya yang datang pada rentang panjang gelombang yang cukup luas, mulai dari 250 nm hingga 550 nm. Serapan cahaya ini dipengaruhi oleh ikatan rangkap C=C pada inti *quantum dots* karbon dan gugus fungsi (C – H, C – O, C = O) yang terdapat pada permukaan *quantum dots* karbon. Kemampuan mengonversi cahaya LED menjadi lebih menarik saat konsentrasi *quantum dots* karbon diubah. Pada *quantum dots* karbon dengan konsentrasi tinggi, ditemukan sifat baru yang sangat menarik, yaitu adanya tumpang tindih keadaan energi permukaan. Hal ini menyebabkan *quantum dots* karbon mampu menghasilkan cahaya jingga hingga merah. Dengan demikian,

quantum dots karbon menjadi material optik yang mampu menghasilkan berbagai jenis warna dengan hanya menggunakan satu jenis *quantum dots* karbon saja.

Meningkatkan intensitas fluoresensi *quantum dots* pada LED tipe konversi warna menjadi kajian yang sangat signifikan saat ini. Memahami proses peningkatan fluoresensi *quantum dots* sangat penting untuk desain substrat struktur nano logam. *Quantum dots* hijau dan merah dapat dipadukan dengan susunan nanodisk aluminium dan perak yang dirancang oleh simulasi untuk mempelajari eksitasi, emisi spontan, dan efisiensi kuantum (Park et al., 2017). Hasil perhitungan dari faktor peningkatan fotoluminesensi keseluruhan dalam substrat berukuran kurang dari 1 mm² adalah hampir 3 kali lipat. Hasil eksperimen menunjukkan adanya peningkatan fotoluminesensi sebesar 2,5 kali lipat (Park et al., 2017).

Penggunaan LED dan *quantum dots* karbon dapat menunjang isu energi. Hal ini dibuktikan dari penggunaan LED yang dinilai lebih hemat untuk penerangan dibandingkan energi listrik. Selain itu, terdapat juga beberapa keunggulan *quantum dots* karbon pada LED. Keunggulan pertama adalah penggunaan satu jenis *quantum dots* karbon dapat menjadi salah satu solusi untuk menghasilkan warna-warna LED yang berbeda (Isnaeni et al., 2020; Zufara et al., 2020). Hal ini merupakan capaian pengembangan *quantum dots* karbon yang telah dilakukan. Keunggulan kedua adalah

efisiensi energi LED berbahan *quantum dots* karbon. Riset sebelumnya mengungkapkan bahwa LED dengan *quantum dots* karbon dapat mencapai efisiensi hingga 85 lumen/Watt (C. Ji et al., 2023). Nilai ini setara dengan efisiensi lampu *fluorescent* atau lampu neon. Namun, biaya produksi *quantum dots* karbon jauh lebih murah karena melimpahnya sumber bahan baku untuk pembuatannya. Hingga saat ini, pengembangan terus dilakukan agar LED berbahan *quantum dots* karbon mampu menyamai efisiensi LED komersial berbahan semikonduktor, yaitu sekitar 120 lumen/Watt (C. Ji et al., 2023; Pattison et al., 2018).

C. *Quantum Dots* Karbon sebagai Sensor Logam Berat

Pencemaran perairan di Indonesia tergolong cukup berbahaya bagi lingkungan, khususnya di daerah sungai-sungai (Kresnadi, 2020; Sakti et al., 2021). Hal ini terjadi karena sungai dijadikan tempat pembuangan berbagai limbah industri sehingga pencemaran limbah logam berat menjadi tidak terkontrol. Sensor logam berat yang efektif telah menjadi salah satu fokus riset *quantum dots* sejak tahun 2015. Penelitian tentang pengembangan *quantum dots* karbon sebagai sensor logam berat pun telah dilakukan (Sawitri et al., 2019; Lewa & Isnaeni, 2020).

Quantum dots karbon telah banyak digunakan sebagai pendeteksi ion logam berat menggantikan *quantum dots* toksik berbahan semikonduktor seperti CdS, CdSe, dan CdTe. Selain

tidak bersifat toksik, *quantum dots* karbon juga sensitif terhadap logam berat serta biokompatibel. Teknik umum yang digunakan untuk mengukur kadar logam berat saat menggunakan *quantum dots* karbon adalah dengan alat pengujian spektrometer UV-Vis-NIR. Namun, alat ini memiliki kelemahan, yaitu tingkat ketelitian yang rendah untuk perubahan konsentrasi logam berat yang kecil. Riset dengan menggunakan teknik pengujian berbeda telah dilakukan untuk meningkatkan sensitivitas pengujian logam berat dengan *quantum dots* karbon (Sawitri et al., 2019; Putro et al., 2022). Teknik pengujian yang dimaksud adalah *time-resolved photoluminescence* (TRPL). TRPL adalah teknik spektroskopi yang digunakan untuk memantau pergerakan elektron yang terjadi dalam periode singkat. Kemampuan TRPL untuk mengukur perubahan dalam rentang waktu pikodetik menjadikannya teknik yang berguna dalam analisis dan dinamika struktur nano optik. Hasil dari pengujian TRPL terhadap *quantum dots* karbon dari bahan urea dan asam sitrat menunjukkan adanya tren penurunan waktu luruh elektron yang baik setelah penambahan ion besi Fe^{3+} pada *quantum dots* karbon. Dari riset tersebut, diketahui bahwa teknik pendeteksian ini lebih baik dibandingkan teknik lainnya, seperti fotoluminesensi, spektrometer UV-Vis-NIR, dan ICP-OES (Lewa & Isnaeni, 2020). Dari hasil riset tersebut, terlihat penurunan waktu luruh elektron dari *quantum dots* karbon setelah adanya penambahan berbagai konsentrasi ion Fe^{3+} . Larutan *quantum dots* karbon

hanya memiliki waktu luruh elektron sekitar 2,05 ns. Dengan penambahan konsentrasi ion Fe^{3+} sebesar 0,23 mM, 0,38 mM, 0,76 mM, 2,3 mM, 3,8 mM, dan 7,7 mM; waktu luruh elektron pada *quantum dots* karbon berubah berturut-turut menjadi 2,03 ns, 2,02 ns, 2,01 ns, 1,95 ns, 1,84 ns, dan 1,78 ns. Hubungan antara konsentrasi ion Fe^{3+} dan pengukuran waktu luruh elektron pada *quantum dots* karbon dengan TRPL menunjukkan tren yang baik. Hasilnya membuktikan bahwa konsentrasi ion Fe^{3+} serendah 0,23 mM dapat dideteksi secara langsung dan mudah menggunakan teknik pengujian TRPL (Lewa & Isnaeni, 2020). Selain itu, dengan menggunakan teknik ini, *quantum dots* karbon tidak perlu mendapatkan perlakuan khusus sebelum digunakan sebagai sensor logam berat. Hal ini menjadi sangat menarik karena penggunaan *quantum dots* karbon pada sistem deteksi logam berat menjadi lebih murah dan cepat.

Penggunaan *quantum dots* karbon sebagai sensor logam berat juga telah diterapkan pada pendeteksian logam tembaga Cu^{2+} . Dalam riset tersebut, *quantum dots* karbon yang digunakan berasal dari bahan daun rambutan dan daun pandan (Kasmiarno et al., 2021). Teknik pengujian yang digunakan adalah fotoluminesensi. Pada pengujian tersebut, dibuktikan bahwa *quantum dots* karbon dapat mendeteksi ion tembaga (Cu^{2+}) dengan sensitivitas yang tinggi. Intensitas pendaran dari masing-masing sampel larutan *quantum dots* karbon menurun secara bertahap seiring dengan meningkatnya konsentrasi ion

Cu^{2+} yang ditambahkan. *Quantum dots* karbon dari setiap sampel memiliki atom karboksil dan karbonil pada permukaannya, mengakibatkan terjadinya pengikatan yang efisien dengan ion Cu^{2+} . Sensitivitas *quantum dots* karbon dapat diamati dari penurunan intensitas pendaran yang signifikan ketika *quantum dots* karbon merespons dan berinteraksi dengan ion logam Cu^{2+} . Riset ini membuktikan bahwa selain mudah untuk dibuat dari bahan alam, *quantum dots* karbon juga cocok digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi keberadaan logam tembaga (Kasmiarno et al., 2021).

Riset selanjutnya mengenai penggunaan *quantum dots* karbon dilakukan dengan membandingkan dua teknik sintesis, yaitu hidrotermal dan *microwave*, untuk membuat *quantum dots* karbon berbahan dasar kulit semangka dan kulit kacang tanah (Sawitri et al., 2019). Logam berat yang diuji dalam riset tersebut adalah ion logam besi Fe^{3+} dan ion logam timbal Pb^{2+} . Teknik pengujian yang digunakan adalah fotoluminesensi, spektrometer UV-Vis-NIR, dan TRPL. Riset tersebut menunjukkan bahwa *quantum dots* karbon yang berasal dari kulit kacang dengan teknik sintesis *microwave* mampu memberikan hasil pengujian yang konsisten dibandingkan *quantum dots* karbon lainnya. Adanya penambahan ion logam berat pada *quantum dots* karbon hingga konsentrasi 1 mM pun dapat dideteksi dengan baik (Sawitri et al., 2019).

Quantum dots karbon lain yang digunakan sebagai sensor logam berat berasal dari bahan bonggol jagung. Riset *quantum dots* karbon telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi *quantum dots* karbon dari bahan bonggol jagung yang disintesis dengan teknik *microwave* serta penerapannya sebagai sensor ion besi Fe^{3+} (Prasasti et al., 2022). *Quantum dots* karbon yang disintesis dengan massa awal berbeda-beda digunakan untuk mendeteksi ion logam Fe^{3+} dengan konsentrasi ion logam hingga 10^{-7} M. Teknik pengujian yang digunakan adalah teknik fotoluminesensi; penambahan konsentrasi ion logam berat sebesar 10^{-7} M dapat terdeteksi dengan baik. Hal ini ditandai dengan adanya penurunan intensitas pendaran *quantum dots* karbon saat ditambahkan Fe^{3+} dibandingkan saat tanpa adanya ion logam berat (Prasasti et al., 2022).

Pengembangan sensor logam berat dan bahan berbahaya lainnya pada lingkungan telah berhasil ditingkatkan dengan memadukan *quantum dots* karbon dengan teknik pengujian TRPL. Pengembangan ini mampu mendeteksi dengan lebih sensitif adanya logam berat daripada peralatan uji komersial seperti ICP-OES. Hasil pengembangan ini akan sangat bermanfaat bagi pemantauan polusi logam berat pada perairan sungai, danau, dan lautan. Walaupun demikian, pengembangan lebih lanjut tetap perlu dilakukan untuk meningkatkan peran *quantum dots* karbon dalam menjaga lingkungan dengan kemampuannya yang dapat mendeteksi logam berat.

Nilai ekonomis *quantum dots* karbon sangat tinggi dibandingkan *quantum dots* jenis lainnya. Nilai ekonomis ini didasarkan pada sumber bahan baku dan biaya sintesis. *Quantum dots* semikonduktor koloid dan *quantum dots* epitaksi, misalnya membutuhkan sumber bahan baku yang tidak murah (Isnaeni et al., 2011, 2013). Hingga saat ini belum ada kajian ekonomi yang merinci *quantum dots* karbon. Namun, berdasarkan pengalaman riset, dapat dipastikan bahwa biaya produksi material sensor *quantum dots* karbon hanya memerlukan kurang dari 10 % dari biaya pembuatan *quantum dots* lainnya (Isnaeni, Herbani et al., 2018; Kang et al., 2020). Nilai ekonomis *quantum dots* karbon pun akan makin besar jika produksinya dilakukan pada skala yang lebih besar.

IV. PEMANFAATAN *QUANTUM DOTS* DI INDONESIA

A. Pemanfaatan *Quantum Dots*

Saat ini, riset *quantum dots* di Indonesia makin banyak dilakukan oleh peneliti dan berpeluang untuk terus dikembangkan dan dimanfaatkan. Peluang riset dan pemanfaatan *quantum dots* tetap terbuka seiring dengan dukungan regulasi pemerintah dalam bidang riset dan inovasi. Riset *quantum dots* adalah salah satu topik riset pada bidang riset nanoteknologi dan material maju bidang riset tersebut telah masuk dalam dokumen Rencana Induk Riset Nasional tahun 2017–2045 sebagai salah satu bidang riset prioritas. Di bidang energi dan lingkungan, di mana *quantum dots* memiliki potensi pemanfaatan yang besar, hal ini masih menjadi program prioritas dalam dokumen Rencana Strategis (Renstra) Badan Riset dan Inovasi Nasional tahun 2022–2024. Regulasi ini tentunya membuka peluang lebih besar untuk pengembangan riset dan pemanfaatan *quantum dots* dalam bidang energi dan lingkungan.

