

PERKEMBANGAN DAN PROGRAM ENERGI NUKLIR

Alternatif Energi Baru yang Aman dan Bersih?



Dr. Ir. Ledis Heru Saryono Putro, M.Si., dilahirkan di Wonogiri, Jawa Tengah pada hari Senin Kliwon, tanggal 23 Maret 1970. Alumni Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Sriwijaya tahun 2020, merupakan tenaga pengajar Prodi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Raden Fatah Palembang.

Sampai saat ini energi nuklir masih menjadi perdebatan apakah termasuk energi terbarukan (*quasi renewable*), namun yang pasti merupakan energi baru, sehingga termasuk dalam lingkup EBT (energi baru dan energi terbarukan). Keinginan dan sinyal pemerintah untuk pemanfaatan energi dari nuklir telah dimulai tahun 2007 melalui UU 17/2007 tentang RPJP Nasional 2005-2025, selanjutnya didukung PP 14/2015 tentang Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional 2015-2035 dan PP 79/2014 tentang Kebijakan Energi Nasional 2014-2050. Dinyatakan pada peraturan-perundangan tersebut pemakaian energi nuklir (PLTN) dapat dipertimbangkan sebagai pilihan terakhir. Hal ini untuk mencapai bauran energi primer nasional melalui penggunaan energi baru dan terbarukan (EBT) $\geq 23\%$ tahun 2025 dan $\geq 31\%$ tahun 2050 (PP 79/2014).

Merupakan “pilihan terakhir”, dimaksudkan kehati-hatian dan pertimbangan strategis: (1) keamanan pasokan energi nasional dalam skala besar, (2) mengurangi emisi karbon, namun tetap prioritas EBT sesuai nilai keekonomiannya, (3) standar keselamatan kerja dan keamanan yang tinggi serta mempertimbangkan dampak bahaya radiasi nuklir terhadap lingkungan hidup, (4) telah dilakukan kajian yang mendalam mengenai energi nuklir untuk tujuan damai, dan (5) adanya kepentingan nasional yang mendesak.

Buku ini membahas perkembangan energi nuklir dunia dan Indonesia. Konsep dan prinsip kerja reaktor nuklir, pemanfaatan nuklir untuk energi, bahan baku atau bahan bakar nuklir, serta manajemen limbah dan resiko nuklir. Dan terakhir kesiapan Indonesia dalam penerapan energi nuklir (PLTN) dari aspek kebijakan, aspek sosial, PERPU, SDM, teknologi, keamanan (*safety*), lingkungan hidup, lokasi tapak dan cadangan mineral bahan baku nuklir. Sehingga terinformasikan kemampuan Indonesia jika memilih opsi “*pilihan terakhir dengan energi nuklir*”.

ISBN 978-623-250-275-8



9 786232 502758

RAFAHpress

Alamat :
Jl. Prof. K.H. Zainal Abidin Piri No. 01 Km. 3,5
Palembang Sumatera Selatan 30126
Telp. 0711 5559959
Email: rafahpress2016@gmail.com

Dr. Ir. Ledis Heru Saryono Putro, M.Si.

