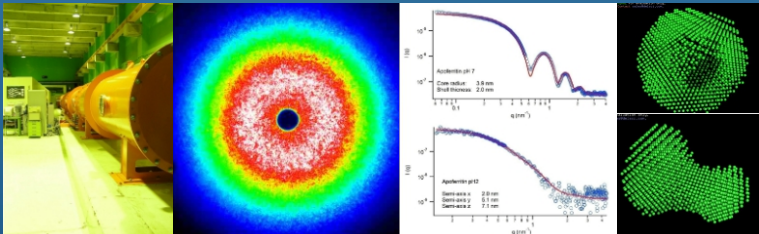


ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET BIDANG KIMIA FISIKA MAKROMOLEKUL

APLIKASI HAMBURAN NEUTRON UNTUK KARAKTERISASI NANOSTRUKTUR BIOMAKROMOLEKUL



OLEH:
EDY GIRI RACHMAN PUTRA

BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL
JAKARTA, 8 DESEMBER 2022

**APLIKASI HAMBURAN NEUTRON UNTUK
KARAKTERISASI NANOSTRUKTUR
BIOMAKROMOLEKUL**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Diterbitkan pertama pada 2022 oleh Penerbit BRIN

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



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution Non-commercial Share Alike 4.0 International license (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/>

Buku ini tidak diperjualbelikan.



**ORASI PENGUKUHAN PROFESOR RISET
BIDANG KIMIA FISIKA MAKROMOLEKUL**

**APLIKASI HAMBURAN NEUTRON UNTUK
KARAKTERISASI NANOSTRUKTUR
BIOMAKROMOLEKUL**

OLEH:
EDY GIRI RACHMAN PUTRA

**BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL
JAKARTA, 8 DESEMBER 2022**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2022 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Deputi Bidang Sumber Daya Manusia Ilmu Pengetahuan dan Teknologi

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Aplikasi Hamburan Neutron untuk Karakterisasi Nanostruktur Biomakromolekul/Edy Giri
Rachman Putra–Jakarta: Penerbit BRIN, 2022.

xi + 74 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-623-8052-41-7 (cetak)
978-623-8052-42-4 (e-book)

- | | |
|-------------------------|----------------------|
| 1. Hamburan neutron | 2. Virus |
| 3. Hamburan sudut kecil | 4. Nano-Bioteknologi |

539.72

Copy editor : Rina Kamila
Proofreader : Prapti Sasiwi
Penata Isi : Rahma Hilma Taslima
Desainer Sampul : S. Imam Setyawan

Cetakan : Desember 2022



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: 0811-8612-369

E-mail: penerbit@brin.go.id

Website: penerbit.brin.go.id

 PenerbitBRIN

 Penerbit_BRIN

 penerbit_brin

Buku ini tidak diperjualbelikan.

BIODATA RINGKAS



Edy Giri Rachman Putra, lahir di Jakarta, 27 Maret 1970 adalah anak keenam dari pasangan Katwinto (alm.) dan Soesilowati. Menikah dengan Ernawati Arifin dan dikaruniai seorang anak, yaitu Rahmadhitya Mahardhika Putra.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 3/M Tahun 2022 tanggal 19 Januari 2022 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama di lingkungan Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) terhitung mulai tanggal 1 Oktober 2021.

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional 318/I/HK/2022, tanggal 3 November 2022 tentang Pembentukan Majelis Pengukuhan Profesor Riset, yang bersangkutan dapat melakukan orasi Pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan pendidikan dasar hingga menengah atas di Mataram, Lombok, Nusa Tenggara Barat (NTB), yaitu Sekolah Dasar Negeri 7 tahun 1982, Sekolah Menengah Pertama Negeri 2 tahun 1985, dan Sekolah Menengah Atas Negeri 2 tahun 1988. Memperoleh gelar Sarjana Sains dari Kimia MIPA, Institut Teknologi Bandung (ITB) tahun 1993; gelar Magister Teknik di bidang Ilmu dan Teknik Bahan dari ITB tahun 1999, dengan topik tesis Fisikokimia Kristal Cair (*Liquid Crystals*); dan gelar *Doctor of Philosophy* (Ph.D.) di bidang *Engineering Materials* dari The University of Sheffield, Inggris pada tahun 2004 dengan topik disertasi *Polymer Solution Crystallization*.

Mengikuti beberapa pelatihan dan pendidikan nonformal yang terkait dengan kompetensi di bidang hamburan neutron,

makromolekul, dan biomakromolekul, antara lain *RCA Post-doctoral Fellow: The Development of Advanced Beam Technology and User Support Program* di Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI) Korea Selatan (tahun 2006–2008); *MEXT Researcher Exchange Program: Protein Function Analysis using Neutron Scattering Data* di Japan Atomic Energy Agency (JAEA) Jepang (tahun 2009–2010); Program *Research and Innovation in Science and Technology Project (RISET-Pro)* dari Kementerian Riset dan Teknologi, dengan topik *Biophysical Study on Virus Like Particle (VLP) for Targeted Drug and Vaccine Development by Neutron Scattering* di Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO) Australia (tahun 2013). Sejak tahun 2007 hingga 2018 telah mengikuti banyak kegiatan yang diselenggarakan oleh International Atomic Energy Agency (IAEA), The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP), dan lainnya untuk *training course*, *scientific visit*, dan *consultancy meeting*. Sebagai pembicara utama dan undangan terkait fasilitas maupun aplikasi hamburan neutron untuk penelitian material pada konferensi internasional di Korea (tahun 2007), Malaysia (tahun 2009, 2010, dan 2011), Taiwan (tahun 2011), Jepang (tahun 2011), Thailand (tahun 2016 dan 2018), serta beberapa konferensi ilmiah lainnya di dalam dan luar negeri.

Pernah menduduki jabatan struktural sebagai Kepala Bidang Sains Bahan Maju di Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju BATAN tahun 2014–2016, dan Ketua Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir (STTN) tahun 2016–2021. Pelaksana Tugas Kepala Pusat Sains dan Teknologi Akselerator-BATAN tahun 2018–2019 dan Deputi Bidang Sumber Daya Manusia Iptek, BRIN, tahun 2021–sekarang.

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Ajun Peneliti Muda golongan III/c tahun 2005, Peneliti Muda golongan III/d tahun 2007, Peneliti Madya golongan IV/a tahun 2009, Peneliti

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Madya golongan IV/b tahun 2011, Peneliti Madya golongan IV/c tahun 2013, dan Peneliti Ahli Utama golongan IV/d bidang Kimia Fisika Makromolekul tahun 2021 dengan *Scopus h-index* mencapai nilai 12 (Agustus 2021).

Menghasilkan 76 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk jurnal, prosiding, dan bagian dari buku. Sebanyak 72 dari 76 KTI ditulis dalam bahasa Inggris.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai pembimbing jabatan fungsional peneliti dan dosen di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), pembimbing dan penguji skripsi (S1/DIV) di Universitas Andalas, Universitas Negeri Padang, Universitas Lambung Mangkurat, Institut Pertanian Bogor, dan Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir (STTN); pembimbing dan penguji tesis (S2) di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Institut Pertanian Bogor, dan Universitas Gadjah Mada, serta di Universiti Malaya; ko-promotor dan penguji disertasi mahasiswa S3 pada Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Institut Teknologi Bandung, dan Universitas Gadjah Mada.

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah, yaitu sebagai anggota di Himpunan Peneliti Indonesia (HIMPENINDO), sebagai representatif Indonesia di Asia-Oceania Neutron Scattering Association (AONSA), Royal Society of Chemistry, sebagai anggota dan pengurus pusat, Ketua I di Perhimpunan Polimer Indonesia (HPI) tahun 2011–2014, serta menjadi anggota Dewan Riset Nasional 2019–2022 pada Komisi Teknis Material Maju.

Menerima tanda penghargaan dari Presiden Republik Indonesia, yaitu Satyalancana Wiryasatya (tahun 2006), Satyalancana Karya Satya X Tahun (tahun 2004), dan XX Tahun (tahun 2014).

DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS	v
PRAKATA PENGUKUHAN	xi
I. PENDAHULUAN	1
II. PERKEMBANGAN RISET DAN INOVASI NANO-BIOTEKNOLOGI	4
2.1 <i>Self-assembly</i> Makromolekul	7
2.2 Struktur Kompleks Biomakromolekul.....	8
2.3 Struktur Kompleks Partikel Virus	9
2.4 Penelitian Biologi Struktur	9
III. RISET BIOLOGI STRUKTUR DI INDONESIA DENGAN HAMBURAN NEUTRON.....	12
3.1 Neutron dan Hamburan Neutron	12
3.2 Pemberdayaan Spektrometer Neutron Hamburan Sudut Kecil.....	14
3.3 Analisis Nanostruktur Misel	16
3.4 Analisis Nanostruktur Protein Larutan	18
IV. PEMANFAATAN NUKLIR UNTUK INOVASI NANO-BIOTEKNOLOGI DI INDONESIA	21
V. KESIMPULAN.....	24
VI. PENUTUP.....	25
UCAPAN TERIMA KASIH	26
DAFTAR PUSTAKA.....	28
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH.....	39
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	49

Buku ini tidak diperjualbelikan.

PRAKATA PENGUKUHAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim.

Assalamu 'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.

Salam sejahtera untuk kita semua.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset yang mulia dan hadirin yang saya hormati.

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur kehadiran 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 menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

**“APLIKASI HAMBURAN NEUTRON UNTUK
KARAKTERISASI NANOSTRUKTUR
BIOMAKROMOLEKUL”**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

I. PENDAHULUAN

Pandemi *Coronavirus Disease* (COVID-19) yang terjadi secara global sejak awal tahun 2020 menyebabkan lebih dari 208 juta orang di dunia terinfeksi dan lebih dari 4,3 juta orang meninggal dunia sampai dengan bulan Agustus 2021¹. Di Indonesia sendiri, sekitar 3,9 juta orang terinfeksi dan lebih dari 120 ribu orang meninggal karena COVID-19¹. Penyakit COVID-19 merupakan penyakit menular yang disebabkan oleh virus *severe acute respiratory syndrome coronavirus* atau SARS-CoV-2. Setiap jenis virus yang menginfeksi manusia dapat menimbulkan penyakit tertentu, bahkan dapat menyebabkan kematian, seperti *Ebola virus disease* atau EVD (dengan tingkat kematian sekitar 25–90%), *human immunodeficiency virus/acquired immuno-deficiency syndrome* atau HIV/AIDS (~99%), Dengue (1–5%), *severe acute respiratory syndrome coronavirus* atau SARS-CoV (9%), *middle-east respiratory syndrome coronavirus* atau MERS-CoV (35%)².

Virus merupakan biomakromolekul kompleks berskala nanometer yang dapat berevolusi dan bereplikasi menghasilkan virus-virus baru dengan menggunakan komponen-komponen biologi di dalam sel inang (*in vivo*) melalui tahapan “siklus hidup virus”³. Proses siklus hidup virus tersebut merupakan fenomena kimia dan fisika sebagai karakteristik bagi virus untuk mengambil alih seluruh proses seluler di dalam sel, terjadinya interaksi dan perakitan mandiri (*self-assembly*) membentuk struktur kompleks sebagai virus baru yang kemudian menginfeksi sel sehat lainnya. Sel yang telah terinfeksi mengalami kerusakan

dan dapat menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem organ hingga timbulnya suatu penyakit³.

Hal tersebut menjelaskan bahwa pembentukan virus baru terjadi melalui proses *self-assembly* di dalam sel. *Self-assembly* merupakan fenomena alami interaksi nonkovalen beberapa molekul, makromolekul, atau biomakromolekul membentuk agregat secara spontan dengan konfigurasi struktur tiga dimensi berukuran nanometer (10^{-9} m) hingga beberapa mikrometer (10^{-6} m)⁴. Untuk itu, pemahaman terhadap mekanisme dan kinetika *self-assembly* makromolekul atau biomakromolekul seperti pada protein, asam nukleat, maupun lipid terkait proses-proses biologi di dalam sel diperlukan untuk pengembangan obat, vaksin, dan sebagainya^{5,6}.

Untuk memahami mekanisme dan kinetika *self-assembly* makromolekul, diperlukan metode karakterisasi. Salah satunya ialah metode hamburan, khususnya hamburan sudut kecil (*small-angle scattering*, SAS), baik memanfaatkan neutron (*small-angle neutron scattering*, SANS) maupun sinar-X (*small-angle x-ray scattering*, SAXS). Berbeda dengan metode difraksi yang digunakan hanya untuk karakterisasi struktur kristal material padat terkondensasi (*condensed matter*) dalam skala atomik (sub-nanometer), hamburan sudut kecil merupakan metode yang spesifik untuk karakterisasi struktur dan dinamika bahan dalam skala nanometer, baik material padat maupun material lunak terkondensasi (*soft condensed matter* atau *soft matter*) di dalam larutan (*solution scattering*) untuk penelitian fisika, kimia, biologi, ilmu bahan, maupun aplikasi industri⁷⁻⁹.

Fasilitas spektrometer neutron hamburan sudut kecil atau SANS di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Puspipetek, Serpong, yang saat ini telah berintegrasi menjadi Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), memanfaatkan berkas neutron

dari reaktor serbaguna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) yang telah digunakan oleh banyak peneliti untuk kegiatan penelitian, pengembangan, dan inovasi material maju di Indonesia^{10,11}. Spektrometer SANS tersebut juga telah dimanfaatkan secara intensif dan global untuk investigasi nanostruktur material lunak terkondensasi, meliputi kajian fenomena *self-assembly*^{12,13}, struktur kompleks¹⁴ dan bertingkat (*ultra-structures*)¹⁵, *fitting model* sistem biner^{16,17,18,19} dan terner^{20,21} kristal cair liotropik, protein larutan^{22,23,24}, sistem kompleks protein²⁵ sebagai model *virus-like particles*, serta partikel virus.

Dalam rangka pemanfaatan metode hamburan sudut kecil SANS dan SAXS untuk penelitian biologi struktur, sebuah peta jalan (*roadmap*) telah didesain dalam rangka mendukung penelitian, pengembangan, dan inovasi dibidang nano-bioteknologi di Indonesia sebagai bagian dari kegiatan penelitian di BATAN tahun 2010 hingga tahun 2019^{26,27,28,29}. Pemahaman terhadap mekanisme dan kinetika *self-assembly* makromolekul maupun biomakromolekul terhadap pembentukan struktur material pada skala nanometer, salah satunya dapat mendukung penelitian pengembangan obat dan vaksin^{3,5,30}. Pengembangan obat dan vaksin di Indonesia merupakan salah satu sasaran bidang fokus kesehatan dan bahan maju, yaitu riset dan teknologi kesehatan dan obat yang ada dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2015–2019 maupun 2020–2024³¹.

II. PERKEMBANGAN RISET DAN INOVASI NANO-BIOTEKNOLOGI

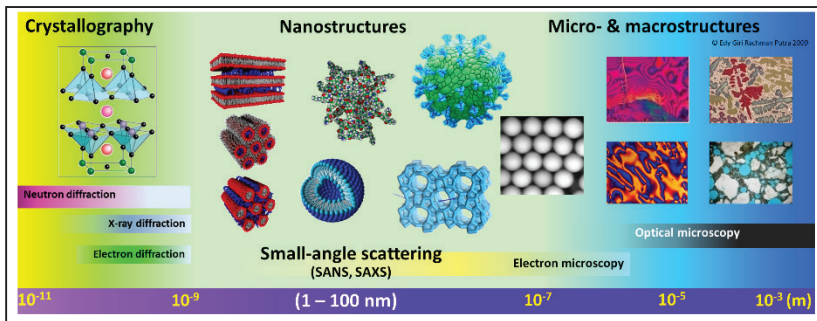
Salah satu disiplin ilmu yang dimanfaatkan dalam bidang kesehatan ialah bioteknologi, termasuk nano-bioteknologi, yaitu pengembangan antara nanoteknologi dengan ilmu biologi. Nano-bioteknologi tidak hanya didasari pada pengetahuan biologi saja, tetapi juga disiplin ilmu murni dan terapan lainnya, seperti biokimia, biologi molekuler, mikrobiologi, kimia, biofisika, fisika, termasuk komputasi, dan matematika sebagai landasan ilmu biologi modern yang dapat membantu pemecahan masalah-masalah biologi pada tingkat molekuler^{32,33,34,35}.