Melimpahnya sumber daya alam di negara Indonesia menjadi peluang tersendiri bagi riset dan pemanfaatan *quantum dots*, khususnya *quantum dots* karbon. Berbagai jenis daun, bunga, buah, dan batang tanaman tidak saja mengandung unsur karbon,

tetapi juga unsur nitrogen dan sulfur yang dapat digunakan untuk pengembangan riset *quantum dots* karbon. Selain itu, ketersediaan limbah organik yang melimpah juga dapat menjadi peluang besar dalam pengembangan *quantum dots* karbon secara lebih lanjut.

Ketersediaan infrastruktur riset yang baik, seperti alat proses untuk material berukuran nano dan alat uji fisik serta optik menjadikan peluang pengembangan dan pemanfaatan *quantum dots* menjadi terbuka luas. Ketersediaan infrastruktur dapat diperoleh melalui kolaborasi, baik dengan instansi dalam negeri maupun luar negeri. Selain itu, riset *quantum dots* tidak hanya menarik minat periset muda saja, tetapi juga periset yang telah lama bergelut dalam bidang material maju, khususnya riset partikel berukuran nanometer. Hal ini akan membuka peluang yang lebih besar dalam pengembangan dan pemanfaatan riset *quantum dots*. Ke depan, diharapkan bahwa riset dan pengembangan *quantum dots* dapat dilanjutkan ke arah pemanfaatan *quantum dots*, yakni dengan menggandeng industri dalam negeri.

Untuk mempercepat pengembangan dan pemanfaatan *quantum dots* karbon, diperlukan strategi riset yang terkoordinasi. Riset *quantum dots* karbon telah banyak digeluti oleh periset Indonesia sehingga koordinasi antarperiset menjadi strategi pertama yang perlu dijalankan. Kerja sama riset dengan beberapa

pakar dalam bidang kimia, fisika, material, dan biomedis juga diperlukan untuk mewujudkan keberlanjutan pemanfaatan riset *quantum dots* karbon. Setelah itu, diharapkan riset *quantum dots* karbon dapat menjadi lebih terarah dan berkualitas.

Di Badan Riset dan Inovasi Nasional, beberapa periset dari berbagai pusat riset, seperti Pusat Riset Fotonika, Pusat Riset Material Maju, dan Pusat Riset Kimia telah mengembangkan *quantum dots* karbon. Saat ini, telah dilakukan kolaborasi riset yang intensif terkait *quantum dots* karbon antara BRIN dan berbagai universitas di Indonesia, seperti Universitas Indonesia, Universitas Negeri Yogyakarta, Institut Pertanian Bogor, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Institut Teknologi Bandung, Universitas Hasanuddin Makassar, UIN Alaudin Makassar, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta, dan Universitas Negeri Jakarta. Selain itu, kolaborasi riset juga menggandeng periset dari berbagai universitas luar negeri, seperti Korea Advanced Institute of Science and Technology di Korea Selatan, Universiti Teknologi Petronas di Malaysia, dan Nanyang Technology University di Singapura. Ke depan, kolaborasi riset ini dapat diperkuat dengan adanya konsorsium *quantum dots* di Indonesia.

Strategi riset lain yang dapat diaplikasikan adalah dengan intensifikasi riset dalam memetakan bahan baku sintesis sehingga didapatkan *quantum dots* karbon dengan kualitas tinggi. Strategi terakhir adalah mengarahkan riset pengembangan *quantum dots*

karbon ke arah prioritas riset nasional, seperti bidang energi, lingkungan, kesehatan, dan maritim. Dengan demikian, riset *quantum dots* karbon akan lebih memberikan dampak nyata pada isu nasional.

B. Rekomendasi Riset *Quantum Dots*

Dukungan dari pemerintah Indonesia dan berbagai pihak juga menjadi kunci sukses pengembangan riset *quantum dots* di Indonesia. Berdasarkan hal tersebut, terdapat dua rekomendasi yang dihadirkan untuk meningkatkan riset *quantum dots* di Indonesia.

Rekomendasi pertama adalah dibentuknya konsorsium riset *quantum dots*. Konsorsium riset *quantum dots* di Indonesia akan memberikan kontribusi yang signifikan dalam beberapa aspek, termasuk ilmu pengetahuan, teknologi, dan ekonomi. Selain penguatan pengembangan riset *quantum dots* di Indonesia, konsorsium diharapkan mampu menjembatani periset Indonesia dengan mitra industri sehingga mampu meningkatkan daya saing produk dalam negeri.

Rekomendasi kedua terkait peran pemerintah dalam memberikan dan memfasilitasi riset *quantum dots* pada khususnya dan riset nanoteknologi pada umumnya dalam rangka memberikan solusi aplikatif pada permasalahan nasional. Dukungan pemerintah yang diharapkan meliputi peningkatan

infrastruktur riset di bidang nanoteknologi melalui Badan Riset dan Inovasi Nasional. Selain itu, peran pemerintah sangat diharapkan dalam penyediaan iklim yang kondusif sehingga tercipta sinergi lembaga riset dengan industri di Indonesia dalam hal pemanfaatan *quantum dots* dan nanoteknologi. Hal ini dapat dilakukan dengan dibuatnya kebijakan-kebijakan yang berpihak pada pengembangan industri nasional.

V. KESIMPULAN

Quantum dots sebagai salah satu material berukuran nanometer memiliki banyak keunikan sifat optik dibandingkan material lainnya. Dengan keunikan sifatnya, *quantum dots* memiliki potensi pemanfaatan yang sangat besar untuk diaplikasikan di berbagai teknologi guna memecahkan masalah nasional, terutama masalah energi dan lingkungan.

Sejak ditemukan pada awal 1980, *quantum dots* sering disebut sebagai atom buatan. Riset *quantum dots* pada umumnya bertujuan untuk memperluas pemahaman manusia tentang *quantum dots*. Hal ini ditunjukkan dengan adanya kemajuan riset terbaru tentang *quantum dots* yang meliputi cara menyintesis partikel *quantum dots*, mempelajari sifat optik termasuk sifat optik nonlinear, dan memanfaatkan partikel *quantum dots* untuk berbagai aplikasi. Riset *quantum dots* yang awalnya sangat berpusat pada unsur semikonduktor golongan III-V pada tabel periodik kimia, kemudian mulai berkembang ke unsur lainnya termasuk golongan II-VI, logam tanah jarang hingga golongan IV, termasuk *quantum dots* karbon. *Quantum dots* karbon memiliki sifat optik yang baik sehingga memiliki potensi besar untuk digunakan di bidang energi sebagai bahan untuk sel surya dan LED.

Keberhasilan sintesis *quantum dots* karbon dari berbagai sumber limbah telah membuktikan bahwa quantum dots mampu menjadi solusi permasalahan lingkungan khususnya limbah lingkungan. Riset yang telah dilakukan menunjukkan bahwa quantum dots karbon dapat disintesis dari limbah, baik limbah organik maupun anorganik.

Capaian-capaian riset *quantum dots* pada pengembangan LED untuk memberikan solusi permasalahan efisiensi energi untuk lampu penerangan pun telah ditunjukkan. Penggunaan LED dan *quantum dots* karbon dapat menunjang isu energi, penggunaan LED dapat menghemat energi listrik yang dibutuhkan untuk penerangan. Salah satu keunggulan dari penggunaan *quantum dots* karbon adalah hal ini menjadi salah satu solusi untuk menghasilkan warna-warna LED biru hingga merah yang berbeda hanya dengan satu jenis *quantum dots* karbon.

Selain itu, riset *quantum dots* juga telah terbukti mampu memberikan solusi alternatif pada permasalahan lingkungan. *Quantum dots* karbon dapat digunakan sebagai sensor logam berat dan pengurai bahan berbahaya di lingkungan. *Quantum dots* karbon juga dapat digunakan sebagai alternatif solusi untuk mengatasi masalah limbah di Indonesia karena *quantum dots* karbon dapat dibuat dari berbagai limbah, baik limbah organik maupun anorganik.

VI. PENUTUP

Indonesia adalah negara dengan sumber daya alam yang sangat melimpah. Namun, kekayaan sumber daya alam tersebut belum dikelola dengan maksimal bagi kemajuan dan kemandirian bangsa. Pengembangan sains dan teknologi tentu saja menjadi jalan untuk pengembangan sumber daya alam tersebut.

Pemanfaatan *quantum dots* diharapkan dapat terus dilanjutkan oleh periset-periset Indonesia, terutama pengembangan *quantum dots* karbon yang berasal dari sumber daya alam Indonesia. Hal ini dikarenakan sumber daya alam Indonesia dapat menjadi modal yang sangat besar bagi perkembangan riset *quantum dots* di Indonesia yang nantinya tidak hanya bermanfaat bagi perkembangan sains saja, tetapi juga bagi masyarakat Indonesia. Riset yang komprehensif terhadap sifat *quantum dots* dalam skala nanometer juga perlu dilakukan dengan terus menggali potensi sifat optik dari *quantum dots*. Hasil capaian dalam bidang sains dasar *quantum dots* akan berkontribusi besar pada riset global sehingga periset-periset Indonesia akan makin dikenal dan diperhitungkan dalam kancah riset global.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama, saya ingin menyampaikan puji syukur kepada Allah Swt. yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya dan atas izin-Nya, saya dapat menyampaikan orasi ini.

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Presiden Republik Indonesia, Ir. H. Joko Widodo dan Kepala BRIN, Dr. Laksana Tri Handoko atas penetapan saya sebagai Peneliti Ahli Utama, juga kepada Wakil Kepala BRIN, Prof. Dr. Ir. Amarulla Octavian, ST., M.Sc., DESD., IPU., ASEAN.Eng. Ucapan terima kasih dan penghargaan juga saya sampaikan kepada Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset BRIN, Prof. Dr. Ir. Gadis Sri Haryani; Sekretaris Majelis Pengukuhan Profesor Riset BRIN, Prof. Dr. Ir. Wimpie Agoeng Noegroho Aspar, MSCE., Ph.D.; Tim Penelaah Naskah Orasi, Prof. Dr. Masno Ginting M.Sc., Prof. Dr. Rike Yudianti, dan Prof. Dr. Dahlang Tahir M.Si.; Kepala Organisasi Riset Nanoteknologi dan Material BRIN, Prof. Dr. Ratno Nuryadi, M.Eng; sehingga naskah orasi ini layak disampaikan pada sidang terbuka pengukuhan ini.

Terima kasih kepada anggota Kelompok Riset Laser Proses dan Spektroskopi, Dr. Maria Margaretha Suliyanti, Dr. Yuliati Herbani, Dr. Nurfini Yudasari, Dr. Kirana Yuniati Putri, Dr.

Iyon Titok Sugiarto, Nursidik Yulianto, Affi Nur Hidayah, Dr Muhandis Siddiq, dan Rahmat Setiawan Mohar. Tak lupa juga saya ucapkan terima kasih kepada seluruh staf dan peneliti di Pusat Riset Fotonika BRIN yang telah memberikan dukungan untuk mengembangkan penelitian selama ini. Terima kasih kepada teman-teman alumni Fisika IPB-33; rekan kerja di Australia dan Korea Selatan, terutama sahabat saya Prof. Dede Djuhana dan Prof. Dahlang Tahir; guru-guru dan teman-teman alumni SMAN 56 Jakarta, SMPN 201 Jakarta, dan SDN Kapuk 06 Pagi Jakarta yang telah memotivasi saya melakukan riset dan tetap menjalin silaturahmi hingga saat ini. Terima kasih saya ucapkan kepada kolega riset dari berbagai universitas di Indonesia yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu. Terima kasih juga saya sampaikan kepada kolega riset dari Himpunan Optika Indonesia atas dukungannya selama ini.

Tak lupa saya mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua yang telah mendidik saya selama ini, almarhumah Mamak Basyariah dan almarhum Ayah Usman Affandy, juga kepada Bapak Mertua saya almarhum H. Agung Sugiono dan Ibu Mertua saya Hj. Mursiah; kepada kakak, abang dan adik saya H. Azhar Haq, Jami'ah, Henry Kurniawan, Nuraida, Indra Kesuma, Henik, Irwan Syah Putra, Lilik Ceria, Setyo Lesmono Aji, Hidayati, dan Satria Wicaksana. Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada para keponakan saya Fuad Kautsar, Digitha Oktaviani Putri, Ahsani Taqwiem, Kartika Rose Rachmadini, Sari Indah Permata

Kurniawan, Sastha Aulia Mufidah, Widiar Syah Putra, dan Sarhan Syah Putra. Terima kasih juga kepada keluarga besar Medan, Lombok, Jakarta, Karanganyar, dan keluarga besar Wagiman di Bekasi. Terima kasih kepada para pembimbing saya, alm. Dr. Kiagus Dahlan, Prof. Norman Heckenberg, dan Prof. Cho Yong-Hoon. Ucapan terima kasih khusus saya sampaikan kepada istri saya, Femi Wulandari dan putri saya, Ayumi Azkadina Lashira Shanum yang telah mendukung saya selama ini.