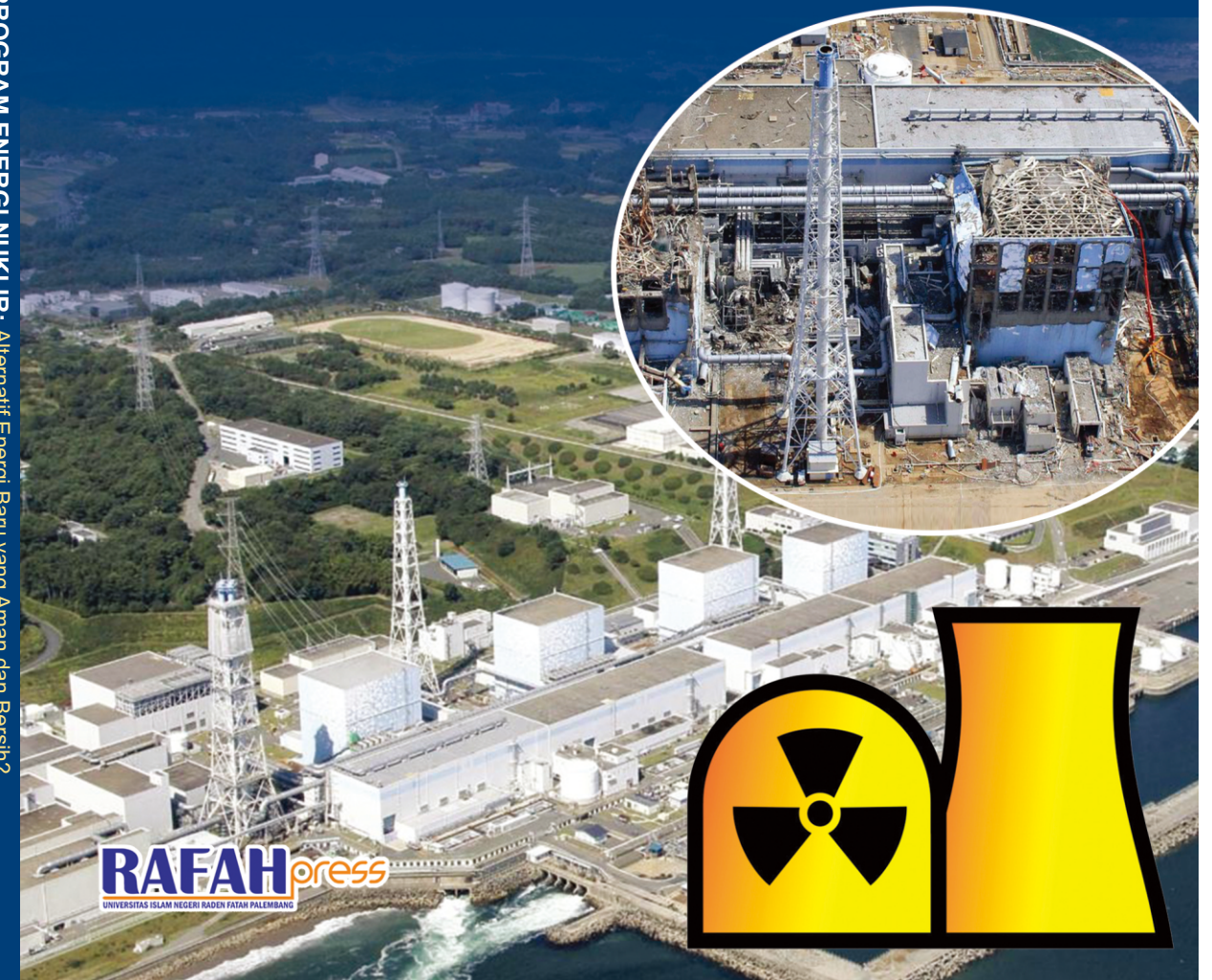
PERKEMBANGAN DAN PROGRAM

ENERGI NUKLIR

Alternatif Energi Baru yang Aman dan Bersih?

Dr. Ir. Ledis Heru Saryono Putro, M.Si.

PERKEMBANGAN DAN PROGRAM ENERGI NUKLIR: Alternatif Energi Baru yang Aman dan Bersih?



RAFAHpress
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI RADEN FATMA PALEMBANG

PERKEMBANGAN DAN PROGRAM ENERGI NUKLIR

Alternatif Energi Baru yang Aman dan Bersih?

Dr. Ir. Ledis Heru Saryono Putro, M.Si.

**Dilarang memperbanyak, mencetak atau menerbitkan
Sebagian maupun seluruh buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit**

Ketentuan Pidana

Kutipan Pasal 72 Undang-undang Republik Indonesia

Nomor 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 5.000.000,00 (lima juta rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau hak terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

PERKEMBANGAN DAN PROGRAM ENERGI NUKLIR

Alternatif Energi Baru yang Aman dan Bersih?