Dalam ilmu biologi modern, selain pemahaman terhadap komposisi dan struktur, diperlukan juga pemahaman interaksi intra maupun intermakromolekul akibat adanya gaya-gaya elektrostatik, *van der Waals*, hidrofobik, sterik, maupun ikatan hidrogen membentuk struktur kompleksnya yang berukuran puluhan hingga ratusan nanometer^{33,34}. Kajian struktur, mekanisme dan kinetika interaksi atau *self-assembly* makromolekul maupun biomakromolekul seperti protein, asam nukleat, maupun lipid sangat diperlukan dalam memahami fenomena-fenomena biologi sebagai dasar pengembangan sistem pembawa obat tertarget (*drug delivery system*) dan *nano-medicines*⁵, *virus-like particles* dan vaksin⁶, biosensor^{36,37}, dan aplikasi lainnya.

Era biologi modern dimulai setelah penemuan model struktur heliks ganda asam nukleat, DNA dari data kristalografi difraksi sinar-X tahun 1953 oleh Francis Crick, James D. Watson, dan Maurice Wilkins (pemenang Nobel bidang kedokteran/fisiologi tahun 1962)³⁸. Model struktur tersebut dapat membantu penjelasan mekanisme replikasi, ekspresi gen, dan fungsi genetik untuk memahami peran gen dalam keturunan. Namun, informasi

perubahan struktur, dinamika, serta interaksi biomakromolekul dalam larutan (*native environment* atau *native solution*), seperti lingkungan di dalam sel secara *in situ* dan *real-time*, tidak dapat dihasilkan menggunakan metode difraksi sinar-X. Eksperimen difraksi sinar-X membutuhkan sampel protein dalam bentuk kristal tunggal (*solid-state protein single crystal*) dan tidak dalam bentuk larutan (*protein solution*).

Andre Guinier, fisikawan Prancis, telah merintis teori hamburan sinar-X di sudut kecil pada sampel nonkristalin dan larutan pada sekitar tahun 1938. Eksperimen hamburan sinar-X untuk sampel biologi dalam larutan pertama kali dilakukan sekitar tahun 1950 menggunakan protein hemoglobin dan ovalbumin untuk karakterisasi ukuran protein secara langsung³⁹.



Gambar 1. Rentang dimensi ukuran dan aplikasi metode hamburan sudut kecil (SAS) untuk neutron (SANS) maupun sinar-X (SAXS)⁴⁰.

Sejalan dengan perkembangan teori, data analisis serta instrumentasi dan sumber radiasi, metode hamburan sudut kecil (*small-angle scattering*, SAS), baik sinar-X (SAXS) maupun neutron (SANS), telah menjadi salah satu metode baru dan unggul untuk investigasi struktur material pada rentang sekitar 1–100 nm di dalam larutan secara *in situ* dan *real-time*^{34,35}.

Struktur, dinamika, dan interaksi makromolekul maupun biomakromolekul dalam larutan dapat diinvestigasi secara langsung dengan metode hamburan sudut kecil, melengkapi data hasil difraksi maupun mikroskopi (Gambar 1).

Pada eksperimen hamburan, termasuk hamburan sudut kecil, radiasi neutron atau sinar-X yang dihamburkan sampel ditangkap oleh detektor dua dimensi. Data hamburan ini berisi informasi ukuran dan bentuk objek penghambur atau partikel dalam dimensi sekitar 1–100 nm. Untuk hamburan isotropik, data hamburan yang diperoleh dirata-rata dan diintegrasikan secara radial untuk mendapatkan kurva intensitas hamburan (I) terhadap vektor hamburan (q) yang didefinisikan sebagai berikut.

$$q = (4\pi/\lambda) \sin 2\theta \quad (1)$$

di mana $2q$ adalah setengah sudut yang terbentuk dari berkas datang (*direct beam*) dan berkas hamburan (*scattered beam*) dan λ adalah panjang gelombang dari radiasi yang digunakan.

Intensitas hamburan total, $I(q)$, untuk sistem monodispersi pada sudut hamburan $2q$ sebagai fungsi dari vektor hamburan, q , dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$I(q) = N_p (\Delta\rho)^2 V_p^2 P(q) S(q) \quad (2)$$

di mana N_p adalah jumlah molekul penghambur (misalnya protein) per satuan volume dalam larutan, V_p adalah volume protein tunggal, dan $\Delta\rho = (\rho_p - \rho_s)$ adalah perbedaan antara kerapatan panjang hamburan dari molekul protein dan pelarut, disebut kontras hamburan. $P(q)$ adalah faktor bentuk dari protein tertentu, yaitu hamburan dari satu molekul protein setelah rata-rata orientasi. $S(q)$ adalah faktor struktur yang berisi informasi tentang interaksi protein. Dalam larutan ideal, di mana molekul

protein terpisah dengan baik satu sama lain, tidak ada korelasi posisi atau orientasi di antara mereka, maka $S(q) = 1$, dan hamburan total hanya memiliki kontribusi dari faktor bentuk, $P(q)$ ³⁵.

2.1 *Self-assembly* Makromolekul

Surfaktan merupakan makromolekul ampifilik yang berada di atas konsentrasi kritisnya, *critical micelle concentration* (cmc), terjadi *self-assembly* membentuk misel (*micelles*), disebut sistem kristal cair liotropik. Sistem tersebut telah banyak digunakan dalam sediaan farmasi untuk pengembangan sistem pembawa obat tertarget, *biomedicines* maupun *nanomedicines*^{41,42}. Misel yang terbentuk berukuran nanometer dan dapat menyerupai bentuk bola (*spherical-like*), elips (*ellipsoids*), silinder yang fleksibel (*flexible cylinder*), maupun menyerupai cacing (*worm-like micelle*) yang dapat tersusun dalam sebuah sistem struktur kristal kubus, heksagonal, maupun *lamellar*, bergantung pada karakteristik surfaktan yang digunakan, kondisi larutan, temperatur, maupun tekanan⁴¹.

Pembentukan dan perubahan struktur kompleks dan bertingkat (*ultra-structures*) dalam sistem kristal cair liotropik seperti pada misel, liposom (*liposomes*), vesikel (*vesicles*), kubosome (*cubosomes*), heksosom (*hexosomes*), baik berbasis surfaktan, lipids, polimer, maupun biopolimer diakibatkan karena perubahan kondisi larutan^{36,43}. Perubahan keasaman larutan dan keberadaan ion atau senyawa lainnya menyebabkan perubahan struktur pada sistem kristal cair dan dapat dimanfaatkan untuk

pengendalian sistem pengiriman obat tertarget secara topikal, oral, maupun intravena⁴¹.

2.2 Struktur Kompleks Biomakromolekul

Protein merupakan salah satu biomakromolekul yang memiliki banyak fungsi pada sistem kehidupan, baik sebagai enzim, antibodi, pembangun komponen struktur, media transportasi ion atau molekul (oksigen), metabolisme, dan diferensiasi sel, termasuk meregulasi sinyal dalam proses-proses biologi. Seperti pada sistem kristal cair liotropik, perubahan kondisi larutan juga menyebabkan perubahan struktur protein, antara lain melipat-terbuka (*foldings-unfoldings*) dan ber-assembly dengan biomakromolekul lainnya menjadi kristal protein atau agregat, seperti fibril, kompleks protein, kapsid protein, dan virus⁴⁴.

Perubahan fungsi biologi protein atau kompleks protein akibat perubahan konformasi dan struktur protein diduga dapat menginisiasi timbulnya gangguan kesehatan. Sebagai contoh, dalam proses patologis protein dapat terjadi kesalahan lipatan (*foldings*), agregasi, atau *self-assembly* membentuk fibril protein sebagai pemicu terjadinya penyakit *Alzheimer* dan *Parkinson*⁴⁴. Oleh sebab itu, penelitian struktur 3 dimensi protein, konformasi, dan interaksinya dengan protein, DNA/RNA, dan lipid dalam larutan fisiologisnya banyak dilakukan dalam rangka memahami karakteristik protein terhadap fungsi biologinya^{33,34,35}.

Investigasi struktur protein kapsid yang merupakan *assembly* dari beberapa subunit protein yang identik (kapsomer) pada sebuah virus dapat membantu memberikan pemahaman mengenai siklus hidup virus, sekaligus untuk pengembangan obat, terapi antivirus, maupun vaksin. *Self-assembly* protein saat ini telah dikembangkan untuk menghasilkan protein kapsid, sistem pembawa obat tertarget, *nanomedicines*, termasuk biosensor sebagai

produk nano-bioteknologi yang telah dimanfaatkan di industri elektronika, komputer, telekomunikasi, robotik, transportasi, energi, dan sebagainya^{5,6,36}.

2.3 Struktur Kompleks Partikel Virus

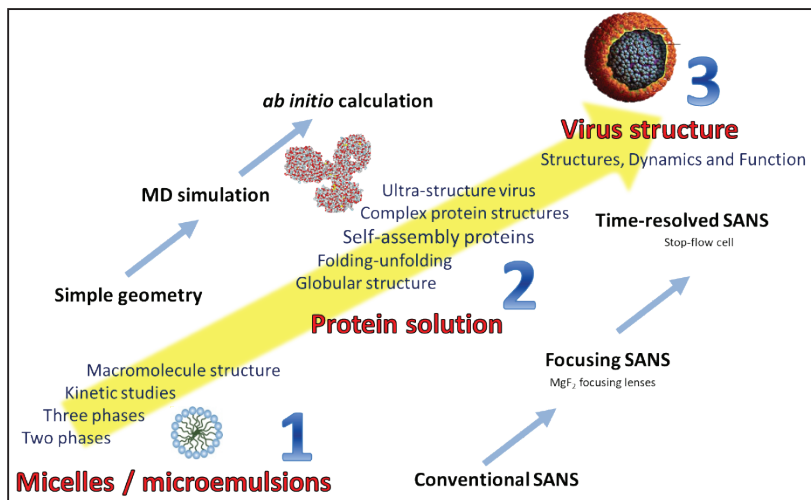
Investigasi detail struktur virus dalam larutan menggunakan metode hamburan neutron telah diawali pada virus influenza⁴⁵ dan MS2 *bacteriophage*³⁴. Investigasi kedua jenis virus tersebut juga dilakukan untuk mempelajari mekanisme replikasi, infeksi dan *self-assembly* protein, asam nukleat dan lipid dalam sel. Kajian biofisika terhadap virus maupun model virus yang dilakukan ialah untuk lebih memahami bagaimana virus berevolusi dan bereplikasi menghasilkan virus-virus baru dari dalam sel sebagai dasar pengembangan obat baru atau vaksin untuk penyakit yang ditimbulkan.

Salah satu kajian biofisika yang dilakukan oleh peneliti, yaitu memahami *self-assembly* protein virus. Dalam kondisi yang spesifik secara *in vitro* di laboratorium, protein virus dapat ber-*assembly* membentuk protein kapsid atau *virus-like particles*, sebuah nanopartikel virus yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengembangan vaksin. Beberapa vaksin berbasis protein kapsid telah diproduksi secara komersial sampai saat ini, antara lain hepatitis B, *human papilloma virus* (HPV), dan beberapa vaksin lainnya yang masih dalam tahapan uji klinis^{3,46}.

2.4 Penelitian Biologi Struktur

Penelitian biologi struktur merupakan studi tentang struktur dan dinamika biomakromolekul, seperti protein dan asam nukleat serta perubahannya yang dapat memengaruhi fungsi biologinya. Informasi terkait perubahan struktur, konformasi, mekanisme *self-assembly*, termasuk keberadaan subunit atau domain protein dalam sebuah sistem kompleks menjadi kunci dalam mempe-

jari terjadinya perubahan fungsi-fungsi biologi hingga gangguan intrinsik sebuah sistem biologi^{47,48}.



Gambar 2. Peta jalan penelitian biologi struktur di Indonesia menggunakan metode hamburan sudut kecil (neutron, SANS dan *synchrotron* sinar-X, SAXS)⁴⁰

Detail struktur biomakromolekul dengan resolusi tinggi (1–3 Å) dapat diperoleh dari hasil karakterisasi kristal tunggalnya menggunakan metode kristalografi difraksi sinar-X maupun spektroskopi resonansi magnetik inti (*nuclear magnetic resonance*, NMR)³³. Namun, kedua metode tersebut belum sepenuhnya memberikan informasi lengkap, terutama pada perubahan struktur, dinamika, dan interaksi biomakromolekul yang terjadi terhadap fungsi biologisnya di lingkungan sebenarnya, seperti di dalam sel atau kondisi fisiologisnya (*native environment* atau *native solution*).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian biologi struktur untuk mempelajari mekanisme *self-assembly*, pembentukan nanostruk-

Buku ini tidak diperjualbelikan.

tur hingga struktur kompleksnya dalam larutan dapat memanfaatkan metode hamburan, baik neutron maupun *synchrotron* sinar-X. Kajian nanostruktur seperti misel, vesikel, liposom dari sistem kristal cair liotropik, kemudian sistem protein globular, *self-assembly* protein dalam larutan menjadi protein kompleks, kapsid virus, maupun serat merupakan penelitian biologi struktur yang dapat melengkapi kajian-kajian struktur biomakromolekul dari hasil karakterisasi difraksi sinar-X maupun NMR (Gambar 2). Peta jalan penelitian biologi struktur tersebut juga disiapkan berdasarkan arah dan tren penelitian di dunia dalam memanfaatkan teknik nuklir, baik hamburan neutron maupun *synchrotron* sinar-X^{49,50}.

Untuk mendapatkan informasi struktur dan dinamika sebuah sistem biomakromolekul di dalam larutan secara komprehensif dan *real-time*, metode *time-resolved* yang dilengkapi sistem *stop-flow cell* serta analisis data struktur 3 dimensi berbasis perhitungan *ab-initio*⁵¹ perlu dikembangkan dan diimplementasikan. Pengembangan spektrometer SANS dari sistem konvensional atau *pinhole* SANS menjadi *focusing* SANS⁵² serta implementasi data analisis untuk struktur geometri sederhana menjadi geometri yang lebih kompleks^{17,22}. Hal tersebut merupakan kontribusi Penulis dan tim sebagai bagian dari peta jalan penelitian biologi struktur di Indonesia (Gambar 2).

Dengan keunggulan yang dimiliki dari metode hamburan sudut kecil, metode ini telah banyak digunakan industri farmasi untuk pengembangan obat tertarget, vesikel, liposom, nanopartikel, misel, termasuk pembuatan vaksin, seperti vaksin COVID-19^{53,54}.

III. RISET BIOLOGI STRUKTUR DI INDONESIA DENGAN HAMBURAN NEUTRON

Indonesia memiliki keanekaragaman hayati yang sangat besar, mulai dari level ekosistem, spesies hingga genetik. Keanekaragaman hayati yang besar ini menjadi potensi untuk dimanfaatkan seluas-luasnya sebagai bahan pengembangan obat tertarget maupun pengobatan presisi (*precision medicines*). Kajian struktur pada level molekuler menjadi dasar untuk riset-riset bioteknologi dalam mengembangkan kandidat obat tertarget, vaksin, dan lainnya.

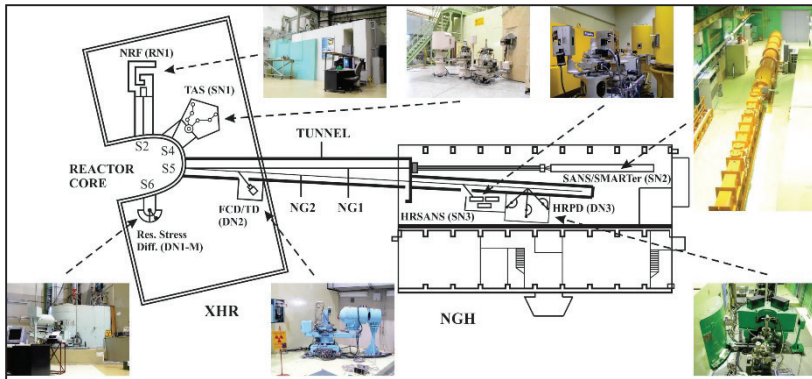
Salah satu metode untuk kajian struktur pada level molekuler ialah dengan memanfaatkan neutron yang dapat berasal dari reaksi pembelahan inti pada reaktor nuklir maupun akselerator. Fasilitas spektrometer neutron, pengembangan, dan pendayagunaan spektrometer *small-angle neutron scattering* (SANS) telah dimanfaatkan untuk riset biologi di Indonesia untuk kajian struktur 3 dimensi biomakromolekul dalam larutan, yang selanjutnya akan dijelaskan pada bab ini.