Terakhir, terima kasih saya sampaikan kepada panitia penyelenggara Orasi Pengukuhan Profesor Riset dan seluruh undangan sehingga acara ini dapat terselenggara dengan baik, lancar, dan penuh hikmat. Dengan mengucapkan alhamdulillah, saya akhiri orasi ilmiah ini. Terima kasih atas perhatian hadirin semua. Mohon maaf atas kekurangan dan kekhilafan dalam penyampaian orasi ilmiah ini.

Wa billaahittaufiq wal hidaayah.

Wassalaamualaikum wa rahmatullaahi wa barakaatuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Aryanto, D., Hastuti, E., Taspika, M., Anam, K., **Isnaeni**, I., Widayatno, W. B., Wismogroho, A. S., Marwoto, P., Nuryadin, B. W., Noviyanto, A., & Sugianto, S. (2020). Characteristics and photocatalytic activity of highly c-axis-oriented ZnO thin films. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 96(1), 226–235. <https://doi.org/10.1007/s10971-020-05361-5>
- Bilqis, R., Suseno, J. E., & **Isnaeni**. (2015). Pemindaian dan pengolahan label keamanan pada dokumen rahasia dengan titik kuantum. *Youngster Physics Journal*, 4(4), 265–272. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/bfd/article/view/9403>
- Cassidy, J., & Zamkov, M. (2020). Nanoshell quantum dots: Quantum confinement beyond the exciton Bohr radius. *The Journal of Chemical Physics*, 152(11), 110902. <https://doi.org/10.1063/1.5126423>
- Chen, S., Cao, W., Liu, T., Tsang, S.-W., Yang, Y., Yan, X., & Qian, L. (2019). On the degradation mechanisms of quantum-dot light-emitting diodes. *Nature Communications*, 10(1), 765. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08749-2>
- Dwandaru, W. S. B., Bilqis, S. M., Wisnuwijaya, R. I., & **Isnaeni**. (2019). Optical properties comparison of carbon nanodots synthesized from commercial granulated sugar using hydrothermal method and microwave. *Materials Research Express*, 6(10), 105041. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab3952>
- Dwandaru, W. S. B., Fadli, A. L., Sari, E. K., & **Isnaeni**. (2020). Cdots and Cdots/S syntesis from Nam-nam fruit (*Clynometra cauliflora* L.) via frying method using cooking oil. *Digest Journal*

of Nanomaterials and Biostructures, 15(2), 555–560. <https://doi.org/10.15251/DJNB.2020.152.555>

Efros, A. L., & Brus, L. E. (2021). Nanocrystal quantum dots: From discovery to modern development. *ACS Nano*, 15(4), 6192–6210. <https://doi.org/10.1021/acsnano.1c01399>

Fatimah, S., Bilqis, S. M., **Isnaeni**, I., & Tahir, D. (2019). Luminescence properties of carbon dots synthesis from sugar for enhancing glows in paints. *Materials Research Express*, 6(9), 095006. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab2bb7>

Fatimah, S., **Isnaeni**, I., & Tahir, D. (2018). Sintesis dan karakterisasi fotoluminisens carbon dots berbahan dasar organik dan limbah organik. *POSITRON*, 7(2), 37. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab2bb7>

Gao, N., Huang, L., Li, T., Song, J., Hu, H., Liu, Y., & Ramakrishna, S. (2020). Application of carbon dots in dye-sensitized solar cells: A review. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(10), 48443. <https://doi.org/10.1002/app.48443>

Ghifari, A. D. A., Putra, W. P., & **Isnaeni**, I. (2017). Analisis fotoluminesensi karbon dots dari daun teh dan daun pepaya dengan teknik microwave. *Prosiding Seminar Nasional Fisika SNF2017*, SNF2017-MPS-19-SNF2017-MPS-26. <https://doi.org/10.21009/03.SNF2017.02.MPS.04>

Gunawan, R., Sugiarti, E., **Isnaeni**, I., Purawiardi, R. I., Widodo, H., Muslimin, A. N., Yuliasari, Ronaldus, C. E., Prastomo, N., & Hastuty, S. (2018a). Effect of high current density to defect generation of blue LED and its characterization with transmission electron microscope. *Journal of Physics: Conference Series*, 985, 012023. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/985/1/012023>

Gunawan, R., Sugiarti, E., **Isnaeni**, Purawiardi, R. I., Widodo, H., Muslimin, A. N., Yuliasari, Ronaldus, C. E., Prastomo,

- N., & Hastuty, S. (2018b). Focused ion beam and advanced electron microscopy for nano defect failure analysis of LED. *AIP Conference Proceedings*, 2045(1), 020030. <https://doi.org/10.1063/1.5080843>
- Guo, L., Zhang, X., Lin, M., Zhang, Y., Xu, S., Yu, T., Cao, Y., Cheng, L., & Chen, B. (2021). Wide gamut white LED device using green CsPbBr₃ quantum dots glass and red K₂SiF₆: Mn⁴⁺ phosphor. *Optik*, 248, 168156. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2021.168156>
- Hepriyadi, S. U., & **Isnaeni**, I., (2018). Synthesis and optical characterization of carbon dot from peels of dragon fruit and pear. *Omega: Jurnal Fisika Dan Pendidikan Fisika*, 4(1), 19. <https://sites.google.com/uhamka.ac.id/omega-archive/vol-4#h.2wkt4e2ddkvz>
- Isnaeni**, I., & Cho, Y.-H. (2010). The fabrication and characterization of quantum dots-conjugated opal photonic crystals structure. *Nanotechnology*, 21(22), 225201. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/21/22/225201>
- Isnaeni**, I., & Cho, Y.-H. (2016). Simulation and experimental study of a 2D photonic crystal structure that reflects a quantum dots emission in the normal direction. *Makara Journal of Science*, 20(3), 101–108. <https://doi.org/10.7454/mss.v20i3.6240>
- Isnaeni**, I., Hanna, M. Y., Pambudi, A. A., & Murdaka, F. H. (2017). Influence of ablation wavelength and time on optical properties of laser ablated carbon dots. *AIP Conference Proceedings*, 1801(1), 020001. <https://doi.org/10.1063/1.4973079>
- Isnaeni**, I., Herbani, Y., Hidayah, A. N., Yulianto, N., Putri, K. Y., & Suliyanti, M. M. (2015). Fabrication of 1D photonic crystal by sol-gel method for tuning the emission of CdSe colloidal quantum dot. *Proc. SPIE 9444, International Seminar on Photonics*,

Optics, and Its Applications (ISPhOA 2014), 94440S. <https://doi.org/10.1117/12.2075151>

- Isnaeni, I.,** Herbani, Y., & Suliyanti, M. M. (2018). Concentration effect on optical properties of carbon dots at room temperature. *Journal of Luminescence, 198*, 215–219. <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2018.02.012>
- Isnaeni, I.,** Jin, L.-H., & Cho, Y.-H. (2013). Silica encapsulation of toluene soluble quantum dots with high photostability. *Journal of Colloid and Interface Science, 395*, 45–49. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2013.01.008>
- Isnaeni, I.,** Kim, K. H., Nguyen, D. L., Lim, H., Nga, P. T., & Cho, Y.-H. (2011). Shell layer dependence of photoblinking in CdSe/ZnSe/ZnS quantum dots. *Applied Physics Letters, 98*(1), 012109. <https://doi.org/10.1063/1.3533401>
- Isnaeni, I.,** Sujana, G. A. P. P., Lewa, I. W. L., & Sumadiyasa, I. M. (2021). Modifying surface energy level of citric acid-based carbon dots with polyethylene. *SPIE Digital Library. 11789, 117890A.* <https://doi.org/10.1117/12.2585439>
- Isnaeni, I.,** Rahmawati, I., Intan, R., & Zakaria, M. (2018). Photoluminescence study of carbon dots from ginger and galangal herbs using microwave technique. *Journal of Physics: Conference Series, 985*(1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/985/1/012004>
- Isnaeni, I.,** Sugiarto, I. T., Bilqis, R., & Suseno, J. E. (2016). Detection of CdSe quantum dot photoluminescence for security label on paper. *AIP Conference Proceedings, 1710*(1), 030038. <https://doi.org/10.1063/1.4941504>
- Isnaeni, I.,** Sugiarto, I. T., & Tresna, W. P. (2022). Two-photon emission of fluorescent carbon quantum dots made of urea and

trisodium citrate. *AIP Conference Proceedings*, 2652(1), 020002. <https://doi.org/10.1063/5.0106280>

- Isnaeni, I., Sugiarto, I. T., Yudasari, N., & Mohar, R. S. (2023).** Carbon dots for improving water and oil absorption of sponges. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1201(1), 012082. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1201/1/012082>
- Isnaeni, I., Suliyanti, M. M., Shiddiq, M., & Sambudi, N. S. (2019).** Optical properties of toluene-soluble carbon dots prepared from laser-ablated coconut fiber. *Makara Journal of Science*, 187–192. <https://doi.org/10.7454/mss.v23i4.10639>
- Isnaeni, I., & Yulianto, N. (2015).** Pengaruh nanopartikel emas terhadap peningkatan emisi cahaya kuantum dot. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 16(3).
- Isnaeni, I., Yulianto, N., & Suliyanti, M. M. (2016).** Photoluminescence of patterned CdSe quantum dot for anti-counterfeiting label on paper. *AIP Conference Proceedings*, 1719(1), 030050. <https://doi.org/10.1063/1.4943745>
- Isnaeni, I., Zufara, B. S., Lewa, I. W. L., Herbani, Y., & Shiddiq, M. (2020).** Role of surface states on luminescence shift of caramelised sugar carbon dots for color conversion emitting devices. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 11(1), 015003. <https://doi.org/10.1088/2043-6254/ab628e>
- Ji, C., Xu, W., Han, Q., Zhao, T., Deng, J., & Peng, Z. (2023).** Light of carbon: Recent advancements of carbon dots for LEDs. *Nano Energy*, 114, 108623. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2023.108623>
- Ji, Z., Dervishi, E., Doorn, S. K., & Sykora, M. (2019).** Size-dependent electronic properties of uniform ensembles of strongly confined graphene quantum dots. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 10(5), 953–959. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcclett.9b00119>

- Jumardin, J., Maddu, A., Santoso, K., & **Isnaeni**, I. (2023). Synthesis of fluorescent carbon dots (CDs) using laser ablation method for bioimaging application. *Jurnal Ilmu Fisika*, 15(2), 91–105. <https://doi.org/10.25077/jif.15.2.91-105.2023>
- Kang, C., Huang, Y., Yang, H., Yan, X. F., & Chen, Z. P. (2020). A review of carbon dots produced from biomass wastes. *Wastes. Nanomaterials*, 10(11), 2316. <https://doi.org/10.3390/nano10112316>
- Kasmiarno, L. D., Fikarda, A., Gunawan, R. K., Sambudi, S., & **Isnaeni**, I. (2021). Carbon quantum dots (CQDs) from rambutan and pandan leaves for Cu²⁺ detection. *Waste Technology*, 9.
- Kim, K., Han, C. J., Park, Y. C., **Isnaeni**, I., Cho, Y.-H., & Jeong, S. (2013). Graded synthetic approach for the fabrication of nanocrystal quantum dots for enhanced carrier injection in light-emitting diodes. *Nanotechnology*, 24(50), 505601. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/24/50/505601>
- Ko, S.-M., Hur, J., Lee, C., **Isnaeni**, I., Gong, S.-H., Kim, M., & Cho, Y.-H. (2020). Hexagonal GaN nanorod-based photonic crystal slab as simultaneous yellow broadband reflector and blue emitter for phosphor-conversion white light emitting devices. *Scientific Reports*, 10(1), 358. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55684-9>
- Koguchi, N., Ishige, K., & Takahashi, S. (1993). New selective molecular-beam epitaxial growth method for direct formation of GaAs quantum dots. *Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures Processing, Measurement, and Phenomena*, 11(3), 787–790. <https://doi.org/10.1116/1.586789>
- Kresnadi, F. T. (2020). Evaluasi penggunaan listrik dengan metode konservasi energi untuk efisiensi energi di Gedung FKIP UNTIRTA. *Energi & Kelistrikan*, 12(1), 11–21. <https://doi.org/10.33322/energi.v12i1.949>