Penulis : Dr. Ir. Ledis Heru Saryono Putro, M.Si.
Layout : Tri Septiana Kebela
Desain Cover : Ismoko

Diterbitkan oleh:

Rafah Press bekerjasama dengan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat UIN RF Palembang

Anggota IKAPI (No. Anggota 004/SMS/2003)

Dicetak oleh:

CV. Amanah

Jl. Mayor Mahidin No. 142

Telp/Fax : 366 625

Palembang – Indonesia 30126

E-mail : noerfikri@gmail.com

Cetakan I: Desember 2020

16,24 x 25

x, 117 hlm

Hak Cipta dilindungi undang-undang pada penulis

All right reserved

ISBN : 978-623-250-275-8

PRAKATA

Puji syukur Alhamdulillahirrobbil'alamiin penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmad, karunia dan hidayah-Nya, sehingga dapat menyelesaikan penulisan buku yang berjudul “Perkembangan dan Program Energi Nuklir: Alternatif Energi Baru yang Aman dan Bersih?” Buku ini hadir kepada pembaca sebagai informasi dan ungkapan pemikiran terkait rencana pemanfaatan energi atau tenaga nuklir untuk peningkatan dan memenuhi kebutuhan kelistrikan nasional.

Keinginan dan sinyal pemerintah untuk pemanfaatan energi dari nuklir telah dimulai tahun 2007 melalui UU 17/2007 tentang RPJP Nasional 2005-2025, yang selanjutnya didukung PP 79/2014 tentang Kebijakan Energi Nasional 2014-2050 dan PP 14/2015 tentang Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional 2015-2035. Dinyatakan dalam peraturan-perundangan tersebut pemakaian energi nuklir (PLTN) dapat dipertimbangkan sebagai pilihan terakhir. Beberapa pertimbangan tersebut didasarkan pada: jumlah konsumsi energi yang besar, menipisnya cadangan bahan bakar dari minyak bumi (fosil), merupakan energi yang bersih (non emisi karbon). Namun pada sisi lain mempunyai tingkat bahaya dan risiko keselamatan manusia dan lingkungan hidup yang sangat tinggi. Hal inilah yang masih menjadi pertimbangan utama sehingga Indonesia belum memanfaatkan listrik dari energi nuklir, walaupun telah sejak lama (1954) melakukan riset dan penelitian bidang nuklir, serta telah memiliki 3 unit reaktor nuklir riset.

Melalui PP 79/2014, Indonesia merencanakan bauran energi primer nasional $\geq 23\%$ dari energi baru dan terbarukan di tahun 2025 dan $\geq 31\%$ di tahun 2050, yang menurut beberapa ahli energi hal ini menjadi acuan bahwa Indonesia akan membangun PLTN sekurangngnya 5 GW; walaupun hal itu menjadi pilihan terakhir dengan melihat

perkembangan suplai dan kebutuhan energi serta keberhasilan riset dan keekonomian terkait energi, khususnya energi baru dan terbarukan. Nuklir selain untuk energi juga sangat bermanfaat di bidang lain, seperti: kesehatan, pertanian, pangan, teknologi, dan lain-lain; yang hal itu terus menjadi pusat penelitian dan pengembangan oleh para ahli dan peneliti di dunia termasuk Indonesia.

Pendapat tentang pemanfaatan nuklir untuk energi di dunia dan Indonesia masih beragam, ada yang setuju namun tidak sedikit yang menolak. Terlebih setelah kecelakaan dan kebocoran reaktor nuklir Chernobyl (26 April 1986) dan Fukushima (11 Maret 2011), yang menyebabkan timbulnya radiasi nuklir yang berbahaya dan berdampak luas bagi manusia, makhluk hidup lain dan lingkungan hidup (air-udara-tanah) sampai dengan saat ini. Adanya bencana nuklir Fukushima membuat negara Jerman mengurangi penggunaan energi nuklir, dan giat melakukan penelitian EBT non-nuklir guna mencapai keekonomiannya.

Buku ini membahas perkembangan energi nuklir dunia dan Indonesia. Konsep dan prinsip kerja reaktor nuklir, pemanfaatan nuklir untuk energi, bahan baku atau bahan bakar nuklir, serta manajemen limbah dan resiko nuklir. Dan terakhir kesiapan Indonesia dalam penerapan energi nuklir (PLTN) dari aspek kebijakan, aspek sosial, PERPU, SDM, teknologi, keamanan (*safety*), lingkungan hidup, lokasi tapak dan cadangan mineral bahan baku nuklir. Sehingga terinformasikan kemampuan Indonesia jika memilih opsi "*pilihan terakhir dengan energi nuklir*".

Diharapkan kepada para pembaca dapat memberikan saran dan masukan yang kritis dan konstruktif demi kesempurnaan buku ini dan tulisan di masa mendatang. Akhirnya, semoga buku ini bermanfaat khususnya bagi penulis, mahasiswa, akademisi, dan umumnya untuk masyarakat luas. Dan semoga Allah meridhoi, *amin ya robbal alamin*.