3.1 Neutron dan Hamburan Neutron

Sekitar tahun 1945, neutron mulai digunakan untuk eksperimen hamburan neutron (*neutron scattering*) oleh Clifford G. Shull dan Bertram N. Brockhouse dengan memanfaatkan berkas neutron yang dihasilkan dari reaktor nuklir. Kemudian, pada tahun 1994, keduanya dianugerahi hadiah Nobel bidang fisika atas penemuan dan pengembangan metode difraksi dan spektroskopi neutron dalam menentukan posisi dan dinamika atom dalam material padat terkondensasi (*condensed matter*)³⁸.

Berbeda dengan sinar-X yang telah digunakan terlebih dahulu untuk eksperimen difraksi dan spektroskopi, neutron

memiliki karakteristik khusus. Neutron tidak bermuatan sehingga memiliki daya tembus tinggi pada material yang diuji, panjang gelombang neutron sebanding dengan jarak antar atom dalam material, energi kinetik neutron sebanding dengan energi difusi dan vibrasi atom atau molekul maupun energi eksitasi magnetik, neutron berinteraksi dengan inti atom dan sensitif terhadap isotop, dan neutron memiliki dipol momen magnet yang sensitif terhadap medan magnet bahan. Hamburan neutron dibutuhkan untuk penelitian material maju dan biologi karena banyak fenomena baru yang dapat diungkap dalam mengkaji karakteristik material tersebut.



Gambar 3. Fasilitas Hamburan Neutron di Serpong¹¹

Oleh karena itu, sejak tahun 1970 telah dibangun beberapa sumber neutron dengan fluks tinggi (sekitar 10^{14} – 10^{15} n.cm⁻².s⁻¹) berbasis reaktor nuklir di berbagai negara, antara lain di Prancis (1971), Jerman (1972 dan 2004), Rusia (1978), Korea Selatan (1995), Australia (2007), dan China (2011)⁵⁵. Sumber neutron berbasis proton akselerator juga telah banyak dibangun untuk menghasilkan fluks neutron yang lebih tinggi (sekitar 10^{15} – 10^{18} n.cm⁻².s⁻¹), antara lain di Amerika Serikat (1977 dan 2006),

Inggris (1984), Swiss (1997), Jepang (2009), China (2018), dan Swedia (2020)⁵⁵. Seluruh fasilitas neutron yang dibangun tersebut dimanfaatkan untuk eksperimen hamburan neutron dalam rangka memenuhi kebutuhan riset material maju, termasuk biologi maupun industri.

Di Indonesia juga dibangun dan dioperasikan sebuah reaktor riset terbesar di kawasan Asia Tenggara pada tahun 1987, yaitu reaktor G. A. Siwabessy di Serpong berdaya termal 30 MW yang menghasilkan fluks neutron sekitar $2,5 \times 10^{14}$ n.cm⁻².s⁻¹. Adanya sumber neutron fluks tinggi memungkinkan dibangunnya fasilitas hamburan neutron dalam mendukung penelitian dan pengembangan material maju di Indonesia. Tiga difraktometer, tiga spektrometer, dan sebuah fasilitas radiografi neutron dibangun dan dioperasikan tahun 1992 (Gambar 3).

3.2 Pemberdayaan Spektrometer Neutron Hamburan Sudut Kecil

Semenjak fasilitas spektrometer neutron hamburan sudut kecil (SANS/SN2) terpasang di Balai Hamburan Neutron (*Neutron Guide Hall, NGH*) pada tahun 1992, sampai awal tahun 2000 alat tersebut belum terkalibrasi dan terstandarisasi dalam menghasilkan data. Untuk itu, kegiatan pemberdayaan spektrometer SANS secara intensif dilakukan selama kurun waktu lima tahun, yaitu tahun 2005–2009^{56,57,58,59} bekerja sama sama dengan International Atomic Energy Agency (IAEA)⁶⁰ dan Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI), Korea Selatan, melalui program *RCA Post-doctoral Fellow: Program The Development of Advanced Beam Technology and User Support* tahun 2006–2008¹². Selanjutnya, pada tahun 2009–2010 juga bekerja sama dengan Japan Atomic Energy Agency (JAEA),

Jepang, melalui program *MEXT Researcher Exchange Program: Protein Function Analysis using Neutron Scattering Data*⁶¹.

Uji banding performa spektrometer SANS di Serpong dengan yang ada di negara lain dilakukan dengan menggunakan beberapa sampel standar, yaitu serbuk *silver docosanoate/behenate* ($C_{22}H_{43}AgO_2$) untuk kalibrasi panjang gelombang, silika berpori (*porous silica*, Porasil CPG-10-75), kristal cair liotropik *sodium dodecyl sulfate* (SDS), *cetyltrimethyl-ammonium bromide* (CTAB), film blok kopolimer polistirena-*b*-poli(etilenpropilen) PS-PEP untuk *anisotropic scattering*, nanopartikel polistirena, serta paduan logam Cu(NiFe), CuCo, dan FeSiBNbCu untuk eksperimen hamburan magnetik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa performa spektrometer SANS di Serpong sebanding dengan spektrometer SANS yang ada di Australia, Jepang, India, Swiss, dan Jerman^{26,28,59}.

Peningkatan performa spektrometer SANS juga ditunjang dengan peningkatan performa dari perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) melalui perbaikan, penggantian, serta pengembangan dan implementasi sistem kendali, sistem data akuisisi, data reduksi, dan data analisis^{57,62}. Perangkat lunak yang diimplementasikan untuk reduksi dan analisis data hamburan menggunakan perangkat lunak yang telah dikembangkan dan digunakan komunitas internasional, antara lain GRASP dari Institut Laue-Langevin (ILL), Prancis⁶³; NIST-Igor dari National Institute of Standards and Technology (NIST), Amerika Serikat⁶⁴; dan SASfit dari Paul Scherrer Institute (PSI), Swiss⁶⁵; termasuk ATSAS dari EMBL, Jerman⁵¹ untuk rekonstruksi struktur 3 dimensi berbasis perhitungan *ab-initio*.

Seluruh capaian kinerja dari spektrometer SANS tersebut telah memberikan kesempatan yang luas bagi penelitian mahasiswa program sarjana^{66,67,68}, magister^{69,70,71,72}, dan doktoral^{73,74,75,76},

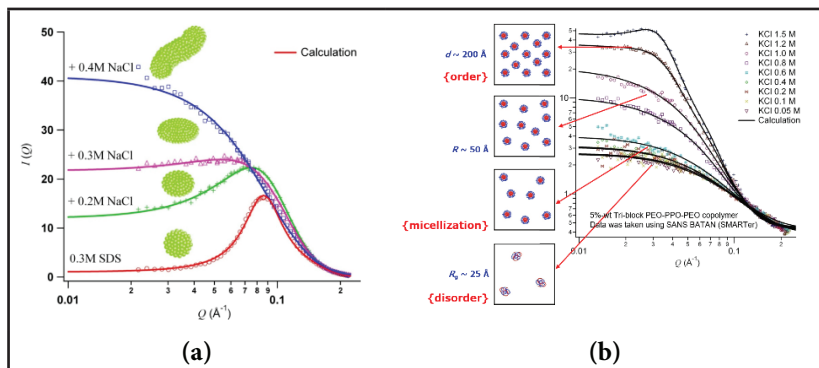
serta peneliti dari dalam negeri^{77,78}, maupun luar negeri, seperti Malaysia^{79,80,81,82} dan India^{83,84}. Kegiatan pemberdayaan ini juga telah menjadikan spektrometer SANS di Serpong menjadi fasilitas yang dimanfaatkan dan diacu secara global^{49,50}.

Untuk melakukan penelitian biologi struktur menggunakan metode SANS di Indonesia, masih perlu dilakukan pengembangan spektrometer SANS lebih lanjut. Pengembangan tersebut dilakukan dengan hibah dana penelitian dari IAEA dengan kegiatan *SANS BATAN: Improvement the Neutron Intensity by Focusing Optics* tahun 2007–2009 serta dari The World Academy of Sciences (TWAS) dengan kegiatan *SANS Studies on Biological Macromolecules* tahun 2009. Sebuah sistem pengendalian temperatur agar eksperimen biologi dalam larutan dapat dilakukan pada temperatur rendah (4°C) serta sistem neutron optik untuk memfokuskan berkas neutron telah meningkatkan intensitas neutron sebesar 2,5 kali lebih tinggi pada posisi sampel menggunakan 40 buah lensa optik *biconcave* MgF₂. Hal tersebut merupakan pengembangan lanjutan yang dilakukan⁵².

3.3 Analisis Nanostruktur Misel

Beberapa hasil investigasi nanostruktur misel dilakukan menggunakan surfaktan *sodium dodecyl sulfate* (SDS) dan *cetyltrimethylammonium bromide* (CTAB), maupun blok-kopolimer, seperti PEO-PPO-PEO (polietilenoksida-*b*-polipropilenoksida-*b*-polietilenoksida) terhadap perubahan kondisi larutan meliputi konsentrasi^{18,19}, interaksi ion akibat penambahan garam^{16,17}, interaksi intermolekuler²¹ dengan adanya senyawa alkohol²⁰, asam karboksilat, maupun senyawa alkana (minyak)^{13,14}. Struktur misel yang terbentuk menyerupai bola dengan diameter sekitar 2 nm, elips berbentuk *oblate* maupun *prolate*, silinder yang fleksibel, maupun menyerupai cacing (*worm-like micelle*) berdiameter sekitar 2 nm dengan panjang lebih dari 25 nm (Gam-

bar 4). Hasil analisis nanostruktur misel yang komprehensif dari penulis dan tim menjadi acuan peneliti internasional dan telah dipublikasikan dalam beberapa jurnal bereputasi tinggi lainnya^{85,86}.



Keterangan: Pada sistem kristal cair liotropik (a) sodium dodecyl sulfate, SDS dan (b) blok-kopolimer PEO-PPO-PEO pada sistem pembawa obat tertarget

Gambar 4. Analisis data hamburan sudut kecil dan model perubahan nanostruktur misel akibat penambahan konsentrasi garam^{17,27}

Mekanisme *self-assembly* dari surfaktan jenis baru dan kompleks, yaitu seri surfaktan kationik gemini 12-s-12 α,ω -dibromoalkanes dan N,N,N',N'-tetramethylethylenediamine, juga telah diinvestigasi dengan metode SANS dan NMR 2 dimensi. Kerja sama penelitian internasional dari penulis telah memberikan dasar pemahaman mekanisme *self-assembly* makromolekul serta evolusi transisi struktur misel. Hasil ini sekaligus menjadi referensi model biomakromolekul untuk pengembangan sistem pembawa obat-obatan tertarget dalam berbagai kondisi larutan, antara lain senyawa aditif⁸⁷, ion⁸⁸, garam⁸⁹, dan lainnya yang

merupakan fenomena kimia fisika makromolekul dalam larutan^{90,91}.

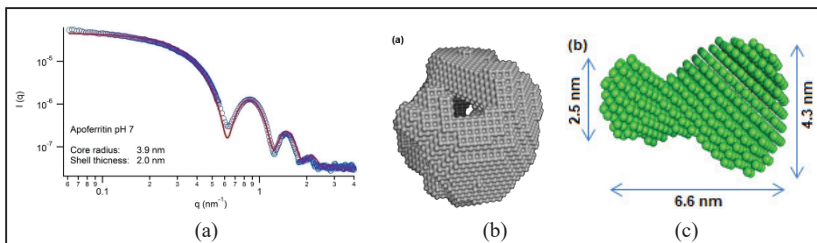
Analisis struktur bertingkat (*hierarchical structures*) dari struktur kompleks amfifilik *n*-dodecyl- β -D-maltoside memiliki struktur berlapis (bertingkat). Protein kapsid sebagai cangkang (*shell*) mengungkus material genetik pada intinya (*core*), seperti struktur sebuah virus juga telah dilakukan¹⁵. Analisis struktur bertingkat tersebut hanya dapat dilakukan dengan menerapkan metode variasi kontras, yaitu rasio campuran dari H₂O (air)/D₂O (air berat) sebagai pelarut. Eksperimen neutron dilakukan dalam tiga komposisi pelarut yang berbeda, yaitu air (H₂O), campuran 1:1 D₂O/H₂O (v/v), dan air berat (D₂O). Penelitian ini menunjukkan keunggulan dari metode, prosedur eksperimen, dan analisis data SANS yang digunakan penulis dan tim dalam mengelucidasi struktur kompleks makromolekul atau biomakromolekul sesuai dengan peta jalan penelitian biologi struktur di Indonesia⁴⁰.

3.4 Analisis Nanostruktur Protein Larutan

Protein *bovine serum albumin* (BSA) banyak digunakan sebagai model kajian struktur biologi. Dalam larutan fisiologisnya di pH 7, BSA memiliki struktur globular yang makin kompak dengan makin tingginya ion OH⁻ di permukaan protein. Struktur alami BSA tersebut lebih menjadi terbuka dengan makin tingginya ion H⁺ di permukaan protein yang menyebabkan penurunan solvasi air. BSA yang terdiri dari 6 subdomain dibangun dengan konformasi α -helix, memiliki struktur silinder fleksibel pada pH rendah, dianalogikan sebagai pembukaan subdomain BSA dengan kehilangan struktur tersiernya²⁴. Struktur silinder fleksibel BSA yang terbuka pada pH rendah akan memiliki struktur globular kembali dengan penambahan aditif organik, seperti sorbitol. Namun, struktur globular yang dihasilkan tidak identik dengan struktur

globular alaminya, seperti dalam larutan fisiologis pH 7. Sekalipun proses *self-assembly* intramakromolekul merupakan proses yang *reversible*, interaksi yang terjadi dapat menyebabkan ketidakcocokan (*mismatch*) struktur yang terbentuk²⁴. Hal inilah yang dapat menimbulkan gangguan fungsi dari sistem biologi.

Apoferritin merupakan biomakromolekul yang kompleks, terdiri dari 24 subunit protein yang dapat mengikat dan menyimpan ion Fe. Apoferritin digunakan sebagai model untuk mempelajari *self-assembly* sebuah nanopartikel dengan struktur inti-cangkang (*core-shell*), seperti kapsid protein virus, *virus-like particles*. Apoferritin terdisosiasi menjadi monomer di pH rendah untuk memasukan obat ke bagian dalam intinya dan dapat berasosiasi secara reversibel dalam pH netral. Disosiasi dan asosiasi subunit apoferritin dalam larutan telah dikonfirmasi menggunakan SANS serta data analisisnya²⁵ (Gambar 5).



Keterangan: (a) Hasil analisis data pola hamburan sudut kecil untuk (b) rekonstruksi model struktur 3-dimensi apoferritin pada pH 7 yang memiliki struktur *core-shell* berdiameter 12 nm serta diameter rongga 8 nm dan (c) struktur terbuka pada pH 1,9

Gambar 5. Disosiasi dan asosiasi subunit apoferritin dalam larutan menggunakan SANS dan data analisisnya²⁵

Sampai saat ini, tuberkulosis (TB) yang disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis* (M.tb) masih menjadi salah satu ancaman paling serius bagi kesehatan di Indonesia

dan dunia⁹². Hal ini disebabkan adanya resistansi terhadap obat anti tuberkulosis yang digunakan. Untuk mengatasi timbulnya resistansi obat tersebut, dilakukan pengembangan kandidat obat tuberkulosis baru, *anti-tubercular*, seperti yang dilakukan oleh tim dari Institut Teknologi Bandung (ITB)⁹². Kerja sama penelitian dilakukan untuk karakterisasi protein membran PhoP–PhoR histidine kinase dari *Mycobacterium tuberculosis* (M.tb)³⁰ yang memiliki fungsi mengatur proses virulensi, yaitu ekspresi lebih dari 110 gen penyebab penyakit TB. Kegiatan riset ini juga bekerja sama dengan Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO), Australia, melalui program *Research and Innovation in Science and Technology Project* (RISET-Pro) dari Kementerian Riset dan Teknologi (Kemristek) dengan topik kegiatan “*Biophysical Study on Virus Like Particle for Targeted Drug and Vaccine Development by Neutron Scattering*”.

Hasil analisis pemodelan protein PhoR pada M.tb belum dapat dilakukan secara akurat karena analisis data hamburan yang diperoleh belum menunjukkan *native structure* protein PhoR di dalam larutan, melengkapinya struktur kristalografinya. Penelitian serupa dilakukan kemudian oleh tim peneliti dari Amerika Serikat dan berhasil mendapatkan data protein PhoP-PhoR dengan struktur domain dimer, di mana setiap subunit terdiri dari dua antiparalel heliks dihubungkan oleh *loop* lima residu asam amino berdasarkan data kristalografinya⁹³. Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan lebih lanjut untuk mengetahui interaksi protein PhoP-PhoR yang terjadi di dalam *native solution* dengan kandidat bahan obat yang efektif mengatasi penyakit tuberkulosis menggunakan metode hamburan sudut kecil yang dapat dilakukan di Indonesia.