- Lee, K.-S., **Isnaeni**, I., Yoo, Y.-S., Lee, J.-H., Kim, Y.-C., & Cho, Y.-H. (2013). Influence of defect reduction and strain relaxation on carrier dynamics in InGaN-based light-emitting diodes on cone-shaped patterned sapphire substrates. *Journal of Applied Physics*, *113*(17), 173512. <https://doi.org/10.1063/1.4803515>
- Lewa, I. W. L., & **Isnaeni**, I. (2020). Enhancing sensitivity of carbon dots as Fe ion sensor using time-resolved photoluminescence technique. *Journal of Nanoparticle Research*, *22*(9), 252. <https://doi.org/10.1007/s11051-020-04988-3>
- Liu, M. (2020). Optical properties of carbon dots: A review. *Nanoarchitectonics*, *1*(1), 1–12. <https://doi.org/10.37256/nat.112020124.1-12>
- Mao, L., Yang, T., Zhang, H., Shi, J., Hu, Y., Zeng, P., Li, F., Gong, J., Fang, X., Sun, Y., Liu, X., Du, J., Han, A., Zhang, L., Liu, W., Meng, F., Cui, X., Liu, Z., & Liu, M. (2022). Fully textured, production-line compatible monolithic perovskite/silicon tandem solar cells approaching 29% efficiency. *Advanced Materials*, *34*(40), 2206193. <https://doi.org/10.1002/adma.202206193>
- Nakazawa, N., Zhang, Y., Liu, F., Ding, C., Hori, K., Toyoda, T., Yao, Y., Zhou, Y., Hayase, S., Wang, R., Zou, Z., & Shen, Q. (2019). The interparticle distance limit for multiple exciton dissociation in PbS quantum dot solid films. *Nanoscale Horizons*, *4*(2), 445–451. <https://doi.org/10.1039/C8NH00341F>
- Nozik, A. J. (2002). Quantum dot solar cells. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, *14*(1), 115–120. [https://doi.org/10.1016/S1386-9477\(02\)00374-0](https://doi.org/10.1016/S1386-9477(02)00374-0)
- Park, H. C., **Isnaeni**, I., Gong, S., & Cho, Y.-H. (2017). How effective is plasmonic enhancement of colloidal quantum dots for color-conversion light-emitting devices? *Small*, *13*(48), 1701805. <https://doi.org/10.1002/sml.201701805>

- Pattersons, M. L., & **Isnaeni**, I. (2018). Analysis of the influence of gold nanoparticle addition to photoluminescence emission intensity and decay time of 618 cdse quantum dots. *Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 3(1), 23–30. <https://doi.org/https://doi.org/10.21009/SPEKTRA.031.04>
- Pattison, P. M., Hansen, M., & Tsao, J. Y. (2018). LED lighting efficacy: Status and directions. *Comptes Rendus Physique*, 19(3), 134–145. <https://doi.org/10.1016/j.crhy.2017.10.013>
- Prasasti, R. I., Jannah, R., Wati, A. N. B., Kusumandari, K., & **Isnaeni**, I. (2022). Synthesis of carbon dots based on corn cobs as heavy metal ion sensors using the microwave method. *Journal of Physics: Theories and Applications*, 6(2), 97. <https://doi.org/10.20961/jphystheor-appl.v6i2.59347>
- Primadona, I., Hardian, A., Indriyati, **Isnaeni**, I., Dara, F., Endah, E. S., & Nasir, M. (2021). Green synthesis of silver@carbon dots nanocomposites for enhancing the antimicrobial activity. *AIP Conference Proceedings*, 2382(1), 040002. <https://doi.org/10.1063/5.0059997>
- Pu, Y., Cai, F., Wang, D., Wang, J.-X., & Chen, J.-F. (2018). Colloidal synthesis of semiconductor quantum dots toward large-scale production: A review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 57(6), 1790–1802. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.7b04836>
- Putro, P. A., Hardhienata, H., **Isnaeni**, I., Ahmad, F., Khaerudini, D. S., Prasetyo, A. P., & Maddu, A. (2022). A bibliometric analysis of carbon dots in sensors application. *Jurnal Penelitian Fisika Dan Aplikasinya (JPFA)*, 12(2), 138–155. <https://doi.org/10.26740/jpfa.v12n2.p138-155>

- Putro, P. A., Roza, L., & **Isnaeni**, I. (2018a). Karakterisasi sifat fotoluminisensi C-dots dari kulit ari singkong menggunakan teknik microwave. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (SNF)*, 2.
- Putro, P. A., Roza, L., & **Isnaeni**, I. (2018b). Precursor concentration effect on optical properties of carbon dots from cassava's peels. *Journal of Physics: Theories and Applications*, 2(2), 43. <https://doi.org/10.20961/jphystheor-appl.v2i2.30664>
- Putro, P. A., Roza, L., & **Isnaeni**, I. (2019a). Photoluminescence properties of poly (ethylene glycol) passivated carbon dots from cassava peels. *Indonesian Journal of Science and Education*, 3(2), 76. <https://doi.org/10.31002/ijose.v3i2.1209>
- Putro, P. A., Roza, L., & **Isnaeni**, I. (2019b). The effect of poly (ethylene glycol) on the photoluminescence properties of carbon dots from cassava peels synthesized by hydrothermal methods. *Spektra: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 4(1), 11–20. <https://doi.org/10.21009/SPEKTRA.041.02>
- Qurrata, A., Tahir, D., Ramlan, N. M., & **Isnaeni**, I., (2018). Perbandingan sifat optik Karbon Dots (C-Dots) dari daun mangga kering dan segar. *Seminar Nasional Quantum #25*, 2477–1511.
- Roza, L., Fauzia, V., Rahman, M. Y. A., **Isnaeni**, I., & Putro, P. A. (2020). ZnO nanorods decorated with carbon nanodots and its metal doping as efficient photocatalyst for degradation of methyl blue solution. *Optical Materials*, 109, 110360. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2020.110360>
- Sakti, R. P., Sulaeman, U., & Gafur, A. (2021). Peran mallsampah dalam efektivitas pengelolaan sampah (studi kasus di PT. Mallsampah Indoneisa). *Window of Public Health Journal*, 2(4), 621–635. <https://doi.org/10.33096/woph.v2i4.217>

- Sawitri, D., Nurfathiya, N., **Isnaeni**, I., & 'Adziimaa, A. F. (2019). Synthesis of carbon dots from organic waste as heavy metal ions detector sensor. *SPIE Digital Library*. 11044, 110440S. <https://doi.org/10.1117/12.2504482>
- Sinaga, D. H., Sasue, R. R. O., & Harvei Desmon Hutahaean, H. D. (2021). Pemanfaatan energi terbarukan dengan menerapkan smart grid sebagai jaringan listrik masa depan. *Journal Zetroem*, 3(1), 11–17. <https://doi.org/10.36526/ztr.v3i1.1251>
- Sugiester S, F., Firmansyah, Y. W., Widiyantoro, W., Fuadi, M. F., Afrina, Y., & Hardiyanto, A. (2021). Dampak pencemaran sungai di Indonesia terhadap gangguan kesehatan: Literature review. *Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung*, 13(1), 120–133. <https://doi.org/10.34011/juriskesbdg.v13i1.1829>
- Sujana, G. A. P. P., Sumadiyasa, M., & **Isnaeni**, I. (2020). Sintesis carbon dot dengan bahan dasar asam sitrat menggunakan metode pemanasan secara berulang di dalam oven microwave. *Buletin Fisika*, 22(1), 29. <https://doi.org/10.24843/BF.2021.v22.i01.p05>
- Wang, H.-C., Bao, Z., Tsai, H.-Y., Tang, A.-C., & Liu, R.-S. (2018). Perovskite quantum dots and their application in light-emitting diodes. *Small*, 14(1), 1702433. <https://doi.org/10.1002/sml.201702433>
- Wang, X., Feng, Y., Dong, P., & Huang, J. (2019). A mini review on carbon quantum dots: preparation, properties, and electrocatalytic application. *Frontiers in Chemistry*, 7, 671. <https://doi.org/10.3389/fchem.2019.00671>
- Wen, X., Yu, P., Toh, Y.-R., Ma, X., & Tang, J. (2014). On the upconversion fluorescence in carbon nanodots and graphene quantum dots. *Chemical Communications*, 50(36), 4703–4706. <https://doi.org/10.1039/C4CC01213E>

- Xia, S., Aoki, T., Gao, K., Arita, M., Arakawa, Y., & Holmes, M. J. (2021). Enhanced single-photon emission from GaN quantum dots in bullseye structures. *ACS Photonics*, 8(6), 1656–1661. <https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.1c00032>
- Zhang, X., Zhang, Y., Wang, Y., Kalytchuk, S., Kershaw, S. V., Wang, Y., Wang, P., Zhang, T., Zhao, Y., Zhang, H., Cui, T., Wang, Y., Zhao, J., Yu, W. W., & Rogach, A. L. (2013). Color-switchable electroluminescence of carbon dot light-emitting diodes. *ACS Nano*, 7(12), 11234–11241. <https://doi.org/10.1021/nn405017q>
- Zhang, Y., Liu, Y., Li, C., Chen, X., & Wang, Q. (2014). Controlled synthesis of Ag₂S quantum dots and experimental determination of the exciton Bohr Radius. *The Journal of Physical Chemistry C*, 118(9), 4918–4923. <https://doi.org/10.1021/jp501266d>
- Zufara, B. S., **Isnaeni**, I. Hakimi, A. R., Mulyawan, R. G., & Lewa, I. W. L. (2020). Color conversion of caramelized sugar carbon dots using blue and green light emitting diodes. *AIP Conference Proceedings*, 2256(1), 020002. <https://doi.org/10.1063/5.0022417>

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

Jurnal Internasional

1. Yudasari, N., **Isnaeni, I.**, et al. (2022). Laser-assisted deposition of Ag on self-sourced growth ZnO nanorods as reusable photocatalysts for water purification. *Inorganic Chemistry Communications*, 146, 110065. doi: 10.1016/j.inoche.2022.110065.
2. Sulaeman, U., **Isnaeni, I.**, et al. (2022). Surface modification of Ag₃PO₄ using the alginate for highly active photocatalyst under visible light irradiation. *Surfaces and Interfaces*, 28, 101672. doi: 10.1016/j.surfin.2021.101672.
3. Hidayah, A.N., **Isnaeni, I.**, et al. (2022). Tuning the electrical properties of colloidal nanoalloys by varying their composition. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 641, 128496. doi: 10.1016/j.colsurfa.2022.128496.
4. Asri, N. S., **Isnaeni, I.**, et al. (2022). Novel CaCO₃-Based Material Formulation for Orange-Colored Spectrum Tracer Projectile. *Trends Sci*, 19(22), 140. doi: 10.48048/tis.2022.140.
5. Putro, P. A., Yudasari, N., **Isnaeni, I.**, & Maddu, A. (2021). Spectroscopy Study of Polyvinyl Alcohol/Carbon Dots Composite Films. *Walailak J Sci & Tech*, 18(7).
6. Yudasari, N., **Isnaeni, I.**, et al. (2022). Laser-assisted deposition of Ag on self-sourced growth ZnO nanorods as reusable photocatalysts for water purification. *Inorganic Chemistry Communications*, 146, 110065. doi: 10.1016/j.inoche.2022.110065.

7. Sulaeman, U., **Isnaeni**, I., et al. (2022). Surface modification of Ag₃PO₄ using the alginate for highly active photocatalyst under visible light irradiation. *Surfaces and Interfaces*, 28, 101672. doi: 10.1016/j.surfin.2021.101672.
8. Hidayah, A.N., **Isnaeni**, I., et al. (2022). Tuning the electrical properties of colloidal nanoalloys by varying their composition. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 641, 128496. doi: 10.1016/j.colsurfa.2022.128496.
9. Asri, N. S., **Isnaeni**, I., et al. (2022). Novel CaCO₃-Based Material Formulation for Orange-Colored Spectrum Tracer Projectile. *Trends Sci*, 19(22), 140. doi: 10.48048/tis.2022.140.
10. Putro, P. A., Yudasari, N., **Isnaeni**, I., & Maddu, A. (2021). Spectroscopy Study of Polyvinyl Alcohol/Carbon Dots Composite Films. *Walailak J Sci & Tech*, 18(7).
11. Hardiansyah, A., Budiman, W. J., Yudasari, N., **Isnaeni**, I., Kida, T., & Wibowo, A. (2021). Facile and Green Fabrication of Microwave-Assisted Reduced Graphene Oxide/Titanium Dioxide Nanocomposites as Photocatalysts for Rhodamine 6G Degradation. *ACS Omega*, 6(47), 32166–32177. doi: 10.1021/acsomega.1c04966.
12. Tresna, W. P., Ahmad, U. A., **Isnaeni**, I., Septiawan, R. R., Sugiarto, I. T., & Suherman, A. L. (2021). Encoding LED for Unique Markers on Object Recognition System. *IJACSA*, 12(12). doi: 10.14569/IJACSA.2021.0121284.
13. Putra, A.M.J., **Isnaeni**, I., et al. (2020). Andrographolide undergoes modification after illumination by blue laser in the presence of sodium bicarbonate. *IJCB*, 59(9). doi: 10.56042/ijcb.v59i9.28754.
14. Wongso, V., Sambudi, N. S., Sufian, S., & **Isnaeni**, I. (2021). The effect of hydrothermal conditions on photoluminescence

- properties of rice husk-derived silica-carbon quantum dots for methylene blue degradation. *Biomass Conv. Bioref.*, 11(6), 2641–2654. doi: 10.1007/s13399-020-00662-9.
15. Roza, L., Fauzia, V., Rahman, M. Y. A., **Isnaeni, I.**, & Putro, P. A. (2020). ZnO nanorods decorated with carbon nanodots and its metal doping as efficient photocatalyst for degradation of methyl blue solution. *Optical Materials*, 109, 110360. doi: 10.1016/j.optmat.2020.110360.
 16. Lewa, W. L., & **Isnaeni, I.** (2020). Enhancing sensitivity of carbon dots as Fe ion sensor using time-resolved photoluminescence technique. *Journal of Nanoparticle Research*, 22(9), 252. doi: 10.1007/s11051-020-04988-3.
 17. Ko, S-M., **Isnaeni, I.**, et al. (2020). Hexagonal GaN nanorod-based photonic crystal slab as simultaneous yellow broadband reflector and blue emitter for phosphor-conversion white light emitting devices. *Scientific Reports*, 10(1), 358. doi: 10.1038/s41598-019-55684-9.
 18. Dwandaru, W. S. B., Fadli, A. L., Sari, E. K., & **Isnaeni, I.** (2020). Cdots and Cdots/S Synthesis from Nam-Nam Fruit (*Clynometra Cauliflora* L.) via Frying Method Using Cooking Oil. *DJNB*, 15(2), 555–560. doi: 10.15251/DJNB.2020.152.555.
 19. Aryanto, D., **Isnaeni, I.**, et al. (2020). Characteristics and photocatalytic activity of highly c-axis-oriented ZnO thin films. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 96(1), 226–235. doi: 10.1007/s10971-020-05361-5.
 20. **Isnaeni, I.**, Zufara, B. S., Lewa, I. W. L., Herbani, Y., & Shiddiq, M. (2020). Role of surface states on luminescence shift of caramelised sugar carbon dots for color conversion emitting devices. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 11(1), 015003. doi: 10.1088/2043-6254/ab628e.

21. Fahmi, M. Z., Wibowo, D. L. N., Sakti, S. C. W., Lee, H. V., & **Isnaeni, I.** (2020). Human serum albumin capsulated hydrophobic carbon nanodots as staining agent on HeLa tumor cell. *Materials Chemistry and Physics*, 239, 122266. doi: 10.1016/j.matchemphys.2019.122266.
22. Suliyanti, M. M., **Isnaeni, I.**, et al. (2020). Comparison of excitation mechanisms and the corresponding emission spectra in femto second and nano second laser-induced breakdown spectroscopy in reduced ambient air and their performances in surface analysis. *Journal of Laser Applications*, 32(1), 012014. doi: 10.2351/1.5119182.
23. Saraswati, T. E., Setiawan, U. H., Ihsan, M. R., **Isnaeni, I.**, & Herbani, Y. (2019). The Study of the Optical Properties of C60 Fullerene in Different Organic Solvents. *Open Chemistry*, 17(1), 1198–1212. doi: 10.1515/chem-2019-0117.
24. Iwan, S., **Isnaeni, I.**, et al. (2019). Morphological, structural, and optical properties of co-doped ZnO NPs prepared by precipitation method. *Journal of Ceramic Processing Research*, 20(5), 518–521.
25. Chung, H. K., Wongso, V., Sambudi, N. S., & **Isnaeni, I.** (2020). Biowaste-derived carbon dots/hydroxyapatite nanocomposite as drug delivery vehicle for acetaminophen. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 93(1), 214–223. doi: 10.1007/s10971-019-05141-w.
26. Fatimah, S., Bilqis, S. M., **Isnaeni, I.**, & Tahir, D. (2019). Luminescence properties of carbon dots synthesis from sugar for enhancing glows in paints. *Materials Research Express*, 6(9), 095006. doi: 10.1088/2053-1591/ab2bb7.
27. Dwandaru, W. S. B., Bilqis, S. M., Wisnuwijaya, R. I., & **Isnaeni, I.** (2019). Optical properties comparison of carbon

- nanodots synthesized from commercial granulated sugar using hydrothermal method and microwave. *Materials Research Express*, 6(10), 105041. doi: 10.1088/2053-1591/ab3952.
28. Jusuf, N., Sambudi, N. S., **Isnaeni**, I., & Samsuri, S. (2018). Microwave-assisted synthesis of carbon dots from eggshell membrane ashes by using sodium hydroxide and their usage for degradation of methylene blue. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(6), 7426–7433. doi: 10.1016/j.jece.2018.10.032.
 29. **Isnaeni**, I., Herbani, Y., & Suliyanti, M. M. (2018). Concentration effect on optical properties of carbon dots at room temperature. *Journal of Luminescence*, 198, 215–219. doi: 10.1016/j.jlumin.2018.02.012.
 30. Saraswati, T. E., Putra, Y. P., Ihsan, M. R., **Isnaeni**, I., & Herbani, Y. (2018). Surface-enhanced Raman Scattering (SERS) Substrate of Colloidal Ag Nanoparticles Prepared by Laser Ablation for Ascorbic Acid Detection. *Molekul*, 13(1), 48. doi: 10.20884/1.jm.2018.13.1.409.
 31. Park, H. C., **Isnaeni**, I., Gong, S., & Cho, Y.-H. (2017). How Effective is Plasmonic Enhancement of Colloidal Quantum Dots for Color-Conversion Light-Emitting Devices? *Small*, 13(48), 1701805. doi: 10.1002/sml.201701805.
 32. **Isnaeni**, I., & Sugiarto, I. T. (2017). Quantitative Analysis of Color Combination from LED and Laser Light Sources Using Modified CIE 1931 Color Space Coordinates. *J. Math. Fund. Sci.*, 49(1), 57–65. doi: 10.5614/j.math.fund.sci.2017.49.1.6.
 33. Birowosuto, M. D., **Isnaeni**, I., de Mello Donegá, C., & Meijerink, A. (2015). Controlled emission and coupling of small-size YAG:Ce³⁺ nanocrystals to gold nanowire. *Journal of Applied Physics*, 118(12), 123105. doi: 10.1063/1.4931578.

34. Rahmat, M., **Isnaeni**, I., et al. (2014). Development of a novel ozone gas sensor based on sol-gel fabricated photonic crystal. *Sensors and Actuators A: Physical*, 220, 53–61. doi: 10.1016/j.sna.2014.09.020.
35. **Isnaeni**, I., Kim, K. H., Nguyen, D. L., Lim, H., Nga, P. T., & Cho, Y.-H. (2011). Shell layer dependence of photoblinking in CdSe/ZnSe/ZnS quantum dots. *Appl. Phys. Lett.*, 98(1), 012109. doi: 10.1063/1.3533401.
36. Lee, K.-S., **Isnaeni**, I., Yoo, Y.-S., Lee, J.-H., Kim, Y.-C., & Cho, Y.-H. (2013). Influence of defect reduction and strain relaxation on carrier dynamics in InGaN-based light-emitting diodes on cone-shaped patterned sapphire substrates. *Journal of Applied Physics*, 113(17), 173512. doi: 10.1063/1.4803515.
37. Kim, C. J., Han, Y. C., Park, **Isnaeni**, I., Cho, Y.-H., & Jeong, S. (2013). Graded synthetic approach for the fabrication of nanocrystal quantum dots for enhanced carrier injection in light-emitting diodes. *Nanotechnology*, 24(50), 505601. doi: 10.1088/0957-4484/24/50/505601.
38. **Isnaeni**, I. & Cho, Y.-H. (2010). The fabrication and characterization of quantum dots-conjugated opal photonic crystals structure. *Nanotechnology*, 21(22), 225201. doi: 10.1088/0957-4484/21/22/225201.

Jurnal Nasional

39. Prasasti, R. I., Jannah, R., Wati, A. N. B., Kusumandari, K., & **Isnaeni**, I. (2022). Synthesis of carbon dots based on corn cobs as heavy metal ion sensors using the microwave method. *Journal of Physics: Theoretical and Applied*, 6(2), 97. doi: 10.20961/jphys theor-appl.v6i2.59347.

40. Jumardin, Maddu, A., Santoso, K., & **Isnaeni**, I. (2022). Karakterisasi Sifat Optik Nanopartikel Karbon (Carbon Dots) Dengan Metode UV-Vis DRS (Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy). *Jurnal Fisika Terapan*, 9(1), 1–15. doi: 10.24252/jft.v9i1.28815.
41. Putro, P. A., **Isnaeni**, I., et al. (2022). A bibliometric analysis of carbon dots in sensors application. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*, 12(2), 138–155. doi: 10.26740/jpfa.v12n2.p138-155.
42. Sujana, G. A. P. P., Sumadiyasa, M., & **Isnaeni**, I. (2020). Sintesis Carbon Dot Dengan Bahan Dasar Asam Sitrat Menggunakan Metode Pemanasan Secara Berulang di Dalam Oven Microwave. *BF*, 22(1), 29. doi: 10.24843/BF.2021.v22.i01.p05.
43. Kasmiarno, L. D., Fikarda, A., Gunawan, R. K., Sambudi, S., & **Isnaeni**, I. (2021). Carbon Quantum Dots (CQDs) from Rambutan and Pandan Leaves for Cu²⁺ Detection. *Waste Technology*, 9.
44. Jumardin, J., Maddu, A., Santoso, K., & **Isnaeni**, I. (2021). Synthesis of Carbon Dots (CDS) and Determination of Optical band Gap Energy With Tauc Plot Method. *Jambura Physics Journal*, 3(2), 73–86. doi: 10.34312/jpj.v3i2.11235.
45. Basyir, A., **Isnaeni**, I., et al. (2021). Sn-CuO Arabic Gum Composition for Red Tracer Projectile Ammunition Potential. *Pertahanan*, 7(1), 18. doi: 10.33172/jp.v7i1.938.
46. Mulyawan, R. G., **Isnaeni**, I., & Rivai, M. (2021). Perancangan Sistem Pump-Probe Spectroscopy sebagai Metode Dalam Analisis Dinamika Elektron pada Larutan. *JURNAL SAINS DAN SENI ITS*, 10(1).
47. **Isnaeni**, I., Zufara, B. S., & Lewa, I. W. L. (2020). Alternative Optical Methods for Qualitative Detection of Vitamin B6 and B12 of Banana. *jtip*, 31(2), 147–154. doi: 10.6066/jtip.2020.31.2.147.