IV. PEMANFAATAN NUKLIR UNTUK INOVASI NANO-BIOTEKNOLOGI DI INDONESIA

Secara umum, pemanfaatan nuklir di bidang biologi, bioteknologi, dan nano-bioteknologi di Indonesia masih sebagai senyawa perunut atau penanda (*tracer/labelling*), termasuk untuk mutasi gen, diagnostik, dan terapeutik⁹⁴. Salah satu contohnya ialah pemanfaatan terbatas radiasi gamma untuk pengembangan vaksin. Dengan dosis yang tepat, radiasi gamma dapat menghancurkan atau menonaktifkan material genetik virus tanpa merusak protein antigen permukaan untuk menghasilkan nonaktif virus atau virus yang dilemahkan (*inactivated/attenuated vaccine*). Metode ini telah menjadi teknologi yang rutin dalam industri vaksin di dunia⁵³. Namun, untuk teknologi pengembangan vaksin yang lebih maju, seperti berbasis rekombinan RNA (mRNA) atau *virus like particles*, membutuhkan riset biologi struktur dalam larutan menggunakan berkas neutron, baik dari reaktor nuklir maupun partikel akselerator, termasuk radiasi *synchrotron* sinar-X.

Saat ini, hamburan neutron, khususnya SANS, telah berkontribusi secara langsung dalam pengembangan vaksin COVID-19 berbasis rekombinan RNA (mRNA). Vaksin ini diproduksi oleh perusahaan farmasi Pfizer⁵³ yang bekerja sama dengan perusahaan bioteknologi BioNTech di Jerman dengan memanfaatkan spektrometer SANS di Jülich Center for Neutron Science (JCNS)⁵⁴. Keberhasilan pengiriman mRNA, ekspresi dan *self-assembly* protein yang terjadi di dalam sel dengan respons inflamasi yang minimal setelah vaksin diinjeksikan, menjadi kunci efektivitas vaksin yang dikembangkan. Kajian tersebut hanya mungkin dapat dilakukan dengan SANS menggunakan

sampel larutan yang memiliki kondisi alami seperti dalam sel (*native environment*).

Dalam era *post genomics* saat ini, rekayasa protein, gen (DNA/RNA), maupun biomakromolekul lainnya yang merupakan aplikasi bioteknologi atau nano-bioteknologi, ialah sebuah teknologi masa depan dengan aplikasi yang sangat luas dan menjanjikan, khususnya di bidang kesehatan⁹⁵. Hasil-hasil riset dasar biologi struktur yang telah dilakukan, baik memanfaatkan berkas neutron dari reaktor serbaguna G. A. Siwabessy (RSG-GAS) di Serpong maupun berkas sinar-X dari fasilitas *synchrotron* di Thailand, memberikan potensi yang jauh lebih besar untuk dapat berkontribusi dalam riset dan inovasi teknologi pengembangan obat, vaksin, atau produk-produk bioteknologi maupun nano-bioteknologi lainnya di Indonesia.

Kajian struktur 3 dimensi biomakromolekul dalam skala nanometer telah dilakukan secara bertahap, mulai dari sistem yang sederhana hingga kompleks dari hasil eksperimen hamburan sudut kecil dalam larutan, seperti kondisi di dalam sel maupun virus. Pemahaman yang diperoleh telah memberikan pengayaan pengetahuan bagi para peneliti dalam mendapatkan gambaran secara utuh fenomena *self-assembly* dan dinamika biomakromolekul di dalam larutan secara *in situ* dan *real time*, seperti halnya pengetahuan dasar terkait pengembangan vaksin mRNA yang dilakukan oleh BionTech.

Keanekaragaman hayati Indonesia yang sangat besar, terkait varian lokal (*local strain*) seperti pada virus, bakteri, parasit, dan jamur, memberikan potensi untuk dimanfaatkan seluas-luasnya sebagai bahan sistem pengembangan obat tertarget, pengobatan presisi (*precision medicines*), maupun vaksin. “Bottom-up” nano-bioteknologi melalui mekanisme *self-assembly* protein seperti kapsid protein virus atau *virus-like particles* merupakan

salah satu teknologi pembuatan vaksin di masa depan. Produksi *virus-like particles* secara *in vitro* sangat menjanjikan karena lebih efisien secara teknologi dan lebih aman. Selain itu, tidak ada kontaminasi material genetik yang dapat menimbulkan reaksi terhadap sistem imun dari si penderita.

Riset untuk pengembangan vaksin seperti *virus-like particles* maupun mRNA di Indonesia sangatlah besar. Hal ini sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*, SDGs) bidang kesehatan, khususnya di Indonesia, bahwa tahun 2030 secara global termasuk Indonesia sudah harus mengakhiri epidemi AIDS, tuberkulosis, malaria, hepatitis, dan penyakit tropis lainnya, termasuk memerangi penyakit menular dan tak menular lainnya.

Untuk itu, kolaborasi interdisiplin bidang keilmuan menjadi kunci bagi pemanfaatan hamburan sudut kecil, baik neutron maupun *synchrotron* sinar-X, secara lebih luas. Penguatan kolaborasi riset oleh ahli dari bidang berbagai keilmuan, seperti biologi molekuler, biofisika, kedokteran, material, termasuk periset hamburan neutron maupun *synchrotron* sinar-X dibutuhkan dalam rangka melakukan riset dan inovasi teknologi pembuatan obat dan vaksin baru, termasuk pemanfaatan eksplorasi keanekaragaman hayati Indonesia.

V. KESIMPULAN

Sebagai satu-satunya fasilitas nasional untuk karakterisasi material yang didukung sumber daya manusia serta capaian-capaian teknis dan ilmiahnya, metode hamburan neutron, khususnya hamburan sudut kecil, dapat menjadi metode yang memungkinkan mendukung riset maupun inovasi di bidang nanoteknologi, bioteknologi, dan nano-bioteknologi di Indonesia maupun global.

Kerja sama dengan perguruan tinggi maupun lembaga riset, baik dalam dan luar negeri perlu dikuatkan tidak hanya dengan kegiatan risetnya, tetapi juga program pengembangan kompetensi (*capacity building*) sumber daya manusia melalui pendidikan dan pelatihan terstruktur. Termasuk membangun komunitas ilmiah terkait pemanfaatan nuklir (hamburan neutron), khususnya sebagai pengetahuan dasar di bidang biologi, biokimia, mikrobiologi, molekuler biologi, biofisika, dan aplikasinya di era *post genomics* ini.

Keanekaragaman hayati yang sangat besar, terkait “*local strain*” virus, bakteri, parasit, jamur, dan biomakromolekul lainnya pada manusia, hewan, maupun tumbuhan di Indonesia merupakan potensi yang sangat besar untuk diinvestigasi. Investigasi tersebut dapat menjadi data ilmiah untuk dikontribusikan ke basis data the Small Angle Scattering Biological Data Bank (SASBDB) (<https://www.sasbdb.org/>). Basis data tersebut terbuka dan dapat digunakan secara luas sekaligus melengkapi basis bank data kristalografi struktur protein (<https://www.rcsb.org/>). Basis data berguna untuk kebutuhan penelitian dasar hingga aplikasi di bidang farmasi atau kedokteran dalam pengembangan obat, vaksin, dan lainnya sebagai kontribusi Indonesia di komunitas ilmiah dunia.

VI. PENUTUP

Vaksin merupakan salah satu produk nano-bioteknologi yang teknologinya mengalami perkembangan pesat karena lebih dari 90% penyakit pada manusia disebabkan oleh virus. Selain memiliki tantangan dalam pengembangan dan inovasinya, vaksin juga memiliki nilai ekonomi sangat tinggi. Adanya pandemi COVID-19 telah mendorong pengembangan vaksin akibat virus SARS-CoV-2 yang berbasis rekombinan RNA maupun metode konvensional lainnya di seluruh dunia. Biaya yang harus dikeluarkan untuk menghadapi pandemi COVID-19 mencapai sekitar 23,4 miliar dollar Amerika atau lebih dari 337 triliun rupiah untuk penyediaan vaksin,antisipasi hingga September 2022⁹⁶. Aplikasi teknik nuklir, yaitu hamburan neutron, telah menunjukkan kontribusinya secara langsung dan sangat penting dalam keberhasilan pengembangan vaksin COVID-19 tersebut.

Dengan demikian, pemanfaatan teknik nuklir, yaitu hamburan neutron di Indonesia, di bidang nano-bioteknologi memiliki prospek yang sangat menjanjikan, tidak hanya dari sisi ilmiahnya, yaitu pemahaman struktur, dinamika, dan fungsi biomakromolekul dalam teknologi pengembangan obat, vaksin, *nanomedicines*, biosensor, maupun aplikasi lainnya, tetapi juga memiliki potensi nilai ekonomi yang sangat tinggi. Kerja sama serta sinergi yang kuat para ahli bioteknologi, biologi molekuler, biokimia, farmasi, biofisika, fisika, dan *stakeholder* terkait lainnya dibutuhkan dalam membangun ekosistem riset dan inovasi dalam bidang kesehatan melalui inovasi teknologi obat maupun vaksin sebagai implementasi teknik nuklir.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ungkapan rasa syukur saya panjatkan kepada Allah Swt. karena dengan rahmat dan izin-Nya, saya dapat mencapai jenjang Peneliti Ahli Utama dan menyelesaikan orasi untuk Pengukuhan Profesor Riset hari ini.

Penghargaan dan ucapan terima kasih yang setinggi-tingginya saya haturkan kepada Presiden Republik Indonesia, Ir. H. Joko Widodo; Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Dr. Laksana Tri Handoko, M.Sc.; Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Prof. Dr. Bambang Subiyanto, M. Agr, beserta Sekretaris, Prof. Dr. Ir. Gadis Sri Haryani. Saya menyampaikan ucapan terima kasih kepada tim penelaah naskah orasi, Prof. Dr. Ridwan (BRIN), Prof. Dr. Mukh. Syaifuddin (BRIN), dan Prof. Dr. Zeily Nurachman (ITB).

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Pimpinan BRIN, tim penelaah naskah orasi di Organisasi Riset Tenaga Nuklir BRIN, yaitu Prof. Dr. Evvy Kartini, Prof. Ishak, Prof. Yohanes Sardjono, pimpinan di Organisasi Riset Tenaga Nuklir, Plt. Kepala Biro Organisasi dan Sumber Daya Manusia (BOSDM), serta seluruh panitia atas kesempatan, bantuan, dan kerja sama yang diberikan untuk pelaksanaan acara Pengukuhan Profesor Riset hari ini.

Hormat dan terima kasih saya haturkan juga kepada guru-guru yang telah mengajarkan dan memberikan pendidikan secara tulus dari pendidikan dasar hingga pendidikan tinggi serta di lingkungan kerja. Kepada Alm. Prof. Dr. Marsongkohadi, Dr. Harjoto Djojosebroto, Prof. Goran Ungar, Dr. Abarrul Ikram, Dr. P.S. Goyal yang telah banyak mengajarkan saya untuk terus berkomitmen di nuklir, khususnya di bidang hamburan neutron.

Prof. Dr. Ir. Djarot S. Wisnuboroto (Kepala BATAN tahun 2012–2018) dan Prof. Dr. Ir. Anhar Riza Antariksawan (Kepala BATAN tahun 2019–2021) yang senantiasa memberikan izin kepada saya untuk tetap melakukan eksperimen dan penelitian di luar negeri selama saya menjabat sebagai pejabat struktural.

Capaian dan keberhasilan yang saya peroleh hari ini tentunya tidak terlepas dari doa-doa tulus yang dipanjatkan dari kedua orang tua saya tercinta. Semoga kebahagiaan dan kebanggaan itu juga dapat dirasakan oleh kedua almarhum Bapak kami tercinta. Kepada istri dan putra tercinta, terima kasih karena selalu memberikan semangat, keceriaan, tempat berdiskusi, dan sumber inspirasi saya untuk bisa menyelesaikan orasi ini, juga kepada kakak-kakak atas dukungan dan doanya.

Terima kasih dan penghargaan yang tinggi saya sampaikan kepada rekan-rekan di Laboratorium Hamburan Neutron, khususnya Alm. Bapak Yohanes A. Mulyana, Alm. Bapak Sutiarto, Bapak Gunawan, Bapak Eddy Santoso, Sdr. Indarto P. Utomo, Sdr. Nadi Suparno, Sdr. Bharoto, dan Sdri. Arum Patriati yang telah banyak membantu kelancaran tugas-tugas saya sebagai *instrument scientist* di alat SANS maupun penelitian hamburan neutron-makromolekul. Juga kepada kolega saya, yaitu Prof. H. Hasegawa (Jepang), Prof. Dr. Abdul Aziz Mohammed (Malaysia), Dr. Somchai S. (Thailand), Dr. Siritwat S. (Thailand), Prof. Bahadur (India), Dr. Vinod K. Aswal (India), Dr. Robert Knott (Australia), Dr. Anna Sokolova (Australia), Dr. Baek S. Seong (Korea Selatan), serta kolaborator dari Indonesia, yaitu Dr. Arief Budi Witarto (LIPI), Dr. Ernawati Arifin (ITB), Prof. Dr. Darminto (ITS) dan Dr. Ahmad Taufiq (UM) atas kerja sama riset dan publikasinya. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada keluarga besar PRTBMN (PSTBM) dan Poltek Nuklir/STTN.

DAFTAR PUSTAKA

1. Setiadi W, Rozi IE, Safari D, Daningrat WOD, Johar E, Yohan B, Yudhaputri FA, Lestari KD, Oktavianthi S, Myint KSA, Malik SG, Soebandrio A. Prevalence and epidemiological characteristics of COVID-19 after one year of pandemic in Jakarta and neighbouring areas, Indonesia: A single center study. *PLoS ONE* 2022; 17(5): e0268241.
2. Rossa AGP, Croweb SM, Tyndallc MW. Planning for the next global pandemic. *International Journal of Infectious Diseases* 2015; 38: 89–94.
3. Burrell CJ, Howard CR, Murphy FA. Fenner and White's Medical Virology. 5th Edition, Academic Press 2016; 155–167.
4. Kelsall RW, Hamley IW, Geoghegan M, editors. Nanoscale science and technology. John Wiley & Sons, Ltd; 2005.
5. Subramani K, Ahmed W. Self-assembly of proteins and peptides and their applications in bionanotechnology and dentistry in emerging nanotechnologies in dentistry. *Micro and Nano Technologies* 2018; 231–249.
6. Le DT, Müller KM. In vitro assembly of virus-like particles and their Applications. *Life* 2021; 11(4); 334.
7. Grillo I. Small-angle neutron scattering and applications in soft condensed matter. In *Soft Matter Characterization*. Springer; 2005: 723–782.
8. Melnichenko YB, Wignall GD. Small-angle neutron scattering in materials science: Recent Practical Applications. *J. Appl. Phys.* 2007; 102: 021101.
9. Narayanan T. Synchrotron small-angle x-ray scattering. In *Soft Matter Characterization*. Dordrecht: Springer; 2008.
10. Ikram A. Indonesia: Neutron scattering facility in Serpong. *Neutron News* 2006; 17(4); 12–17.

11. Fajar A, Gunawan, Maulana A, Muslih MR, Priyanto TH, **Putra EGR**, Sumirat I, Sutiarmo. Neutron scattering in Indonesia: The facility and activity. *Hamon* 2010; 20(4): 292–301.
12. **Putra EGR**, Seong BS, Shin E, Ikram A, Ani SA, Darminto. Fractal structures on Fe_3O_4 ferrofluid: A small-angle neutron scattering study. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2010; 247: 012028.
13. **Putra EGR**, Ikram A, Seong BS. Micelle structural studies on oil solubilization studies by small-angle neutron scattering. *Nucl. Instrum. Methods. Phys. Res. A* 2009; 600(1): 291–293.
14. **Putra EGR**, Ikram A, Aswal VK. Effect of varying additives on aqueous solution of PEO-PPO-PEO tri-block copolymer. *AIP Conference Proceeding* 2008; 989: 273–276
15. **Putra EGR**, Ikram A. A 36 m SANS BATAN spectrometer (SMARTer): Probing n-dodecyl-b-D-maltoside micelles structures by a contrast variation. *Nucl. Instrum. Methods. Phys. Res. A* 2009; 600(1): 288–290.
16. **Putra EGR**, Ikram A. Nanostructure and growth of cetyltrimethylammonium bromide micelles determination using small angle neutron scattering (SANS) Technique. *Journal of Nuclear and Related Technology* 2008; 5(1): 45–52.
17. Patriati A, **Putra EGR**. Ellipsoid to worm-like micelle structure transition revealed by small-angle neutron scattering technique. *The Proceeding of the 2nd International Conference on Mathematics and Natural Sciences (ICMNS) 2008*, Institut Teknologi Bandung, 2008; 805–811.
18. **Putra EGR**, Ikram A. Nanosize structure of self-assembly sodium dodecyl sulfate: A study by small angle neutron scattering (SANS). *Indones. J. Chem.* 2006; 6(2): 117–120.
19. Patriati A, **Putra EGR**. Kajian transisi struktur misel pada larutan natrium dodesil sulfat konsentrasi rendah dengan teknik hamburan neutron sudut kecil. *Jurnal Sains Materi Indonesia* 2008; Edisi Khusus: 282–285.

20. **Putra EGR**, Patriati A. Structural and phase transition changes of sodium dodecyl sulfate micellar solution in alcohols probed by small-angle neutron scattering (SANS). AIP Conference Proceedings 2015; 1656: 020001-1-020001-6.
21. Patriati A, **Putra EGR**, Seong BS. Effect of a long chain carboxylate acid on sodium dodecyl sulfate micelle structure: A SANS study. AIP Conference Proceedings 2010; 1202: 40–43.
22. Patriati A, **Putra EGR**. pH dependent structures of bovine serum in solution by small angle neutron scattering. Jurnal Teknologi 2021; 83(2): 117–123.
23. Rahayu D, Patriati A, Suparno N, **Putra EGR**. SANS studies on the bovine serum albumin denaturation in the presence of SDS. Jurnal Sains Materi Indonesia 2021; 22(1): 46–51.
24. Patriati A, Suparno N, **Putra EGR**. Bovine serum albumin refolding at acid solution by small angle neutron scattering. J. Phys.: Conf. Ser. 2021; 1825(1): 012051.
25. Patriati A, Suparno N, Sulungbudi GT, Mujamilah M, **Putra EGR**. Structural change of apoferritin as the effect of pH change: DLS and SANS Study. Indones. J. Chem. 2020, 20(5), 1178–1183.
26. **Putra EGR**. Small-angle neutron scattering (SANS) facility at BATAN for nanostructure studies in materials science and biology. AIP Conference Proceedings 2010; 1202: 14–20.
27. **Putra EGR**, Patriati A. Structural studies of hard and soft matter using a 36-meter small-angle neutron Scattering BATAN spectrometer (SMARTer) in Serpong, Indonesia. Hamon 2010; 20(2): 128–132.
28. **Putra EGR**, Ikram A. SMARTer for materials science and biology researches. Neutron News 2008; 19(4): 28–33.
29. **Putra EGR**, Bharoto, Santoso E, Mulyana YA. Scientific review: Small angle neutron scattering spectrometer (SMARTer) for nanostructure studies of soft condensed matter. Neutron News 2007; 18(1): 23–29.

30. Giri-Rachman EA, Pratama F, Aji OR, Patriati A, Ihsanawati I, Moeis MR, **Putra EGR**. Expression and purification of PhoR sensor-domain histidine kinase of mycobacterium tuberculosis in *Escherichia coli*. *Microbiology Indonesia* 2015; 9(2): 51–57.
31. Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 2 Tahun 2015. Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional Tahun 2015–2019; Buku II Agenda Pembangunan Bidang, dan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2020 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional Tahun 2020–2024.
32. Buzón P, Maity S, Roos WH. Physical virology: From VIRUS SELF-ASSEMBLY TO PARTICLE MEchanics. *WIREs Nanomed Nanobiotechnol.* 2020; 12(4): e1613.
33. Serdyuk IN, Zaccai NR, Zaccai J, editors. *Methods in molecular biophysics: Structure, dynamics, function.* 1st Edition. Cambridge University Press; 2007.
34. Fitter J, Gutberlet T, Katsaras J. editors. *Neutron scattering in biology techniques and applications.* Springer-Verlag; 2006.
35. Svergun DI, Koch MHJ, Timmins PA, May RP, editors. *Small angle x-ray and neutron scattering from solutions of biological macromolecules.* IUCr Monographs on Crystallography. Oxford University Press; 2013.
36. Wang L, Sun Y, Li Z, Wu A, Wei G. Bottom-up synthesis and sensor applications of biomimetic nanostructures. *Materials* 2016; 9(1): 53.
37. Dahman Y. Self-assembling nanostructures in nano-technology and functional materials for engineers. *Micro and Nano Technologies* 2017; 207–228.
38. Nobel Prize Outreach AB 2022. Nobel Prizes and Laureates. [Accessed 2021 Jul 12]. Available from: <https://www.nobelprize.org/prizes/>
39. Guinier A, Fournet G. *Small-angle scattering of x-rays.* New York: Wiley; 1955.

40. **Putra EGR**, Patriati A, A new era of BATAN's small-angle neutron scattering facility on nanoscience research in life science. Makalah dipresentasikan dalam International Conference on Materials Science and Technology 2010; 2010 Okt 20–22; Graha Widya Bakti Puspiptek, Serpong (Indonesia).
41. Lombardo D, Kiselev MA, Magazù S, Calandra P. Amphiphiles self-assembly: Basic concepts and future perspectives of supra-molecular approaches. *Advances in Condensed Matter Physics* 2015; 151683.
42. Alford A, Kozlovskaya V, Kharlampieva E. Small angle scattering for pharmaceutical applications: From drugs to drug delivery systems in biological small angle scattering: techniques, strategies and tips. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. Springer Nature Singapore Pte Ltd.; 2017.
43. Dierking I, Neto AMF. Novel trends in lyotropic liquid crystals. *Crystals* 2020; 10(7): 604.
44. McManus JJ, Charbonneau P, Zaccarelli E, Asherie N. The physics of protein self-assembly. *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 2016; 22: 73–79.
45. Ruigrok RWH, Krygsman PCJ, Mellema JE. Structure and composition of influenza virus a small-angle neutron scattering study. *J. Mol. Biol.* 1985; 186(3): 565–582.
46. Tagliamonte M, Tornesello ML, Buonaguro FM, Buonaguro L. Chapter eleven: Virus-like particles. *Micro and Nano Technologies, Micro and Nanotechnology in Vaccine Development*. William Andrew Publishing; 2017: 205–219.
47. Jacques DA, Trewhella J. Small-angle scattering for structural biology-Expanding the frontier while avoiding the pitfalls. *Protein Science* 2010; 19(4): 642–657.
48. Chaudhuri BN. Emerging Applications of Small Angle Solution Scattering in Structural Biology. *Protein Science* 2015; 24(3): 267–276.

49. Heller WT, Littrell KC. Small-angle neutron scattering for molecular biology: Basics and instrumentation. In *Micro and Nano Technologies in Bioanalysis. Methods in Molecular Biology™*, Totowa, NJ, Humana Press; 2009; 544: 293–305.
50. Thakral S, Kim K. Small-angle scattering for characterization of pharmaceutical materials. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 2021; 134: 116144.
51. Manalastas-Cantos K, Konarev PV, Hajizadeh NR, Kikhney AG, Petoukhov MV, Molodenskiy DS, Panjkovich A, Mertens HDT, Gruzinov A, Borges C, Jeffries CM, Svergun DI, Franke D. AT-SAS 3.0: Expanded functionality and new tools for small-angle scattering data analysis. *J. Appl. Cryst.* 2021; 54(1): 343–355.
52. **Putra EGR**, Bahrum ES, Maulana A, Sairun. Development of focusing neutron small-angle scattering spectrometer in Serpong, Indonesia for macromolecular structure investigation. *Chinese Journal of Physics* 2012; 50(2): 193–203.
53. Kyriakidis NC, López-Cortés A, González EV, Grimaldos AB, Prado EOP. SARS-CoV-2 vaccines strategies: a comprehensive review of phase 3 candidates. *npj Vaccines* 2021; 28.
54. Siewert CD, Haas H, Cornet V, Nogueira SS, Nawroth T, Uebbing L, Ziller A, Al-Gousous J, Radulescu A, Schroer MA, Blanchet CE, Svergun DI, Radsak MP, Sahin U, Langguth P. Hybrid biopolymer and lipid nanoparticles with improved transfection efficacy for mRNA. *Cells.* 2020; 9(9): 2034.
55. Siewert C, Haas H, Nawroth T, Ziller A, Nogueira SS, Schroer MA, Blanchet CE, Svergun DI, Radulescu A, Bates F, Huesemann Y, Radsak MP, Sahin U, Langguth P. Investigation of charge ratio variation in mRNA–DEAE-dextran polyplex delivery systems, *Biomaterials* 2019; 192: 612–620.
56. **Putra EGR**, Bharoto, Santoso E, Ikram A. Improved Performances of 36 m small-angle neutron scattering spectrometer BATAN in Serpong Indonesia. *Nucl. Instrum. Methods. Phys. Res. A* 2009; 600(1): 198–202.

57. Santoso E, **Putra EGR**. Design and construction of the control system for BATAN small angle neutron scattering spectrometer (SMARTer). *Atom Indonesia* 2008; 34(2): 79–88.
58. **Putra EGR**, Ikram A, Bharoto, Santoso E. Wavelength calibration and instrumental resolution of 36m SANS BATAN (SMARTer) using silver behenate powder. *Journal of Nuclear and Related Technology* 2008; 5(2): 57–65.
59. **Putra EGR**, Ikram A, Santoso E, Bharoto. Performance of 36 meter small angle neutron scattering at Batan–Serpong Indonesia. *J. Appl. Crystallogr.* 2007; 40(s1): s447–s452.
60. **Putra EGR**, Ikram A, Kohlbrecher J. SMARTer for magnetic structure studies. *Pramana* 2008; 71(5): 1015–1020.
61. **Putra EGR**, Kono H, Tokuhisha A, Bahrum ES, Patriati A. Protein Conformation and its dynamics in solution by molecular dynamics simulation for small-angle neutron scattering data analysis. Makalah dipresentasikan dalam International Conference on Materials Science and Technology 2010; 2010 Okt 20–22; Graha Widya Bakti Puspiptek, Serpong (Indonesia).
62. Bharoto, **Putra EGR**. A new control system software for SANS BATAN spectrometer in Serpong, Indonesia. *AIP Conference Proceedings* 2010; 1244: 204–211.
63. Dewhurst CD. (2001) GRASansP: graphical reduction and analysis SANS program. Insitut Laue-langevin. Available from: <http://www.ill.eu/lss/grasp/>
64. Kline SR. Reduction and analysis of SANS and USANS data using IGOR Pro. *J. Appl. Cryst.* 2006; 39: 895–900.
65. Breßler I, Kohlbrecher J, Thünemann AF. SASfit: A tool for small-angle scattering data analysis using a library of analytical expressions. *J. Appl. Cryst.* 2015; 48: 1587–1598.
66. Fitria G, Patriati A, Mujamilah, Prihatiningsih MC, **Putra EGR**, and Soontaranon S. Hierarchical structure of magnetic nanoparticles- Fe_3O_4 -ferrofluids revealed by small angle x-ray scattering. *Indones. J. Chem.* 2021; 21(3): 635–643.

67. Hadi S, Suryajaya, Wijaya I, Rahmandari A, Prihatiningsih MC, Prasetyo I, Patriati A, **Putra EGR**, Soontaranon S. The analysis of hierarchical structure of mesoporous silica in nanometer scale by small angle scattering method. *Atom Indonesia* 2018; 44(1): 9–15.
68. Sari W, Fitriyani D, **Putra EGR**, Mohamed AA, Ibrahim N. Fractal structures on silica aerogels containing titanium: A small angle neutron scattering study. *AIP Conference Proceedings* 2010; 1202: 185–188.
69. Ani SA, Pratapa S, Purwaningsih S, Triwikantoro T, Darminto D, **Putra EGR**, Ikram A. Size and correlation analysis of Fe_3O_4 nanoparticles in magnetic fluids by small-angle neutron scattering. *AIP Conference Proceeding* 2008; 989: 176–179.
70. **Putra EGR**, Ikram A, Bharoto, Santoso E, Chiar Fang T, Ibrahim B, Mohamed AA. Fractal studies on titanium-silica aerogels using SMARTer. *AIP Conference Proceeding* 2008; 989: 130–133.
71. Razali R, **Putra EGR**, Mohamed AA, Abd. Majid WH, Wan Abdullah WAT, Ibrahim ZA. Investigations on fractal nanostructure of zinc oxide by small angle neutron scattering (SANS). *Advanced Materials Research* 2014; 895: 531–534.
72. Ani SA, Darminto, and **Putra EGR**. Particle size distribution models of small angle neutron scattering pattern on ferrofluids. *AIP Conference Proceedings* 2010; 1202: 73–76.
73. Taufiq A, Sunaryono S, Hidayat N, **Putra EGR**, Okazawa A, Watanabe I, Kojima N, Pratapa S, Darminto D. Nanostructure and magnetic field ordering in aqueous Fe_3O_4 ferrofluids: A small-angle neutron scattering study. *Atom Indonesia* 2019; 45(3): 165–172.
74. Taufiq A, Sunaryono S, Hidayat N, Hidayat A, **Putra EGR**, Okazawa A, Wataabe I, Kojima N, Pratapa S, Darminto D. Studies on nanostructure and magnetic behaviors of Mn-doped black iron oxide magnetic fluids synthesized from iron sand. *Nano* 2017; 12(09): 1750110.

75. Taufiq A, Sunaryono S, **Putra EGR**, Okazawa A, Watanabe I, Kojima N, Pratapa S, Darminto D. Nanoscale clustering and magnetic properties of $Mn_xFe_{3-x}O_4$ particles prepared from natural magnetite. *J. Supercond. Nov. Magn.* 2015; 28(9): 2855–2863.
76. Taufiq A, Sunaryono, **Putra EGR**, Suminar P, Darminto . Nano-structural studies on Fe_3O_4 particles dispersing in a magnetic fluid using x-ray diffractometry and small-angle neutron scattering. *Materials Science Forum* 2015; 827: 213–218.
77. Puspitasari T, Raja KML, Pangerteni DS, Patriati A, **Putra EGR**. Structural organization of poly(vinyl alcohol) hydrogels obtained by freezing/thawing and γ -irradiation processes: A small-angle neutron scattering (SANS) study. *Procedia Chemistry* 2012; 4: 186–193.
78. Gunawan M, Kartini E, **Putra EGR**. Small angle neutron scattering experiments on solid electrolyte $(AgI)_x(AgPO_3)_{1-x}$. *J. Solid State Electrochem.* 2008; 12(7-8): 903–907.
79. Mohamed AA, Ahmad MH, Ibrahim A, Azman A, Alias R, Ambak Z, Shapee S, **Putra EGR**, Patriati A, Sharom MA, Yazid H, Mamat MR, Karim JA, Idris FM, Yazid K, Zin MR. Microstructural investigations of materials for low temperature co-fired ceramic (LTCC) based fuel cell using small angle neutron scattering. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2013; 16: p012141. .
80. Megat Ahmad MHAR, Ibrahim A, Mohamed AA, Alias R, Alias NH, Mahmood CS, **Putra EGR**, Ikram A, Awang Mat AF. Study of Temperature Effect on Microstructures of MCIC Ceramic Substrate Using Small Angle Neutron Scattering. *Advances in Applied Ceramics* 2009; 108(4): 199–202.
81. Megat Ahmad MHAR, Mohamed AA, Ibrahim A, **Putra EGR**, Jamro R, Kasim E, Mahmood CS, Muhammad Zin MR. Microstructural characterization of nanocrystalline alpha-alumina powder produced from Al13-Cluster. *J. Phys. Chem. Solids* 2007; 68(12): 2349–2352.
82. Megat Ahmad MHAR, Mohamed AA, Ibrahim A, Mahmood CS, **Putra EGR**, Muhammad Zin MR, Kasim R, Jamro R. Character-

- ization of alumina using small angle neutron scattering (SANS). *Journal of Nuclear and Related Technology* 2007; 4: 19–23.
83. Dharaiya N, Patriati A, Kuperkar K, **Putra EGR**, Bahadur P. Viscometric, DLS, SANS and 2D-NOESY study on the micellar growth in “12-s-12” gemini surfactants induced by p-Toluidine. *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.* 2012; 396: 1–7.
 84. Kuperkar K, Patriati A, **Putra EGR**, Marangoni DG, Bahadur P. Microstructural study of CTAB/1-Butanol/salt/water system: SANS and 2D-NOESY analysis. *Can. J. Chem.* 2012; 90(3): 314–320.
 85. Alexander S, Smith GN, James C, Rogers SE, Guittard F, Sagisaka M, and Eastoe J. Low-surface energy surfactants with branched hydrocarbon architectures. *Langmuir* 2014; 30(12): 3413–3421.
 86. Hill C, Czajka A, Hazell G, Grillo I, Rogers SE, Skoda MWA, Joslin N, Payne J, Eastoe J. Surface and bulk properties of surfactants used in fire-fighting. *J. Colloid Interface Sci.* 2018; 530: 686–694.
 87. Patel V, Ray D, Singh K, Abezgauz L, Marangoni G, Aswal VK, Bahadur P. 1-Hexanol triggered structural characterization of the worm-like micelle to vesicle transitions in cetyltrimethylammonium tosylate solutions. *RSC Adv.* 2015; 5: 87758–87768.
 88. Singh K, Dharaiya K, Marangoni DG, Bahadur P. Dissimilar effects of solubilized p-toluidine on the shape of micelles of differently charged surfactants. *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.* 2013; 436: 521–529.
 89. Karayil J, Talmon Y, Hassan PA, Tata BVR, Sreejith L. Tuning the solubilization behavior of the CTAB/C₉OH-C₁₂OH micellar system with quaternary ammonium salts. *Colloid Polym Sci* 2018; 296: 595–606.
 90. Al Qaraghuli MM. Biotherapeutic antibodies for the treatment of head and neck cancer: current approaches and future considerations of photothermal therapies. *Front. Oncol.* 2020; 10: 559596.