48. Putro, P. A., Roza, L., & **Isnaeni**, I. (2019). Photoluminescence Properties of Poly (Ethylene Glycol) Passivated Carbon Dots from Cassava Peels. *indonesian.j.of.science.and.education*, 3(2), 76. doi: 10.31002/ijose.v3i2.1209.
49. Putro, P. A., Roza, L., & **Isnaeni**, I. (2019). The Effect of Poly (Ethylene Glycol) On The Photoluminescence Properties of Carbon Dots From Cassava Peels Synthesized by Hydrothermal Methods. *SPEKTRA*, 4(1), 11–20. doi: 10.21009/SPEKTRA.041.02.
50. Putro, P. A., Roza, L., & **Isnaeni**, I. (2019). Karakterisasi Sifat Optik C-Dots dari Kulit Singkong Menggunakan Teknik Microwave. *Jurnal Teknologi Teknoscientia*, 11(2).
51. Lestari, I. W., **Isnaeni**, I., Nurhasanah, W. D., & Imran, A. (2019). Analisis Spektrum Absorbansi dan Fotoluminesensi Untuk Mempelajari Kandungan Nutrisi Buah Manggis. *Median*, 11(3), 34–41. doi: 10.33506/md.v11i3.568.
52. **Isnaeni**, I. et al. (2019). Optical Properties of Toluene-soluble Carbon Dots Prepared from Laser-ablated Coconut Fiber. *Makara J. Sci*, 187–192. doi: 10.7454/mss.v23i4.10639.
53. **Isnaeni**, I., Mulyawan, R. G., & Hakimi, A. R. (2019). Simple Application of Time Correlated Single Photon Counter of Picosecond Pulsed Laser to Measure Refractive Index of Saline Solution. *J. Penelit. Fis. Apl.*, 9(2), 105. doi: 10.26740/jpfa.v9n2.p105-113.
54. Al Ghifari, A. D., Sanjaya, E., & **Isnaeni**, I. (2019). Pengaruh Doping Nitrogen, Sulfur, dan Boron terhadap Spektrum Absorbansi dan Fotoluminesensi Karbon Dot Asam Sitrat. *Fiziya*, 2(2), 93–101. doi: 10.15408/fiziya.v2i2.11787.
55. Sugiarto, I. T., Birowosuto, M. D., **Isnaeni**, I., & Tresna, W. P. (2018). Optical Illusion Design Based on Four Convex Lenses

System and Cloaking Area Characterization. *JPFI*, 14(1), 40–45. doi: 10.15294/jpfi.v14i1.5508.

56. Putro, P. A., Roza, L., & **Isnaeni**, I. (2018). Precursor Concentration Effect on Optical Properties of Carbon Dots from Cassava's Peels. *J. Phys.: Theor. Appl.*, 2(2), 43. doi: 10.20961/jphystheor-appl.v2i2.30664.
57. Pattersons, M. L., & **Isnaeni**, I. (2018). Analysis of The Influence of Gold Nanoparticle Addition to Photoluminescence Emission Intensity and Decay Time of 618 CdSe Quantum Dots. *Spektra*, 3(1), 23–30. <https://doi.org/10.21009/SPEKTRA.031.04>.
58. Hepriyadi, S. U., & **Isnaeni**, I. (2018). Synthesis and Optical Characterization of Carbon Dot from Peels of Dragon Fruit and Pear. *Omega J. Phys. Phys. Educ.*, 4(1), 19. doi: 10.31758/OmegaJPhysPhysEduc.v4i1.19.
59. Fatimah, S., **Isnaeni**, I., & Tahir, D. (2018). Assisted Surface-state Recombination of Orange-peel Carbon Nanodots in Various Matrices. *Makara J. Sci.*, 22(1), 29–34. doi: 10.7454/mss.v22i1.8301.
60. Fatimah, S., **Isnaeni**, I., & Tahir, D. (2018). Sintesis dan Karakterisasi Fotoluminisens Carbon Dots Berbahan Dasar Organik dan Limbah Organik. *Positron*, 7(2), 37. doi: 10.26418/positron.v7i2.22660.
61. **Isnaeni**, I., & Cho, Y.-H. (2016). Simulation and Experimental Study of a 2D Photonic Crystal Structure that Reflects a Quantum Dots Emission in the Normal Direction. *Makara J. Sci.*, 20(3), 101–108. doi: 10.7454/mss.v20i3.6240.
62. Yulianto, N., & **Isnaeni**, I. (2015). Pengaruh Nanopartikel Emas Terhadap Peningkatan Emisi Cahaya Kuantum Dot. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 16(3).

63. Bilqis, R., Suseno, J. E., & **Isnaeni, I.** (2015). Pemindaian dan Pengolahan Label Keamanan Pada Dokumen Rahasia Dengan Titik Kuantum. *Youngster Physics Journal; Vol 4, No 4 (2015): Youngster Physics Journal Oktober 2015, 4(4).*

Prosiding Internasional

64. **Isnaeni, I.**, Yudasari, N., & Hidayah, A. N. (2022, Mei). Growth of silver nanoparticles on unpolished silicon substrate by used of microwave-assisted technique to enhance the Raman spectrum of glucose. *Journal of Physics: Conference Series, 2274(1)*, 012003. doi: 10.1088/1742-6596/2274/1/012003.
65. Sugihartono, I., **Isnaeni, I.**, Mohar, R. S., & Widiasih, W. (2022, November). The Effects of Growth Time on Surface Morphology and Optical Band Gap Energy ZnO Thin Films. *J. Phys.: Conf. Ser., 2377(1)*, 012011. doi: 10.1088/1742-6596/2377/1/012011.
66. **Isnaeni, I.**, Sugiarto, I. T., & Tresna, W. P. (2022, November). Two-photon emission of fluorescent carbon quantum dots made of urea and trisodium citrate. *AIP Conference Proceedings, 2652(1)*, 020002. doi: 10.1063/5.0106280.
67. Yulianti, R. T., **Isnaeni, I.**, et al. (2022, November). UV photoactivity of a flexible ZnO hybrid photocatalyst grown on a conductive cellulose-based substrate. *AIP Conference Proceedings, 2652(1)*, 050015. doi: 10.1063/5.0129725.
68. Hidayah, A. N., Triyono, D., Herbani, Y., **Isnaeni, I.**, & Saleh, R. (2022, November). The performance of Au-Ag nanoalloys as SERS substrate on silicon wafer in enhancement Raman signal of deltamethrin pesticides. *AIP Conference Proceedings, 2652(1)*, 020001. doi: 10.1063/5.0107398.
69. Yudasari, N., Tresna, W. P., Sugiarto, I. T., Irmawati, Y., Suhandi, A., & **Isnaeni, I.** (2022, November). Photocatalytic degradation

- of blue dyes using simple and biocompatible synthesized ZnO Nanorods/Zn photocatalysts under tube luminescent lamp. *AIP Conference Proceedings*, 2652(1), 050002. doi: 10.1063/5.0106465.
70. Kurniawan, Salamah, U., Herbani, Y., **Isnaeni**, I., & Shiddiq, M. (2022, November). Fabrication of Cu nanoparticles using pulsed laser ablation in ethylene glycol. *AIP Conference Proceedings*, 2652(1), 020003. doi: 10.1063/5.0107576.
 71. Sugianto, S., Nurilhilmah, N., Darsono, T., Sugiyanto, S., Aryanto, D., & **Isnaeni**, I. (2021, Juli). Blue luminescence of indium-doped ZnO thin films prepared by DC magnetron sputtering. *Journal of Physics: Conference Series*, 1968(1), 012045. doi: 10.1088/1742-6596/1968/1/012045.
 72. Rahmawati, F., **Isnaeni**, I., Lewa, I. W. L., & Iriani, Y. (2021, Februari). Concentration effect on optical properties of CDots composite film from sugar (sucrose). *Journal of Physics: Conference Series*, 1825(1), 012061. doi: 10.1088/1742-6596/1825/1/012061.
 73. Putri, N. A., Fauzia, V., **Isnaeni**, I., Lewa, I. W. L., & Imawan, C. (2021, Maret). Enhanced performance of UV photodetector of MoS₂ quantum dots-decorated ZnO nanorods. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1098(6), 062071. doi: 10.1088/1757-899X/1098/6/062071.
 74. Khanifah, L., **Isnaeni**, I., Suliyanti, M. M., & Shiddiq, M. (2021). Detecting pyrethroid pesticide residues in cocoa products using laser induced breakdown spectroscopy. Paper presented at the THE 2ND SCIENCE AND MATHEMATICS INTERNATIONAL CONFERENCE (SMIC 2020): Transforming Research and Education of Science and Mathematics in the Digital Age, Jakarta, Indonesia (pp. 030026). doi: 10.1063/5.0041921.

75. Jannah, R., **Isnaeni**, I., Lewa, I. W. L., & Iriani, Y. (2021, Februari). Synthesis of fluorescent composite films PVA/CDots from orange concentrate with microwave technique. *Journal of Physics: Conference Series*, 1825(1), 012062. doi: 10.1088/1742-6596/1825/1/012062.
76. **Isnaeni**, I. (2021, Agustus). Simulation study of size and aggregation effect on colorimetric spherical gold nanoparticles. *AIP Conference Proceedings*, 2382(1), 080001. doi: 10.1063/5.0059983.
77. Primadona, I., **Isnaeni**, I., et al. (2021, Agustus). Green synthesis of silver@carbon dots nanocomposites for enhancing the antimicrobial activity. *AIP Conference Proceedings*, 2382(1), 040002. doi: 10.1063/5.0059997.
78. **Isnaeni**, I., Primadona, I., Sujana, G. A. P. P., Lewa, I. W. L., & Sumadiyah, I. M. (2021, Maret). Modifying surface energy level of citric acid-based carbon dots with polyethylene. Paper presented at the Proc.SPIE (p. 117890A). doi: 10.1117/12.2585439.
79. Arianto, S., Saputro, A. H., Ernawati, T., **Isnaeni**, I., Imawan, C., & Djuhana, D. (2021, November). Rapid Detection of Cadmium Concentration in Beche-de-mer Using Hyperspectral Imaging Technology and Deep Neural Networks Regression Technique. In *2021 IEEE 5th International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE)* (pp. 30–34). doi: 10.1109/ICITISEE53823.2021.9655773.
80. Zulfahmi, Handoko, D., Prajitno, P., & **Isnaeni**, I. (2020, April). The influence of particle size to diffusivity of nanogold particles based on Brownian motion. *Journal of Physics: Conference Series*, 1528(1), 012042. doi: 10.1088/1742-6596/1528/1/012042

81. Syampurwadi, A., Primadona, I., Fauzia, V., & **Isnaeni, I.** (2020, Maret). Photoreduction of palladium nanoparticles on ZnO nanorods for enhancing photocatalytic decolorization of methylene blue. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 483(1), 012042. doi: 10.1088/1755-1315/483/1/012042.
82. Sugianto, S., Astuti, B., Marwoto, P., Firmahaya, N. A., Aryanto, D., & **Isnaeni, I.** (2020, Juni). Influence of annealing duration on structural, optical and electrical properties of AZO thin films grown on corning glass by dc magnetron sputtering. *Journal of Physics: Conference Series*, 1567(2), 022003. doi: 10.1088/1742-6596/1567/2/022003.
83. Irwan, M., **Isnaeni, I.**, Suliyanti, M. M., & Shiddiq, M. (2020, September). Elemental analysis of cocoa beans using laser induced breakdown spectroscopy. *AIP Conference Proceedings*, 2256(1), 020011. doi: 10.1063/5.0014531.
84. Zufara, B. S., **Isnaeni, I.**, Hakimi, A. R., Mulyawan, R. G., & Lewa, I. W. L. (2020, September). Color conversion of caramelized sugar carbon dots using blue and green light emitting diodes. *AIP Conference Proceedings*, 2256(1), 020002. doi: 10.1063/5.0022417.
85. Herbani, Y., **Isnaeni, I.**, Irmaniar, Ihsan, M. R., Putra, Y. P., & Saraswati, T. E. (2020, September). Colloidal Au and Au/Ag nanoparticles prepared by laser ablation in liquid as a substrate of surface enhanced Raman scattering (SERS) in ascorbic acid detection. *AIP Conference Proceedings*, 2256(1), 020012. doi: 10.1063/5.0015197.
86. Zulfahmi, **Isnaeni, I.**, & Prajitno, P. (2019, Oktober). Design of Liquid Viscosity Measurement System Using Brownian Motion. In *2019 International Conference on Electrical, Electronics and*

Information Engineering (ICEEIE) (pp. 75–78). doi: 10.1109/ICEEIE47180.2019.8981425.

87. Lewa, I. W. L., Cece, & **Isnaeni**, I. (2019, November). Banana Ripeness Analysis Using Reflectance and Photoluminescence. In 2019 IEEE R10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC) (pp. 248–253). doi: 10.1109/R10-HTC47129.2019.9042490.
88. **Isnaeni**, I., Zufara, B. S., Lewa, I. W. L., Herbani, Y., & Shiddiq, M. (2020, Januari). Role of surface states on luminescence shift of caramelised sugar carbon dots for color conversion emitting devices. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 11(1), 015003. doi: 10.1088/2043-6254/ab628e.
89. Pambudi, S., **Isnaeni**, I., & Handoko, D. (2020, April). Simple gold nanoparticles production method by ablated laser: Diameter modification. *Journal of Physics: Conference Series*, 1528(1), 012059. doi: 10.1088/1742-6596/1528/1/012059.
90. Sugianto, S., Astuti, B., Firmahaya, N. A., Aryanto, D., & **Isnaeni**, I. (2019, November). The effect of annealing on ZnO:Al thin film growth on preparatory glass substrate by dc magnetron sputtering. *Journal of Physics: Conference Series*, 1387(1), 012007. doi: 10.1088/1742-6596/1387/1/012007.
91. Putri, K. Y., Panjaitan, M. P., Sitohang, N. O., **Isnaeni**, I., & Herbani, Y. (2019, Maret). Solvent effect on the acoustic detection of laser-induced breakdown. *Journal of Physics: Conference Series*, 1191, 012008. doi: 10.1088/1742-6596/1191/1/012008.
92. Mohar, R. S., **Isnaeni**, I., & Hadiko, G. (2019, Juni). Synthesis of immobilized nanostructured ZnO grown on glass and its photocatalytic activity for cyanide degradation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 541(1), 012013. doi: 10.1088/1757-899X/541/1/012013.