91. Shakil-Hussain SM, Animashaun MA, Kamal MS, Ullah N, Hussein IA, Sultan AS. Synthesis, characterization and surface properties of amidosulfobetaine surfactants bearing odd-number hydrophobic tail. *J. Surfact. Deterg.* 2016; 19(2): 413–420.
92. Suwanto AS, Ihsanawati, Giri-Rachman EA. Molecular cloning of PhoR sensor domain from *Mycobacterium tuberculosis* for structure-based discovery of novel anti-tubercular. *Journal of Life Science* 2012; 6: 268–275.
93. Xing D, Ryndak MB, Wang L, Kolesnikova I, Smith I, Wang S. Asymmetric structure of the dimerization domain of PhoR, a sensor kinase important for the virulence of *Mycobacterium tuberculosis*. *ACS Omega* 2017; 2(7): 3509–3517.
94. Oekar NK, Hanafiah A, Widyasari EM, Daruwati I, Pradana AT, Luthpi M. Aplikasi iptek nuklir dalam pengembangan obat bahan alam. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir PTNBR–BATAN Bandung*; 2013 Jul 4; 174–183.
95. Brower V. Proteomics: biology in the post-genomic era. Companies all over the world rush to lead the way in the new post-genomics race. *EMBO Rep.* 2001; 2(7): 558–560.
96. World Health Organization. ACT-accelerator strategic plan & budget: October 2021 to September 2022. 28 October 2021. Available from: <https://www.who.int/publications/m/item/act-accelerator-strategic-plan-budget-october-2021-to-september-2022>

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

Bagian dari Buku Internasional

1. Ungar G, **Putra EGR**, De Silva DSM, Shcherbina MA, Wad-don AJ. The effect of self-poisoning on crystal morphology and growth rates. In: Allegra G, editors. *Interphases and Mesophases in Polymer Crystallization I. Part of Advances in Polymer Science*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2005. 45–87. (Q1)

Jurnal Internasional

2. Prihatiningsih MC, Ariyanto T, **Putra EGR**, Susilo YV, Ma-hendra I, Prasetyo I. Radioiodination of modified porous silica nanoparticles as a potential candidate of Iodine-131 drugs vehi-cle. *ACS Omega* 2022; 7(16): 13494–13506. (Q1)
3. Fitria G, Patriati A, Mujamilah, Prihatiningsih MC, **Putra EGR**, and Soontaranon S. Hierarchical structure of magnetic nanopar-ticles- Fe_3O_4 -ferrofluids revealed by small angle x-ray scattering. *Indones. J. Chem.* 2021; 21(3): 635–643. (Q3)
4. Patriati A, **Putra EGR**. pH dependent structures of bovine serum in solution by small angle neutron scattering. *Jurnal Teknologi* 2021; 83(2): 117–123. (Q3)
5. Patriati A, Suparno N, Sulungbudi GT, Mujamilah M, **Putra EGR**. Structural change of apoferritin as the effect of pH change: DLS and SANS Study. *Indones. J. Chem.* 2020, 20(5), 1178–1183. (Q3)
6. Ramadani AIWS, Pamungkas NS, Putrisetya NA, Prihatiningsih MC, Permatasari MD, Nugroho AA, Suyanta S, Patriati A, Soon-taranon S, **Putra EGR**. Ordered structure analysis of prepared mesoporous silica using small angle x-ray scattering. *Atom Indo-nesia* 2020; 46(1): 11–17. (Q3)
7. Baqiya MA, Nugraheni AY, Islamiyah W, Kurniawan AF, Ram-li MM, Yamaguchi S, Furukawa Y, Soontaranon S, **Putra EGR**, Cahyono Y, Risdiana, Darminto. Structural study on graphene-

based particles prepared from old coconut shell by acid-assisted mechanical exfoliation. *Advanced Powder Technology* 2020; 31(5): 2072–2078. (Q1)

8. Taufiq A, Sunaryono S, Hidayat N, **Putra EGR**, Okazawa A, Watanabe I, Kojima N, Pratapa S, Darminto D. Nanostructure and magnetic field ordering in aqueous Fe_3O_4 ferrofluids: A small-angle neutron scattering study. *Atom Indonesia* 2019; 45(3): 165–172. (Q3)
9. Sunaryono, Taufiq A, Mufti N, Susanto H, **Putra EGR**, Soontaranon S. Contributions of TMAH surfactant on hierarchical structures of PVA/ Fe_3O_4 -TMAH ferrogels by using SAXS instrument. *J. Inorg. Organomet. Polym.* 2018; 28(6): 2206–2212. (Q2)
10. Hadi S, Suryajaya, Wijaya I, Rahmandari A, Prihatiningsih MC, Prasetyo I, Patriati A, **Putra EGR**, Soontaranon S. The analysis of hierarchical structure of mesoporous silica in nanometer scale by small angle scattering method. *Atom Indonesia* 2018; 44(1): 9–15. (Q3)
11. Taufiq A, Sunaryono S, Hidayat N, Hidayat A, **Putra EGR**, Okazawa A, Wataabe I, Kojima N, Pratapa S, Darminto D. Studies on nanostructure and magnetic behaviors of Mn-doped black iron oxide magnetic fluids synthesized from iron sand. *Nano* 2017; 12(09): 1750110. (Q3)
12. Muflikhah M, Rusdiarso B, **Putra EGR**, Nuryono N. Modification of silica coated on iron sand magnetic material with chitosan for adsorption of Au (III). *Indones. J. Chem.* 2017; 17(2): 264–273. (Q3)
13. Sunaryono S, Taufiq A, **Putra EGR**, Okazawa A, Watanabe I, Kojima N, Rugmai S, Soontaranon S, Zainuri M, Triwikantoro, Pratapa S, and Darminto D. Small-angle x-ray scattering study on PVA/ Fe_3O_4 magnetic hydrogels. *Nano* 2016; 11(03): 1650027. (Q3)
14. Taufiq A, Sunaryono S, **Putra EGR**, Okazawa A, Watanabe I, Kojima N, Pratapa S, Darminto D. Nanoscale clustering and magnetic properties of $\text{Mn}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ particles prepared from natural

- magnetite. *J. Supercond. Nov. Magn.* 2015; 28(9): 2855–2863. (Q3)
15. Taufiq A, Sunaryono, **Putra EGR**, Pratapa S, Darminto. Nano-structural studies on Fe_3O_4 particles dispersing in a magnetic fluid using x-ray diffractometry and small-angle neutron scattering. *Materials Science Forum* 2015; 827: 213–218. (Q3)
 16. Giri-Rachman EA, Pratama F, Aji OR, Patriati A, Ihsanawati I, Moeis MR, **Putra EGR**. Expression and purification of PhoR sensor-domain histidine kinase of mycobacterium tuberculosis in *Escherichia coli*. *Microbiology Indonesia* 2015; 9(2): 51–57.
 17. Akter N, Radiman S, Mohamed F, Ramly NB, **Putra EGR** & Rini AS. Investigation of the gelation mechanism between amino acid surfactant based microemulsion and Kappa-Carrageenan gel network. *Sains Malaysiana* 2014; 43(2): 203–209. (Q2)
 18. Razali R, **Putra EGR**, Mohamed AA, Abd. Majid WH, Wan Abdullah WAT, Ibrahim ZA. Investigations on fractal nanostructure of zinc oxide by small angle neutron scattering (SANS). *Advanced Materials Research* 2014; 895: 531–534.
 19. **Putra EGR**, Bharoto, Suparno N, Sairun, Santoso E. Recent development of SANS BATAN spectrometer (SMARTer) in Serpong for simultaneous and automatic measurements. *Atom Indonesia* 2013; 39(3): 145–150. (Q3)
 20. Puspitasari T, Raja KML, Pangerteni DS, Patriati A, **Putra EGR**. Structural organization of poly(vinyl alcohol) hydrogels obtained by freezing/thawing and γ -irradiation processes: A small-angle neutron scattering (SANS) study. *Procedia Chemistry* 2012; 4: 186–193.
 21. **Putra EGR**, Bahrum ES, Maulana A, Sairun. Development of focusing neutron small-angle scattering spectrometer in Serpong, Indonesia for macromolecular structure investigation. *Chinese Journal of Physics* 2012; 50(2): 193–203. (Q2)
 22. Kuperkar K, Patriati A, **Putra EGR**, Marangoni DG, Bahadur P. Microstructural study of CTAB/1-Butanol/salt/water system:

- SANS and 2D-NOESY analysis. *Can. J. Chem.* 2012; 90(3): 314–320. (Q3)
23. Dharaiya N, Patriati A, Kuperkar K, **Putra EGR**, Bahadur P. Viscometric, DLS, SANS and 2D-NOESY study on the micellar growth in “12-s-12” gemini surfactants induced by p-Toluidine. *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.* 2012; 396: 1–7. (Q2)
 24. Fajar A, Gunawan, Maulana A, Muslih MR, Priyanto TH, **Putra EGR**, Sumirat I, Sutiarmo. Neutron scattering in Indonesia: The facility and activity. *Hamon* 2010; 20(4): 292–301.
 25. **Putra EGR**, Patriati A. Structural studies of hard and soft matter using a 36-meter small-angle neutron Scattering BATAN spectrometer (SMARTer) in Serpong, Indonesia. *Hamon* 2010; 20(2): 128–132.
 26. Megat Ahmad MHAR, Ibrahim A, Mohamed AA, Alias R, Alias NH, Mahmood CS, **Putra EGR**, Ikram A, Awang Mat AF. Study of Temperature Effect on Microstructures of MCIC Ceramic Substrate Using Small Angle Neutron Scattering. *Advances in Applied Ceramics* 2009; 108(4): 199–202. (Q2)
 27. **Putra EGR**, Ikram A, Seong BS. Micelle structural studies on oil solubilization studies by small-angle neutron scattering. *Nucl. Instrum. Methods. Phys. Res. A* 2009; 600(1): 291–293. (Q1)
 28. **Putra EGR**, Ikram A. A 36 m SANS BATAN spectrometer (SMARTer): Probing n-dodecyl-b-D-maltoside micelles structures by a contrast variation. *Nucl. Instrum. Methods. Phys. Res. A* 2009; 600(1): 288–290. (Q1)
 29. **Putra EGR**, Bharoto, Santoso E, Ikram A. Improved Performances of 36 m small-angle neutron scattering spectrometer BATAN in Serpong Indonesia. *Nucl. Instrum. Methods. Phys. Res. A* 2009; 600(1): 198–202. (Q1)
 30. **Putra EGR**, Ikram A. SMARTer for materials science and biology researches. *Neutron News* 2008; 19(4): 28–33. (Q4)

31. Santoso E, **Putra EGR**. Design and construction of the control system for BATAN small angle neutron scattering spectrometer (SMARTer). *Atom Indonesia* 2008; 34(2): 79–88. (Q3)
32. **Putra EGR**, Ikram A, Kohlbrecher J. SMARTer for magnetic structure studies. *Pramana* 2008; 71(5): 1015–1020. (Q2)
33. Gunawan M, Kartini E, **Putra EGR**. Small angle neutron scattering experiments on solid electrolyte $(\text{AgI})_x(\text{AgPO}_3)_{1-x}$. *J. Solid State Electrochem.* 2008; 12(7-8): 903–907. (Q2)
34. **Putra EGR**, Ikram A, Bharoto, Santoso E. Wavelength calibration and instrumental resolution of 36m SANS BATAN (SMARTer) using silver behenate powder. *Journal of Nuclear and Related Technology* 2008; 5(2): 57–65.
35. **Putra EGR**, Ikram A. Nanostructure and growth of cetyltrimethylammonium bromide micelles determination using small angle neutron scattering (SANS) Technique. *Journal of Nuclear and Related Technology* 2008; 5(1): 45–52.
36. Megat Ahmad MHAR, Mohamed AA, Ibrahim A, **Putra EGR**, Jamro R, Kasim E, Mahmood CS, Muhammad Zin MR. Microstructural characterization of nanocrystalline alpha-alumina powder produced from Al13-Cluster. *J. Phys. Chem. Solids* 2007; 68(12): 2349–2352. (Q2)
37. Megat Ahmad MHAR, Mohamed AA, Ibrahim A, Mahmood CS, **Putra EGR**, Muhammad Zin MR, Kasim R, Jamro R. Characterization of alumina using small angle neutron scattering (SANS). *Journal of Nuclear and Related Technology* 2007; 4: 19–23.
38. **Putra EGR**, Ikram A, Santoso E, Bharoto. Performance of 36 meter small angle neutron scattering at Batan–Serpong Indonesia. *J. Appl. Crystallogr.* 2007; 40(s1): s447–s452. (Q1)
39. **Putra EGR**, Bharoto, Santoso E, Mulyana YA. Scientific review: Small angle neutron scattering spectrometer (SMARTer) for nanostructure studies of soft condensed matter. *Neutron News* 2007; 18(1): 23–29. (Q4)

40. **Putra EGR**, Ikram A. Nanosize structure of self-assembly sodium dodecyl sulfate: A study by small angle neutron scattering (SANS). *Indones. J. Chem.* 2006; 6(2): 117–120. (Q3)
41. Ungar G, **Putra EGR**, de Silva DSM, Shcherbinam MA, Waddon AJ. The effect of self-poisoning on crystal morphology and growth rates. *Advances in Polymer Science* 2005; 180: 45–87. (Q1)
42. **Putra EGR**, Ungar G. In situ solution crystallization study of $n\text{-C}_{246}\text{H}_{494}$: Self-poisoning and morphology of polymethylene crystals. *Macromolecules* 2003; 36(14): 5214–5225. (Q1)
43. **Putra EGR**, Ungar G. Step initiation and propagation rate minima in solution crystallization of five long alkanes. *Macromolecule* 2003; 36(11): 3812–3814. (Q1)
44. Ungar G, **Putra EGR**. Asymmetric curvature of {110} crystal growth faces in polyethylene oligomers. *Macromolecules* 2001; 34(15): 5180–5185. (Q1)

Jurnal Nasional

Bahasa Inggris

45. Rahayu D, Patriati A, Suparno N, **Putra EGR**. SANS studies on the bovine serum albumin denaturation in the presence of SDS. *Jurnal Sains Materi Indonesia* 2021; 22(1): 46–51. (S2)
46. Prihatiningsih MC, Retnoasih SS, Andjioe AE, Kundari NA, **Putra EGR**. Isotherm, thermodynamic, and kinetics studies of iodide adsorption on the Al-SBA-16 mesoporous nanomaterial as radiopharmaceutical vehicle candidate. *Jurnal Sains Materi Indonesia* 2020; 21(1): 27–34. (S2)
47. **Putra EGR**, Ungar G. Equilibrium dissolution temperature of monodisperse n-Alkanes. *Majalah Polimer Indonesia* 2006; 9(1): 19–25.
48. **Putra EGR**, de Silva DSM, Waddon AJ and Ungar G. Events at the growth face as revealed by concentration dependence of

crystallization rate of long alkanes. *Majalah Polimer Indonesia* 2005; 8(1): 1–5.

Bahasa Indonesia

49. Salahuddin M, Suryajaya S, **Putra EGR**, Sari N. Penentuan panjang gelombang emisi pada nanopartikel CdS dan ZnS berdasarkan variasi konsentrasi mercapto ethanol. *Jurnal Fisika Flux* 2013; 10(1): 38–45.
50. Patriati A, **Putra EGR**. Kajian transisi struktur misel pada larutan natrium dodesil sulfat konsentrasi rendah dengan teknik hamburan neutron sudut kecil. *Jurnal Sains Materi Indonesia* 2008; Edisi Khusus: 282–285. (S2)
51. Ani SA, **Putra EGR**, Ikram A, Pratapa S, Purwaningsih S, Triwikantoro T, Darminto D. Analisis ukuran dan korelasi nano partikel Fe_3O_4 dalam fluida magnetik dengan teknik hamburan neutron sudut kecil. *Jurnal Sains Materi Indonesia* 2007; 83–87. (S2)
52. Fajar A, **Putra EGR**, Orihara H. Identifikasi fasa feroelektrik pada kristal cair EP10PBNP. *Jurnal Sains Materi Indonesia* 2005; 6(3): 52–60. (S2)

Prosiding Internasional

53. Patriati A, Suparno N, **Putra EGR**. Bovine serum albumin re-folding at acid solution by small angle neutron scattering. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2021; 1825(1): 012051. (Q4)
54. Patriati A, Suparno N, Soontaranon S, **Putra EGR**. The influence of zinc ions in insulin fibrillation by heat at acid solution revealed using small angle x-ray scattering. *Key Engineering Materials* 2021; 884: 327–334. (Q4)
55. Yuliantika D, Taufiq A, **Putra EGR**. hierarchical structure and antibacterial activity of olive oil based MZFe_2O_4 ferrofluids. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2020; 1436 (1): 012145. (Q4)
56. Nuraeni W, **Putra EGR**, Daruwati I, Prihatiningsih MC. Preparation and optimization of SBA-16-Al nanomaterials labeled Tech-

- netium-99m for radiation imaging applications. J. Phys.: Conf. Ser. 2020; 1436: 012121. (Q4)
57. Alawiyah F, Muflikhah M, Lubis WZ, Sulungbudi GT, Mujamilah M, **Putra EGR**. Synthesis and characterization of magnetite (Fe_3O_4) via radiolytic reduction method. J. Phys.: Conf. Ser. 2020; 1436(1): 012067. (Q4)
 58. Taufiq A, Mufti N, Hidayat N, Rugmai S, Soontaranon S, **Putra EGR**. Analysis of Distribution of Polyvinyl Alcohol Hydrogel Nanocrystalline by using SAXS Synchrotron. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2017; 202(1): 012041.
 59. Taufiq A, Saputro RE, Hidayat N, Hidayat A, Mufti N, Diantoro M, Patriati A, **Putra EGR**, Nur H. Fabrication of magnetite nanoparticles dispersed in olive oil and their structural and magnetic investigations. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2017; 202(1): 012008.
 60. Nugraheni AY, Jayanti DN, Soontaranon S, **Putra EGR**. structural analysis on reduced graphene oxide prepared from old coconut shell by synchrotron x-ray scattering. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2017; 196(1): 012007.
 61. Patriati A, Ardhani R, Pranowo HD, **Putra EGR**, Ana ID. the effect of freeze-thaw treatment to the properties of gelatin-carbonated hydroxyapatite membrane for nerve regeneration scaffold. Key Engineering Materials 2016; 696: 129–144. (Q4)
 62. Bharoto, Suparno N, **Putra EGR**. A new development on measurement and control software of SANS BATAN spectrometer (SMARTer) in Serpong, Indonesia. AIP Conference Proceedings 2015; 1656: 040004-1–040004-5.
 63. **Putra EGR**, Patriati A. Structural and phase transition changes of sodium dodecyl sulfate micellar solution in alcohols probed by small-angle neutron scattering (SANS). AIP Conference Proceedings 2015; 1656: 020001-1-020001-6.
 64. Mohamed AA, Ahmad MH, Ibrahim A, Azman A, Alias R, Ambak Z, Shapee S, **Putra EGR**, Patriati A, Sharom MA, Yazid H, Mamat MR, Karim JA, Idris FM, Yazid K, Zin MR. Microstruc-

- tural investigations of materials for low temperature co-fired ceramic (LTCC) based fuel cell using small angle neutron scattering. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2013; 16: p012141.
65. **Putra EGR**, Bharoto, Seong BS. Recent development of a 36 meter small-angle neutron scattering BATAN spectrometer (SMARTer) in Serpong Indonesia. J. Phys.: Conf. Ser. 2010; 247: 012010. (Q4)
 66. Sari W, Fitriyani D, **Putra EGR**, Mohamed AA, Ibrahim N. Fractal structures on silica aerogels containing titanium: A small angle neutron scattering study. AIP Conference Proceedings 2010; 1202: 185–188.
 67. Ani SA, Darminto, and **Putra EGR**. Particle size distribution models of small angle neutron scattering pattern on ferrofluids. AIP Conference Proceedings 2010; 1202: 73–76.
 68. Patriati A, **Putra EGR**, Seong BS. Effect of a long chain carboxylate acid on sodium dodecyl sulfate micelle structure: A SANS study. AIP Conference Proceedings 2010; 1202: 40–43.
 69. **Putra EGR**. Small-angle neutron scattering (SANS) facility at BATAN for nanostructure studies in materials science and biology. AIP Conference Proceedings 2010; 1202: 14–20.
 70. Bharoto, **Putra EGR**. A new control system software for SANS BATAN spectrometer in Serpong, Indonesia. AIP Conference Proceedings 2010; 1244: 204–211.
 71. **Putra EGR**, Seong BS, Shin E, Ikram A, Ani SA, Darminto. Fractal structures on Fe_3O_4 ferrofluid: A small-angle neutron scattering study. J. Phys.: Conf. Ser. 2010; 247: 012028. (Q4)
 72. **Putra EGR**, Ikram A, Bharoto, Santoso E, Chiar Fang T, Ibrahim B, Mohamed AA. Fractal studies on titanium-silica aerogels using SMARTer. AIP Conference Proceeding 2008; 989: 130–133.
 73. Ani SA, Pratapa S, Purwaningsih S, Triwikantoro T, Darminto D, **Putra EGR**, Ikram A. Size and correlation analysis of Fe_3O_4 nanoparticles in magnetic fluids by small-angle neutron scattering. AIP Conference Proceeding 2008; 989: 176–179.

74. **Putra EGR**, Ikram A, Bharoto, Santoso E. Performance of SMARTer at very low scattering vector q -range revealed by monodisperse nanoparticle. AIP Conference Proceeding 2008; 989: 190–193.
75. **Putra EGR**, Ikram A, Aswal VK. Effect of varying additives on aqueous solution of PEO-PPO-PEO tri-block copolymer. AIP Conference Proceeding 2008; 989: 273–276

Prosiding Nasional

76. Patriati A, **Putra EGR**. Ellipsoid to worm-like micelle structure transition revealed by small-angle neutron scattering technique. The Proceeding of the 2nd International Conference on Mathematics and Natural Sciences (ICMNS) 2008, Institut Teknologi Bandung, 2008; 805–811.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Data Pribadi

- Nama Lengkap : Edy Giri Rachman Putra
Tempat/Tgl. Lahir : Jakarta, 27 Maret 1970
Anak ke : Enam dari Enam Bersaudara
Nama Ayah Kandung : Katwinto
Nama Ibu Kandung : Soesilowati
Nama Istri : Ernawati Arifin
Jumlah Anak : 1 (satu) orang
Nama Anak : Rahmadhitya Mahardhika Putra
Nama Instansi : Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Judul Orasi : Aplikasi Hamburan Neutron untuk Karakterisasi Nanostruktur Biomakromolekul
Bidang Kepakaran : Kimia Fisika Makromolekul
No. SK Pangkat Terakhir : Keppres No. 00053/KEP/AA/15001/17, tanggal 31 Juli 2017, TMT 1 Oktober 2017
No. SK Peneliti Ahli Utama : Keppres No. 3/M Tahun 2021, tanggal 19 Januari 2022, TMT 1 Oktober 2021

B. Pendidikan Formal

No.	Jenjang	Nama Sekolah/ PT/ Universitas	Tempat/Kota/ Negara	Tahun Lulus
1.	SD	SD Negeri 7	Mataram/NTB/ Indonesia	1982
2.	SMP	SMP Negeri 2	Mataram/NTB/ Indonesia	1985
3.	SMA	SMA Negeri 2	Mataram/NTB/ Indonesia	1988
4.	S1	Institut Teknologi Bandung	Bandung/Indonesia	2003
5.	S2	Institut Teknologi Bandung	Bandung/Indonesia	1999
6.	S3	The University of Sheffield	Sheffield/Inggris	2004

C. Pendidikan Non-Formal

No.	Nama Pelatihan/Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
1.	RCA Post-doctoral Fellow : Program The Development of Advanced Beam Technology and User Support	Daejon/Korea Selatan	2007
2.	MEXT Researcher Exchange Program: Protein Function Analysis using Neutron Scattering Data	Kansai/Jepang	2009

D. Jabatan Struktural

No.	Jabatan	Instansi	Tahun Menjabat
1.	Kepala Bidang Sains Bahan Maju	Badan Tenaga Nuklir Nasional	2014–2016
2.	Ketua Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir	Badan Tenaga Nuklir Nasional	2016–2021

E. Jabatan Fungsional

No.	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1.	Asisten Peneliti Madya (Gol. III/a)	1 September 1997
2.	Ajun Peneliti Muda (Gol. III/c)	1 Mei 2005
3.	Peneliti Muda (Gol. III/c)	1 Mei 2005
4.	Peneliti Muda (Gol. III/d)	1 Oktober 2007
5.	Peneliti Madya (Gol. IV/a)	1 Juni 2009
6.	Peneliti Madya (Gol. IV/b)	1 Oktober 2011
7.	Peneliti Madya (Gol. IV/c)	1 Oktober 2013
8.	Peneliti Utama (Gol. IV.d)	5 April 2021

F. Penugasan Khusus Nasional/Internasional

No.	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
1.	Anggota Dewan Riset Nasional (DRN) Periode 2019–2022 untuk Komisi Teknis Material Maju, berdasar Keputusan Kemenristekdikti No. 171/M/KPT/2019, 22 Mei 2019.	Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi RI	2019–2022
2.	Anggota Delegasi Republik Indonesia dalam kegiatan IAEA General Conference–63 rd session di Wina, Austria, 16–20 September 2019.	Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional	2019
3.	Anggota Delegasi Republik Indonesia dalam kegiatan IAEA General Conference–61 st session di Wina, Austria, 18–22 September 2017.	Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional	2017

G. Keikutsertaan dalam Kegiatan Ilmiah

Kegiatan Ilmiah di Luar Negeri

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
1.	International Conference on Neutron Scattering (ICNS2005)	Pembicara	Sydney, Australia	November 2005
2.	The 13 th International Conference on Small-Angle Scattering (SAS2006)	Pembicara	Kyoto, Jepang	Juli 2006

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
3.	Winter School on Neutron Small Angle Scattering and Reflectometry	Peserta	Daejon, Korea Selatan	Januari 2007
4.	The 7 th Japan-Korea Meeting on Neutron Science and Asian-Pacific Roundtable Meeting	Pembicara	Seoul, Korea Selatan	Februari 2007
5.	IAEA/RCA Regional Training Course on Advanced Neutron Beam Technology and Applications	Peserta	Daejon, Korea Selatan	Februari 2007
6.	HANARO Symposium 2007	Pembicara	Daejeon, Korea Selatan	Mei 2007
7.	The 3 rd Meeting on Emergent Materials Research Focus: The Future of Neutron Science in Korea	Pembicara	Daejeon, Korea Selatan	Juni 2007
8.	The 3 rd International Symposium on the Characterization of Metals and Nanostructures Materials by Neutron and X-Ray Scattering,	Pembicara TamU	Daejeon, Korea Selatan	November 2007

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
9.	The International Symposium on Neutron Scattering	Pembicara	Mumbai, India	Januari 2008
10.	The International Symposium on Pulsed Neutron and Muon Science	Pembicara	Mito, Jepang	Maret 2008
11.	RID/ICTP/ IAEA Workshop on Probing for Compositional and Structural Characterization of Materials and Biological Samples	Peserta	Delft, Belanda	Mei 2009
12.	The 2 nd Research Coordination Meeting of the IAEA's Coordinated Research Project	Peserta	Kuala Lumpur, Malaysia	Juli 2009
13.	International Conference on Neutron and X-Ray Scattering 2009	Pembicara Tamun	Kuala Lumpur, Malaysia	Juni 2009
14.	IAEA Consultants Meeting on Strategic Planning and Regional Networking for Sustainability	Peserta	Sydney, Australia	Agustus 2009

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
15.	IAEA Consultants Meeting on Research Reactor Coalitions and Users' Networks	Peserta	Daejeon, Korea Selatan	Oktober 2010
16.	International HAN-ARO Symposium 2010	Pembicara	Daejeon, Korea Selatan	November 2010
17.	The 3 rd Technical Meeting of the IAEA's Coordinated Research Project	Peserta	Wina, Austria	Desember 2010
18.	The International Conference on Neutron and X-Ray Scattering 2011	Pembicara Utama	Hsinchu, Taiwan	Juni 2011
19.	The Nuclear Science, Technology and Engineering Conference 2011 (NusTEC2011)	Pembicara Utama	Bangi, Malaysia	Juli 2011
20.	Technical Meeting of the IAEA's on Catalogue of Products and Services of Research Reactors: Applications of Neutron Beams	Peserta	Wina, Austria	September 2011

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
21.	Technical Meeting on Advanced Moderators to Enhance Cold Neutron Beam Production for Materials Research and Applications	Peserta	Tsukuba, Jepang	November 2011
22.	The 1 st Asia-Oceania Conference on Neutron Scattering	Pembicara Utama	Tsukuba, Jepang	November 2011
23.	The 2 nd ASEAN Workshop on Small Angle X-ray Scattering	Pembicara Utama	Nakhon-ratchasima, Thailand	Maret 2012
24.	The Nuclear Science, Technology and Engineering Conference 2012 (NusTEC2012)	Pembicara Utama	Bangi, Malaysia	Mei 2012
25.	IAEA Scientific Visit Bragg Institute, ANSTO	Peserta	Sydney, Australia	November 2012
26.	The 15 th International Small-Angle Scattering conference (SAS 2012)	Pembicara	Sydney, Australia	November 2012
27.	IAEA Scientific Visit Japan Atomic Energy Agency (JAEA)	Peserta	Tokai, Jepang	Juni 2013

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
28.	BATAN-ANSTO Joint Research Project on the Biophysical Study of Virus Like Particles for Targeted Drug and Vaccine Development	PJ Kegiatan	Sydney, Australia	Desember 2013
29.	Eksperimen SAXS pada beamline BL 1.3W SAXS di SLRI Thailand	PJ Kegiatan	Nakhon-ratchasima, Thailand	Desember 2013
30.	IAEA Scientific Visit to Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO)	Peserta	Sydney, Australia	September 2014
31.	Eksperimen SAXS pada beamline BL 1.3W SAXS di SLRI Thailand	PJ Kegiatan	Nakhon-ratchasima, Thailand	Desember 2014
32.	The 41 st Congress on Science and Technology of Thailand	Pembicara TamU	Nakhon-ratchasima, Thailand	November 2015
33.	The 4 th ASEAN Synchrotron Science Camp	Pembicara Utama	Nakhon-ratchasima, Thailand	November 2015

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
34.	IAEA Scientific Visit, to Institute fo Solid State Physics and Optics	Peserta	Budapest, Hungaria	Juni 2016
35.	International Nuclear Science and Technology Conference 2016 (INST2016)	Pembicara Tamu	Bangkok, Thailand	Agustus 2016
36.	Human Resources Preparation for Nuclear Sector at World Nuclear University	Peserta	London, Inggris	November 2016
37.	Eksperimen SAXS pada beamline BL 1.3W SAXS di SLRI Thailand	PJ Kegiatan	Nakhon-ratchasima, Thailand	Desember 2016
38.	ASEAN Large Nuclear and Synchrotron Facility Network Meeting	Pembicara Utama	Bangkok, Thailand	Maret 2017
39.	The 1 st Meeting of ASEAN Large Nuclear and Synchrotron Network	Pembicara Utama	Bangkok, Thailand	September 2017
40.	IAEA General Conference - 61 st session	Peserta	Wina, Austria	September 2017