93. **Isnaeni**, I., Selvina, & Tahir, D. (2019, Maret). Determining colour coordinates of colourful light generated by three laser sources. *Journal of Physics: Conference Series*, 1191, 012004. doi: 10.1088/1742-6596/1191/1/012004.
94. Hidayah, A. N., Triyono, D., Saputra, A. B., Herbani, Y., **Isnaeni**, I., & Suliyanti, M. M. (2019, Maret). Stabilization of Au-Ag Nanoalloys with Polyvinylpyrrolidone (PVP) as Capping Agent. *Journal of Physics: Conference Series*, 1191, 012010. doi: 10.1088/1742-6596/1191/1/012010.
95. Hidayah, A. N., Triyono, D., Herbani, Y., **Isnaeni**, I., & Suliyanti, M. M. (2019, Agustus). Effect of irradiation time in the synthesis of Au-Ag nanoalloys by femtosecond laser. *Journal of Physics: Conference Series*, 1245(1), 012064. doi: 10.1088/1742-6596/1245/1/012064.
96. Astuti, A., **Isnaeni**, I., et al. (2019, Oktober). Photoluminescence study of ZnO:Al thin films with different power plasma. *Journal of Physics: Conference Series*, 1321(2), 022009. doi: 10.1088/1742-6596/1321/2/022009.
97. Sugihartono, I., **Isnaeni**, I., et al. (2019, November). The influence of calcination temperature on optical properties of ZnO nanoparticles. *AIP Conference Proceedings*, 2169(1), 060010. doi: 10.1063/1.5132688.
98. Roza, I., Putro, P. A., & **Isnaeni**, I. (2019, November). Ultrasonic-assisted melt blending for polyvinyl alcohol/carbon dots luminescent flexible films. *AIP Conference Proceedings*, 2169(1), 060008. doi: 10.1063/1.5132686.
99. Sawitri, D., Nurfathiya, N., **Isnaeni**, I., & Fauzan 'Adziimaa, A. (2019, April). Synthesis of carbon dots from organic waste as heavy metal ions detector sensor. In *Proceedings of SPIE* (p. 110440S). doi: 10.1117/12.2504482.

100. **Isnaeni, I.**, Masni, & Shiddiq, M. (2019, April). Rapid detection of chlorophyll-a reduction in tropical fruit leaves using violet laser. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 251, 012004. doi: 10.1088/1755-1315/251/1/012004.
101. Sugihartono, I., Silmina, A. D., Fahdiran, R., & **Isnaeni, I.** (2019, Desember). The effects of substrate on enhancement of UV emission of ZnO nanorods. *Journal of Physics: Conference Series*, 1402(6), 066008. doi: 10.1088/1742-6596/1402/6/066008.
102. Zaitun, Prasetyo, S., Suliyanti, M. M., **Isnaeni, I.**, & Herbani, Y. (2018, Maret). Quantitative analysis of titanium concentration using calibration-free laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS). *Journal of Physics: Conference Series*, 985, 012010. doi: 10.1088/1742-6596/985/1/012010.
103. Prasetyo, S., **Isnaeni, I.**, Zaitun, Mitchell, K., Suliyanti, M. M., & Herbani, Y. (2018, Maret). Analyzing silver concentration in soil using laser-induced breakdown spectroscopy. *Journal of Physics: Conference Series*, 985, 012009. doi: 10.1088/1742-6596/985/1/012009.
104. Hidayah, A. N., Triyono, D., Herbani, Y., **Isnaeni, I.**, & Suliyanti, M. M. (2018, Maret). Effect of ablation time on femtosecond laser synthesis of Au-Ag colloidal nanoalloys. *Journal of Physics: Conference Series*, 985, 012008. doi: 10.1088/1742-6596/985/1/012008.
105. Gunawan, R., **Isnaeni, I.**, et al. (2018, Maret). Effect of high current density to defect generation of blue LED and its characterization with transmission electron microscope. *Journal of Physics: Conference Series*, 985, 012023. doi: 10.1088/1742-6596/985/1/012023.

106. Gunawan, R., **Isnaeni**, I., et al. (2018, Desember). Focused ion beam and advanced electron microscopy for nano defect failure analysis of LED. *AIP Conference Proceedings*, 2045(1), 020030. doi: 10.1063/1.5080843.
107. **Isnaeni**, I., Rahmawati, I., Intan, R., & Zakaria, M. (2018, Maret). Photoluminescence study of carbon dots from ginger and galangal herbs using microwave technique. *Journal of Physics: Conference Series*, 985(1), 012004. doi: 10.1088/1742-6596/985/1/012004.
108. Sugihartono, I., Dianisya, D., & **Isnaeni**, I. (2018, November). Crystal structure analyses of ZnO nanoparticles growth by simple wet chemical method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 434(1), 012077. doi: 10.1088/1757-899X/434/1/012077.
109. Sena, A. W., **Isnaeni**, I., & Juliastuti, E. (2017, Januari). Optical Characterization of Major Compounds in Different Types of Commercial Olive Oil Using Photoluminescence Method. *Procedia Engineering*, 170, 357–362. doi: 10.1016/j.proeng.2017.03.053.
110. Tresna, W. P., & **Isnaeni**, I. (2017, April). Determining optimum red filter slide distance on creating 3D electron microscope images using anaglyph method. *Journal of Physics: Conference Series*, 817, 012040. doi: 10.1088/1742-6596/817/1/012040.
111. Hidayah, A. N., Suliyanti, M. M., & **Isnaeni**, I. (2017, April). The effect of excitation wavelength on plasma spectrum of metals in vacuum condition. *Journal of Physics: Conference Series*, 817, 012034. doi: 10.1088/1742-6596/817/1/012034.
112. **Isnaeni**, I., Hanna, M. Y., Pambudi, A. A., & Murdaka, F. H. (2017, Januari). Influence of ablation wavelength and time on optical properties of laser ablated carbon dots. *AIP Conference Proceedings*, 1801(1), 020001. doi: 10.1063/1.4973079.

113. **Isnaeni, I.**, Irmaniar, & Herbani, Y. (2017, Maret). Aggregation effect on absorbance spectrum of laser ablated gold nanoparticles. *Journal of Physics: Conference Series*, 817(1), 012039. doi: 10.1088/1742-6596/817/1/012039.
114. Sugiarto, I. T., **Isnaeni, I.**, & Putri, K. Y. (2017, Maret). Analysis of dual peak emission from Rhodamine 6G organic dyes using photoluminescence. *Journal of Physics: Conference Series*, 817(1), 012047. doi: 10.1088/1742-6596/817/1/012047.
115. Suliyanti, M. M., Hidayah, A. N., & **Isnaeni, I.** (2017, Maret). Analysis of laser induced plasma of lithium iron phosphate/LiFePO₄ using Nd:YAG laser at low pressure. *Journal of Physics: Conference Series*, 817(1), 012046. doi: 10.1088/1742-6596/817/1/012046.
116. **Isnaeni, I.**, Sugiarto, I. T., Bilqis, R., & Suseno, J. E. (2016, Februari). Detection of CdSe quantum dot photoluminescence for security label on paper. *AIP Conference Proceedings*, 1710(1), 030038. doi: 10.1063/1.4941504.
117. **Isnaeni, I.**, Muslimin, A. N., & Birowosuto, M. D. (2016, Februari). Refractive index dependence of Papilio Ulysses butterfly wings reflectance spectra. *AIP Conference Proceedings*, 1711(1), 030001. doi: 10.1063/1.4941616.
118. **Isnaeni, I.**, Yulianto, N., & Suliyanti, M. M. (2016, Maret). Photoluminescence of patterned CdSe quantum dot for anti-counterfeiting label on paper. *AIP Conference Proceedings*, 1719(1), 030050. doi: 10.1063/1.4943745.
119. **Isnaeni, I.**, Herbani, Y., Hidayah, A. N., Yulianto, N., Putri, K. Y., & Suliyanti, M. M. (2015, Januari). Fabrication of 1D photonic crystal by sol-gel method for tuning the emission of CdSe colloidal quantum dot. *Proc.SPIE*, 94440S. doi: 10.1117/12.2075151.

Prosiding Nasional

120. Aini, A. N., Sugihartono, I., Yaqin, A. A., & **Isnaeni, I.** (2023). Studi struktur kristal lapisan tipis seng oksida yang didoping magnesium (ZnO:Mg) 0.04 Mol Menggunakan Rietveld Refinement. *Prosiding Seminar Fisika (E-Journal)*, 11(1).
121. Victoria, J. A., **Isnaeni, I.**, & Sugihartono, I. (2022). Review Zinc Oxide (ZnO) Nanopartikel sebagai pengobatan kanker. *Prosiding Seminar Fisika (E-Journal)*, 10(1), FA-43.
122. Fauziyyah, A., **Isnaeni, I.**, & Sugihartono, I. (2020). Studi pengaruh aliran konveksi pada perbedaan letak substrat proses sintesis struktur kristal zno nanorod. Makalah dipaparkan pada Seminar Nasional Fisika 2016 UNJ. doi: 10.21009/03.SNF2020.01.FA.07.
123. Anggraheni, D., **Isnaeni, I.**, & Sugihartono, I. (2020). Pengaruh variasi pH terhadap sifat optik zno nanopartikel dari hasil biosintesis. Makalah dipaparkan pada Seminar Nasional Fisika 2016 UNJ. doi: 10.21009/03.SNF2020.01.FA.08.
124. Qurrata, A., Tahir, D., **Isnaeni, I.**, & Ramlan, N. M. (2018). Perbandingan sifat optik Karbon Dots (C-Dots) dari daun mangga kering dan segar. *Seminar Nasional Quantum #25*, 2477–1511.
125. Putro, P. A., **Isnaeni, I.**, & Roza, L. (2018). Karakterisasi sifat fotoluminisensi C-dots dari kulit ari singkong menggunakan teknik microwave. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (SNF)*, 2.
126. Purwanto, N., **Isnaeni, I.**, & Sugihartono, I. (2018). Studi komposisi dan sifat optik ZnO Nanorods yang disintesis menggunakan metode hidrotermal. Dalam *Prosiding Seminar Fisika (E-Journal) SNF2018 UNJ* (pp. SNF2018-PA-106-SNF2018-PA-109). Pendidikan Fisika dan Fisika FMIPA UNJ. doi: 10.21009/03.SNF2018.02.PA.14.

127. Ghifari, A. D. A., Putra, W. P., & **Isnaeni**, I. (2017). Analisis fotoluminesensi karbon dots dari daun teh dan daun pepaya dengan teknik microwave. *Dalam Prosiding Seminar Nasional Fisika SNF2017* (pp. SNF2017-MPS-19-SNF2017-MPS-26). Pendidikan Fisika dan Fisika FMIPA UNJ. doi: 10.21009/03.SNF2017.02.MPS.04.

Paten

128. Sugiarto, I. T., Hidayah, A. N., Tresna, W. P., **Isnaeni**, I., Herbani, Y., Yudasari, N., Yulianto, N., Suliyanti, M. M., Shiddiq, M., Putri, K. Y. (2022). *Metode pembuatan substrat sers nanopartikel au pada substrat silicon wafer*. (Paten Terdaftar P00202206865).
129. Hidayah, A. N., Herbani, Y., **Isnaeni**, I., Suliyanti, M. M., Sugiarto, I. T., Tresna, W. P., Shiddiq, M., Yulianto, N., Yudasari, N., & Putri, K. Y. (2022). *Metode pembuatan Substrat SERS Nanopartikel Au pada substrat silicon wafer*. (Paten Terdaftar P00202206865).
130. Shiddiq, M., Herbani, Y., **Isnaeni**, I., Suliyanti, M. M., Yudasari, N., Sugiarto, I. T., Tresna, W. P., Putri, K. Y., Hidayah, A. N., & Yulianto, N. (2002). *Metode deteksi cepat residu insektisida bifenthrin pada makanan dengan teknik laser induced-plasma spectroscopy (LIPS) yang menggunakan laser pulsa femtosekon*. (Paten Terdaftar P00202205497).
131. Wismogroho, A. S., Mulya, M. A. J., Suryadi, Widiyatmoko, B., **Isnaeni**, I., Basyir, A., Hermanto, B., Aryanto, D., Nugraha, H., Agmal, S., Widayatno, W. B., & Widayatno, W. B. (2021). *Alat deteksi multiplikasi asam nukleat secara isothermal*. (Paten Terdaftar S00202111751).
132. Yudasari, N., Suliyanti, M. M., **Isnaeni**, I., Herbani, Y., Shiddiq, M., Hidayah, A. N., Putri, K. Y., & Putri, K. Y. (2021). *Agen*

antibakteri berbasis nanopartikel seng oksida (ZnO) dan proses pembuatannya. (Paten Sederhana Dikabulkan).