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
41.	Eksperimen SAXS pada beamline BL 1.3W SAXS di SLRI Thailand	PJ Kegiatan	Nakhon-ratchasima, Thailand	April 2018
42.	Joint Workshop for Large Facilities : Skill Strengthening and Industrial Applications	Pembicara Utama	Bangkok, Thailand	Desember 2017
43.	Annual Meeting of the International Nuclear Management Academy (INMA)	Pembicara	Wina, Austria	Desember 2018
44.	the International HANARO Symposium 2019	Pembicara	Daejeon, Korea Selatan	April 2019
45.	Regional Workshop on Sustainability of National Nuclear Institutions	Peserta	Daejeon, Korea Selatan	April 2019
46.	Eksperimen SAXS pada beamline BL 1.3W SAXS di SLRI Thailand	PJ Kegiatan	Nakhon-ratchasima, Thailand	Juni 2019
47.	IAEA General Conference - 63 rd session	Pembicara Tamu	Wina, Austria	September 2019
48.	Joint Symposium between Indonesia and Japan on Nuclear Applications	Pembicara Tamu	Online Symposium	November 2020

Kegiatan Ilmiah di Dalam Negeri

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
1.	Simposium Nasional dan Pameran Polimer '95	Peserta	Jakarta, Indonesia	Juli 1995
2.	Seminar Ilmiah Hasil Penelitian dan Pengembangan Bidang Fisika Terapan III 1994/1995	Pembicara	LIPI (Bandung, Indonesia)	Oktober 1995
3.	Seminar Nasional IV "Kimia dalam Industri dan Lingkungan"	Pembicara	Yogyakarta, Indonesia	Desember 1995
4.	Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengembangan Fisika Terapan dan Lingkungan 1995/1996	Pembicara	LIPI (Bandung, Indonesia)	Juni 1996
5.	Pertemuan Ilmiah Sains Materi III	Pembicara	Serpong, Indonesia	Oktober 1998
6.	Seminar Sehari Polymeric LB Films and Liquid Crystal Polymers	Peserta	Serpong, Indonesia	November 1998
7.	Presentasi Ilmiah: Hasil Tugas Belajar, Pelatihan dan Kerja Sama Penelitian	Pembicara	Serpong, Indonesia	April 2004
8.	Pertemuan Ilmiah Iptek Bahan 2004	Peserta	Serpong, Indonesia	September 2004

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
9.	Engineering Materials Seminar and Exhibition 2004	Peserta	ITB (Bandung, Indonesia)	September 2004
10.	The First Symposium on Carbohydrate Enzymes Bioengineering, ITB	Peserta	ITB (Bandung, Indonesia)	Januari 2005
11.	Seminar Nasional Biofisika dan Fisika Medis	Peserta	IPB (Bogor, Indonesia)	Maret 2005
12.	Joint Seminar on Chemistry ITB – UKM Malaysia	Peserta	Denpasar, Bali, Indonesia	Mei 2005
13.	The 6 th National Seminar on Neutron and X-Ray Scattering	Ketua Panitia	Serpong, Indonesia	Agustus 2005
14.	The 2005 International Seminar on Microscopy and Microanalysis (ISMM 2005)	Peserta	Bogor, Indonesia	September 2005
15.	Kongres dan Simposium Himpunan Polimer Indonesia ke-5	Pembicara	Bandung, Indonesia	November 2005
16.	The 2006 Seminar on Analytical Chemistry	Pembicara	Yogyakarta, Indonesia	Maret 2006

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
17.	The 1 st International Conference on Advanced Materials and Practical Technology	Pembicara	Serpong, Indonesia	September 2006
18.	The International Conference on Mathematics and Natural Sciences 2006 (ICMNS 2006)	Pembicara	ITB (Bandung, Indonesia)	November 2006
19.	The International Conference on Neutron and X-Ray Scattering 2007 (ICNX 2007), Serpong & Bandung	Ketua Panitia Pembicara	Serpong dan Bandung, Indonesia	Juli 2007
20.	100 Nanotechnology Doctor Conference	Pembicara Tamu	Serpong, Indonesia	Oktober 2008
21.	Pertemuan Iptek Bahan 2008	Pembicara	Serpong, Indonesia	November 2008
22.	The 3 rd Gruber-Soedigdo Lecture	Peserta	ITB (Bandung, Indonesia)	Juli 2010
23.	The International Conference on Materials Science and Technology 2010 (ICMST2010)	Pembicara	Serpong, Indonesia	Oktober 2010

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
24.	Seminar Teknologi dan Aplikasi Reaktor Nuklir di PRSG-BATAN, Puspiptek Serpong, 28 September 2011	Pembicara	Serpong, Indonesia	September 2011
25.	The Innovation Polymer Science and Technology 2011 Conference (IPST2011)	Pembicara Panitia	Denpasar, Bali, Indonesia	November 2011
26.	Workshop dan Seminar Trend dalam bidang Nanotechnology 2011	Pembicara	ITB (Bandung, Indonesia)	Desember 2011
27.	Kuliah Tamu di Fisika FMIPA, Univ. Negeri Padang	Pembicara	UNP (Padang, Indonesia)	Januari 2012
28.	Kuliah Tamu di STTN BATAN	Pembicara Tamu	Yogyakarta, Indonesia	Februari 2012
29.	Kuliah Tamu di Fakultas Farmasi UGM	Pembicara Tamu	Yogyakarta, Indonesia	Juni 2012
30.	The 5 th Asian Physics Symposium	Pembicara Utama	ITB (Bandung, Indonesia)	Juli 2012

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
28.	IAEA Technical Meeting on Regional Research Reactor Users' Networks (RRUNs): Advances in Neutron Imaging	Peserta	Serpong, Indonesia	November 2012
31.	The Innovation Polymer Science and Technology (IPST) 2013 Conference and the 4 th International Conference on Fuel Cell and Hydrogen Technology (ICFCHT) 2013	Wakil Ketua Panitia Pembicara	Yogyakarta, Indonesia	Oktober 2013
32.	Seminar : Application of X-Ray Diffraction and Scattering in Biomolecular Study – Permi Bandung	Pembicara Utama	ITB (Bandung, Indonesia)	April 2014
33.	Simposium Nasional Polimer IX dan Kongres HPI 2014, 24 September 2014, Grand Preanger Hotel, Bandung	Pembicara	Bandung, Indonesia	September 2014

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
34.	The International Conference on Materials Science and Technology	Pembicara	Serpong, Indonesia	Oktober 2014
35.	The 6 th AONSA Neutron School	Ketua Panitia	Serpong, Indonesia	Oktober 2014
36.	The 9 th Joint Conference on Chemistry (9th JCC): An International Conference	Pembicara Utama	Universitas Diponegoro (Semarang, Indonesia)	November 2014
37.	The 9 th Seminar on Magnetic Materials	Ketua Panitia	Palembang, Indonesia	Oktober 2015
38.	The International Conference on Advanced Materials Science and Technology 2016 (ICAMST2016)	Pembicara Tamu	UM (Malang, Indonesia)	September 2016
39.	Pertemuan Ilmiah Iptek Bahan 2016	Pembicara Utama	Serpong, Indonesia	November 2016
40.	Regional Training Course for Teachers to Introduce Nuclear Sciences in Secondary Schools through Innovative Approaches	Pembicara	Yogyakarta, Indonesia	Februari 2017

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
41.	Pertemuan dan Presentasi Ilmiah HFI XXXI Cabang Jateng-DIY dan Seminar Teknofisika Nuklir 2017	Pembicara Utama	Yogyakarta, Indonesia	Maret 2017
42.	Seminar Nasional: Nuklir Untuk Kesejahteraan Manusia	Pembicara Utama	UNS (Solo, Indonesia)	Maret 2018
43.	Regional Training Course for Teachers to Introduce Nuclear Sciences in Secondary Schools through Innovative Approaches	Pembicara	Yogyakarta, Indonesia	April 2018
44.	IAEA Knowledge Management Assist Visit	Pembicara	Jakarta, Indonesia	Juni 2018
45.	Seminar Nasional APISORA (Aplikasi Isotop dan Radiasi)	Pembicara Utama	Jakarta, Indonesia	Agustus 2018
46.	The International Conference on Advanced Materials Science and Technology 2018 (ICAMST2018)	Pembicara Tamu	UM (Malang, Indonesia)	September 2018

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
47.	Consultancy Meeting to Establish Coalition of the Research Reactors in the East-Asia Region	Peserta	Yogyakarta, Indonesia	November 2018
48.	Seminar Nasional Penerbangan dan Antariksa Nasional ke 23 (SIPTEK-GAN XXIII) 2019	Pembicara Utama	Serpong, Indonesia	Agustus 2019
49.	Indonesia Nuclear Expo (NEXPO) 2019 & International Conference on Nuclear Capacity Building, Education, Research and Applications 2019 (I-Concern19)	Ketua Panitia Pembicara	Yogyakarta, Indonesia	September 2019
50.	Webinar LIPI Diskusi Multi Disiplin Teknologi Akselerator untuk COVID-19 : Sudut Pandang Fisika dan Mikrobiologi	Pembicara Utama	Seminar daring	Mei 2020
52.	Webinar Himpunan Masyarakat Nuklir Indonesia (HIMNI)	Pembicara Utama	Seminar daring	April 2021

No.	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
53.	Webinar Himpunan Masyarakat Nuklir Indonesia (HIMNI)	Pembicara Utama	Seminar daring	September 2021
54.	Soedirman's International Conference on Mathematics and Applied Sciences 2021 (SICoMAS 2021)	Pembicara Utama	Daring	Oktober 2021

H. Keterlibatan dalam Pengelolaan Jurnal Ilmiah

No.	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/ Tugas	Tahun
1.	Majalah Polimer Indonesia	Himpunan Polimer Indonesia	Editor	2005–2012
2.	Conference Proceeding on Neutron and X-Ray Scattering in Materials Science and Biology, Vol. 989	American Institute of Physics (AIP)	<i>Technical Editor</i>	2008
3.	Jurnal Sains Materi (Jusami)	BATAN	Editor	2009–2011

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/ Tugas	Tahun
4.	Procedia Chemistry Special Issue: the Conference "Innovation in Polymer Science and Technology 2011"	Elsevier	<i>Editor in Chief</i>	2011
5.	Journal of Surfac- tants and Detergents	Springer	<i>Reviewer</i>	2011
6.	Journal of Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects	Elsevier	<i>Reviewer</i>	2011
7.	Jurnal Sains Materi (Jusami)	BATAN	Wakil Ketua Dewan Redaksi	2012
8.	Journal of Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects	Elsevier	<i>Reviewer</i>	2013
9.	Atom Indonesia	BATAN	<i>Reviewer</i>	2014
10.	Atom Indonesia	BATAN	Editor	2015– sekarang

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/ Tugas	Tahun
11.	Macromolecular Symposia, Special Issue: The Conference "Innovation in Polymer Science and Technology 2013 (IPST2013)"	John Wiley & Sons, Inc.	<i>Reviewer</i>	2015
12.	Macromolecular Symposia, Special Issue: The Conference "Innovation in Polymer Science and Technology 2013 (IPST2013)"	Taylor Prancis	<i>Reviewer</i>	2015
13.	Journal Forum Nuklir	STTN BATAN	Ketua Dewan Redaksi	2017–sekarang
14.	Physical Chemistry Chemical Physics	Royal Society of Chemistry	<i>Reviewer</i>	2017
15.	Journal of Polymer Research	Springer	<i>Reviewer</i>	2019

I. Karya Tulis Ilmiah

No.	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1.	Sebagai penulis tunggal	1
2.	Bersama penulis lainnya	75
	Total	76

Buku ini tidak diperjualbelikan.

No.	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1.	Bahasa Indonesia	4
2.	Bahasa Inggris	72
	Total	76

No.	Kualifikasi Publikasi	Jumlah
1.	Jurnal	51
2.	Prosiding	24
3.	Bagian dari Buku	1
	Total	76

J. Pembinaan Kader Ilmiah

No.	Nama Perguruan Tinggi	Tahun Mengajar
1.	Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir	2016 –2021

No.	Nama	PT/Universitas	Peran/Tugas	Tahun
1.	Ahmad Taufiq	Fisika FMIPA, ITS	Ko-Promotor Disertasi S3	2012– 2015
2.	Sunaryono	Fisika FMIPA, ITS	Pembimbing Penelitian/ Penguji	2013– 2016
3.	Rini Agustin	Sekolah Farma- si, ITB	Ko-Promotor Disertasi S3	2016– 2021
4.	Maria Christina P.	Departemen Teknik Kimia, UGM	Ko-Promotor Disertasi S3	2018
5.	Sistin Ari Ani	Fisika-MIPA ITS	Pembimbing II Tesis S2	2007
6.	Arum Patriati	Kimia-MIPA UGM	Pembimbing II Tesis S2	2013

No.	Nama	PT/Universitas	Peran/Tugas	Tahun
7.	Muhammad Akmal Asraf Mohamad Sharom	Fakulti Sains, Universiti Malaya	Pembimbing dan Penguji Tesis S2	2014
8.	Muflikhah	Kimia-MIPA UGM	Pembimbing II Tesis S2	2016
9.	Agrin Febrian Pradana	Kimia-MIPA IPB	Pembimbing II Tesis S2	2016
10.	Wiwin Winda Kusumadewi	FKG UGM	Pembimbing II Tesis S2	2019
11.	Widya Sari	Fisika-MIPA Universitas Andalas	Pembimbing II Skripsi	2008
12.	Khairanissa Muchlis	Fisika-MIPA Univseritas Negeri Padang	Pembimbing II Skripsi	2011
13.	Risa Dwi Utami	Fisika-MIPA Universitas Lambung Mangkurat	Pembimbing II Skripsi	2013
14.	M. Arif Efendi	Fisika-MIPA IPB	Pembimbing II Skripsi	2014
15.	Syaiful Hadi	Fisika-MIPA Universitas Lambung Mangkurat	Pembimbing II Skripsi	2016
16.	Aditya Rahmandari	Teknokimia Nuklir STTN	Pembimbing II Skripsi	2012
17.	Ingga Wijaya	Teknokimia Nuklir STTN	Pembimbing II Skripsi	2012
18.	Risha Diah Rhamadhani	Teknokimia Nuklir STTN	Pembimbing II Skripsi	2015

No.	Nama	PT/Universitas	Peran/Tugas	Tahun
19.	Hersandy Dayu Kusuma	Teknokimia Nuklir STTN	Pembimbing II Skripsi	2017
20.	Rikhi Galatia	Teknokimia Nuklir STTN	Pembimbing II Skripsi	2017
21.	Sri Sundari Retno-asih	Teknokimia Nuklir STTN	Pembimbing II Skripsi	2017
22.	Gea Fitria	Teknokimia Nuklir STTN	Pembimbing II Skripsi	2018
23.	Fitri Alawiyah	Teknokimia Nuklir STTN	Pembimbing II Skripsi	2018
24.	Friscilla Hermatasia	Teknokimia Nuklir STTN	Pembimbing II Skripsi	2019
25.	Nindia Putri	Teknokimia Nuklir STTN	Pembimbing II Skripsi	2019
26.	Witri Nuraeni	Teknokimia Nuklir STTN	Pembimbing II Skripsi	2019
27.	Henry Arka	Teknokimia Nuklir STTN	Pembimbing I Skripsi	2020
28.	Fakriansyah Wijaya	Teknokimia Nuklir STTN	Pembimbing I Skripsi	2020

Buku ini tidak diperjualbelikan.

K. Organisasi Profesi Ilmiah

No.	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1.	Anggota	Perhimpunan Polimer Indonesia (HPI)	1995–sekarang
2.	Pengurus Pusat	Perhimpunan Polimer Indonesia (HPI)	2011–2014
3.	Anggota	Himpunan Peneliti Indonesia (HIMPENINDO)	2019–sekarang
4.	Anggota	Asia-Oceania Neutron Scattering Association (AONSA)	2008–sekarang
5.	Anggota	Royal Society of Chemistry	2000–2006

L. Tanda Penghargaan

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1.	Satya Lencana Karya Satya X Tahun	Presiden RI	2004
2.	Satya Lencana Karya Satya XX Tahun	Presiden RI	2014
3.	Satya Lencana Wira Karya	Presiden RI	2006



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
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

DOI: 10.55981/brin.722



ISBN 978-623-8052-41-7



9 786238 105241

Buku ini tidak diperjualbelikan.