133. Basyir, A., Asri, N. S., **Isnaeni, I.**, Aryanto, D., Wismogroho, A. S., Widayatno, W. B., & Suhandi, A. (2021). *Komposisi perunut utama proyektil untuk amunisi kaliber kecil yang memiliki energi panas rendah dan spektrum emisi tajam dan metode pembuatannya.* (Paten Terdaftar P00202105820).
134. Shiddiq, M., Suliyanti, M. M., **Isnaeni, I.**, Herbani, Y., Yudasari, N., Hidayah, A. N., Putri, K. Y., Sugiarto, I. T., & Tresna, W. P. (2020). *Metode deteksi cepat residu insektisida deltametrin pada produk cokelat dengan teknik laser induced plasma spectroscopy (LIPS) yang menggunakan laser pulsa nanosekon.* (Paten Terdaftar S00202010060).
135. **Isnaeni, I.**, Shiddiq, M., Herbani, Y., Suliyanti, M. M., Yudasari, N., Yuniati, K., & Hidayah, A. N. (2019). *Metode untuk mendeteksi tingkat kematangan buah pisang dengan teknik tidak merusak menggunakan laser fotoluminensi.* (Paten Terdaftar P00201911798).
136. Suliyanti, M. M., Hidayah, A. N., **Isnaeni, I.**, Herbani, Y., Yudasari, N., Putri, K. Y., & Shiddiq, M. (2019). *Alat untuk aktivasi laser karbon dioksida/CO₂ kontinyu.* (Paten Terdaftar. P00201911792).
137. Yudasari, N., Suliyanti, M. M., **Isnaeni, I.**, Herbani, Y., Hidayah, A. N., Putri, K. Y., & Shiddiq, M. (2019). *Proses pembuatan plastik antibakteri komposit polylactic acid (PLA) - nanopartikel zinc oxide (ZnO).* (Paten Terdaftar S00201911790).
138. Hidayah, A. N., Yudasari, N., Herbani, Y., **Isnaeni, I.**, Putri, K. Y., Shiddiq, M., & Suliyanti, M. M. (2019). *Metode deteksi cepat pestisida deltametrin pada minuman teh dengan teknik*

surface enhanced raman spectroscopy (SERS) koloid berbasis nanopartikel Au-Ag. (Terdaftar Paten P000201910795).

139. Yudasari, N., Herbani, Y., Hidayah, A. N., Putri, K. Y., Shiddiq, M., Suliyanti, M. M., **Isnaeni, I.**, & Suryadi. (2018). *Agen antibakteri berbasis nanopartikel zinc oxide (ZnO) dan proses pembuatannya.* (Paten Terdaftar S00201809959).
140. Suliyanti, M. M., Nelwan, E. R. G., Yidasari, N., Shiddiq, M., Herbani, Y., Hidayah, A. N., Putri, K. Y., **Isnaeni, I.**, & Suryadi. (2018). *Lapisan anti refleksi untuk sel surya berbahan dasar TiO₂ – SiO₂ dan proses pembuatannya.* (Paten Terdaftar P00201810158).
141. **Isnaeni, I.**, Putri, K. Y., Herbani, Y., Suliyanti, M. M., Hidayah, A. N., Yudasari, N., & Suryadi. (2017). *Nanopartikel karbon berpendar berbahan dasar gula dan proses pembuatannya.* (Paten Terdaftar. P00201708918).

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Data Pribadi

Nama	:	Dr. Isnaeni, S.Si., M.Sc.
Tempat, Tanggal Lahir	:	Medan, 10 Februari 1978
Anak ke	:	5 dari 5 Bersaudara
Jenis Kelamin	:	Laki-Laki
Nama Ayah Kandung	:	H. Usman Affandy (alm.)
Nama Ibu Kandung	:	Hj. Basyariah (almh.)
Nama Istri	:	Femi Wulandari
Jumlah Anak	:	1 orang
Nama Anak	:	Ayumi Azkadina Lashira Shanum
Nama Instansi	:	Pusat Riset Fotonika
Judul Orasi	:	Pemanfaatan <i>Quantum Dots</i> pada Bidang Energi dan Lingkungan di Indonesia
Jabatan	:	Peneliti Ahli Utama
Ilmu	:	Fisika
Bidang	:	Fisika Terapan
Kepakaran	:	Optik
No. SK Pangkat Terakhir	:	15/K Tahun 2023, tanggal 14 Juli 2023
No. SK Peneliti Ahli Utama	:	2/M Tahun 2023, tanggal 9 Januari 2023

B. Pendidikan Formal

No.	Jenjang	Nama Sekolah/PT	Kota dan Negara	Tahun Lulus
1.	SD	SDN Kapuk 06 Pagi	Jakarta Barat	1990
2.	SMP	SMPN 201	Jakarta Barat	1993
3.	SMA	SMAN 56	Jakarta Barat	1996
4.	S-1	Institut Pertanian Bogor	Bogor, Indonesia	2000
5.	S-2	The University of Queensland	Brisbane, Australia	2006
6.	S-3	Korea Advance Institute of Science and Technology	Daejeon, Korea Selatan	2012

C. Pendidikan Non Formal

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/Negara	Tahun
1.	Training Session Micro Confocal Raman Spectroscopy	Cibinong	2018
2.	Pelatihan Audit Internal Laboratorium Pengujian/Kalibrasi Berdasarkan SNI ISO/IEC 17025:2008	Tangerang Selatan	2017
3.	<i>Training of Trainers (ToT)</i> Diklat Jabatan Fungsional Peneliti Berjenjang	Cibinong	2017

4.	Pendidikan dan Pelatihan Fungsional Peneliti Tingkat Lanjut	Cibinong	2016
5.	Pendidikan dan Pelatihan Fungsional Peneliti Tingkat Pertama	Jakarta	2003
6.	Pendidikan dan Pelatihan Prajabatan Golongan III	Bandung	2001

D. Jabatan Struktural

No.	Jabatan	Instansi	Tahun
1.	Plt. Kepala Pusat Riset Fotonik	BRIN	04-03-2022 sampai 19-07-2022
2.	Kepala Pusat Riset Fotonik	BRIN	19-07-2022 sampai 31-12-2023
3.	Plt. Kepala Pusat Riset Fotonika	BRIN	01-01-2024 sampai 31-03-2024

E. Jabatan Fungsional

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1.	Peneliti Ahli Utama	25-01-2023
2.	Peneliti Ahli Madya	01-05-2018
3.	Peneliti Ahli Muda	01-01-2015

F. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota/Negara)	Tahun
1.	Lokakarya Ilmiah Nasional Aplikasi Optik dan Fotonik 2015	Ketua	LIPI	2015
2.	International Symposium on Frontier of Applied Physics (ISFAP)	Editor	LIPI	2015– 2017

G. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah

No.	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/Tugas	Tahun
1.	<i>Jurnal Jusami</i>	BRIN	Editor	2022– sekarang

H. Karya Tulis Ilmiah

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1.	Penulis Tunggal	1
2.	Penulis Bersama Penulis Lainnya	140
	Total	141

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1.	Bahasa Indonesia	31
2.	Bahasa Inggris	110
3.	Bahasa Lainnya	-
	Total	141

I. Pembinaan Kader Ilmiah

Mahasiswa

No.	Nama	Universitas	Peran/Tugas	Tahun
1.	Jurmardin	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing Tesis S-2	2017
2.	Permono Adi Putro	Institut Pertanian Bogor	Pembimbing Tesis S-2	2020
3.	G. Agus Permana Putra Sujana	Universitas Udayana	Pembimbing S-1 Skripsi	2020
4.	Tesa Mawar Arianti	Universitas Pertamina	Pembimbing S-1 Skripsi	2022

J. Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1.	Anggota	Himpunan Optika Indonesia (HOI)	2016–sekarang
2.	Anggota	Himpunan Peneliti Indonesia (HIMPENINDO)	2019–2021
3.	Anggota	Perhimpunan Periset Indonesia (PPI)	2022–sekarang

K. Tanda Penghargaan

No	Penghargaan	Nama Organisasi	Tahun
1.	Satyalancana Karya Satya X Tahun	PRESIDEN RI	2011
2.	Satyalancana Karya Satya XX Tahun	PRESIDEN RI	2021

3.	Penghargaan Peringkat Kedua pada Diklat Fungsional Peneliti Tingkat Pertama Tahun 2003	LIPI	2003
4.	Penghargaan Peringkat Pertama pada Diklat Fungsional Peneliti Tingkat Lanjutan Tahun 2016	LIPI	2016
5.	Peneliti Terbaik Bidang Fisika – LIPI 2019	LIPI	2019
6.	Penghargaan Makalah Terbaik pada AMTeQ 2015 (21 Oktober 2015).	Kepala Pusat Sistem Mutu dan Teknologi Pengujian LIPI	2015

Efisiensi energi listrik dan pencemaran lingkungan adalah dua permasalahan yang kerap ditemui di berbagai negara, salah satunya di Indonesia. Masalah efisiensi energi listrik yang tidak dapat tercapai dengan baik disebabkan oleh dua faktor, yaitu faktor teknis yang berupa kurangnya akses terhadap teknologi efisiensi energi, dan faktor budaya yang berupa kebiasaan-kebiasaan yang menimbulkan pemborosan energi. Sedangkan untuk masalah pencemaran lingkungan, dapat dilihat dari negara Indonesia yang tercatat sebagai negeri penghasil sampah terbesar kedua di dunia setelah Tiongkok, yaitu sebesar 187,2 juta ton per tahun. Dari jumlah tersebut, sampah domestik merupakan salah satu komponen sampah kota yang paling banyak ditemukan.

Naskah orasi *Pemanfaatan Quantum Dots pada Bidang Energi dan Lingkungan di Indonesia* memberikan solusi untuk kedua permasalahan di atas melalui pemanfaatan *quantum dots*. *Quantum dots* adalah partikel semikonduktor atau material lain dengan ukuran partikel berskala nanometer yang menunjukkan sifat optik dan elektronik unik karena ukurannya yang kecil. Sifat unik dari partikel ini diantaranya: memiliki efek berkedip atau *blinking*, memiliki kemampuan untuk menghasilkan cahaya yang berbeda, dan memiliki nilai efisiensi tinggi karena sebagian besar energi cahaya yang diserap oleh partikel ini dapat dipancarkan sebagai cahaya baru. Karena sifatnya yang unik, *quantum dots* memiliki potensi pemanfaatan yang sangat besar. Beberapa pemanfaatannya dapat ditemukan di dalam pembangkit listrik tenaga surya atau panel surya dan baterai. Selain itu, *quantum dots* juga dapat dibuat dengan bahan-bahan yang relatif murah dan mudah didapatkan, salah satu contohnya adalah sampah domestik. Penggunaan sampah domestik sebagai bahan pembuat *quantum dots* akan mengurangi jumlah sampah yang kemudian dapat menurunkan permasalahan pencemaran lingkungan.

Naskah ini diharapkan dapat mendorong para periset untuk terus melanjutkan riset mengenai pengembangan dan pemanfaatan *quantum dots*, terutama yang berasal dari sumber daya alam Indonesia karena sumber daya yang dimiliki negara Indonesia sangat melimpah dan dapat menjadi aset yang besar bagi pengembangan riset *quantum dots* yang tidak hanya akan memberikan manfaat bagi perkembangan sains saja, tetapi juga bagi masyarakat Indonesia.

BRIN Publishing
The Legacy of Knowledge

Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, anggota Ikapi
Gedung B.J. Habibie Lt. 8,
Jln. M.H. Thamrin No. 8,
Kota Jakarta Pusat 10340
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

DOI: 10.55981/brin-others.1057



ISBN 978-623-8372-59-1



9 786238 137259 1