Palembang, Desember 2020
Penulis,

Dr. Ir. Ledis Heru S. Putro, M.Si.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Kebijakan Energi Nasional dan Permasalahan Sektor Energi	1
1.2. Rencana Pemanfaatan Nuklir untuk Energi	3
1.3. Pokok-Pokok Tujuan Penulisan: Penyajian Infomasi Program Energi Nuklir	4
II. SEJARAH PEMANFAATAN ENERGI NUKLIR	7
2.1. Sejarah Penggunaan Nuklir	7
2.1.1. Sejarah Penggunaan Reaktor Nuklir	7
2.1.2. Awal Pemanfaatan Reaktor Nuklir	8
2.2. Nuklir Untuk Energi	8
2.3. Kondisi Energi Nuklir Saat ini	11
III. POTENSI ENERGI NUKLIR	15
3.1. Konsep dan Prinsip Kerja Reaktor Nuklir	18
3.1.1. Pelajaran dari Reaktor Alam	18
3.1.2. Reaksi Nuklir	19
3.1.3. Energi Nuklir	20
3.2. Perkembangan Reaktor Nuklir	22
3.3. Reaktor Nuklir Riset Indonesia	29
3.4. Program Pengembangan Energi Nuklir di Indonesia	29
3.4.1. Alasan Strategis Pengembangan Energi Nuklir di Indonesia	33
3.4.2. Keamanan dan Stabilitas Pasokan Energi Listrik Nasional	33

PROGRAM ENERGI NUKLIR: ENERGI BARU YANG AMAN DAN BERSIH?

3.4.3. Peraturan Perundang-undangan dalam Pengembangan Energi Nuklir	35
3.4.4. Kemampuan Sumberdaya Manusia tentang Energi Nuklir di Indonesia	36
3.4.5. Bauran Energi untuk Ketahanan Energi	37
IV. DAUR BAHAN BAKAR NUKLIR	41
4.1. Bahan Bakar Nuklir	41
4.2. Pembuatan Bahan Bakar Reaktor Nuklir	46
V. MANAJEMEN LIMBAH RADIOAKTIF DAN RESIKO NUKLIR	51
5.1. Pengelolaan Limbah Nuklir dan Bahan Bakar Nuklir Bekas (BBNB)	51
5.1.1. Limbah Radioaktif	51
5.1.2. Prinsip Pengelolaan Limbah Radioaktif	52
5.1.3. Kategori Limbah Radioaktif	52
5.1.4. Teknologi Pengolahan Limbah Radioaktif	56
5.2. Bahan Bakar Nuklir bekas (BBNB)	57
5.2.1. Daur Ulang Bahan Bakar Nuklir Bekas	58
5.2.2. Transmutasi Limbah Nuklir	60
5.3. Energi Nuklir versus Emisi Karbon	62
5.4. Kecelakaan dan Kebocoran Nuklir	64
5.4.1. Kecelakaan dan Bencana Nuklir	64
5.4.2. Kebocoran Nuklir	75
VI. PENUTUP: DIPERTIMBANGKAN SEBAGAI PILIHAN TERAKHIR	77
6.1. Kebutuhan dan Program Energi Nuklir	77
6.2. Kenyataan Bahaya Nuklir	78
6.3. Program Energi Nuklir Nasional: Dipertimbangkan sebagai Pilihan Terakhir	79
6.4. Saran Terkait Pilihan Energi Nuklir dan Bauran Energi Primer Nasional	81
DAFTAR PUSTAKA	83
GLOSARIUM	88
INDEKS	99
LAMPIRAN	102
BIOGRAFI PENULIS	111

DAFTAR TABEL

No.	Halaman
1. Persentase penggunaan energi nuklir di negara pemanfaat EN (data 2014)	9
2. Keuntungan/kelebihan dan kekurangan PLTN (<i>energy nuclear</i>)	17
3. Jenis PLTN berdasarkan reaktor yang digunakan	24
4. Pendugaan berbagai sumber energi tersedia di Indonesia (2014)	41
5. Jumlah konsumsi bahan bakar nuklir dan produksi limbah PLTN versus PLTU-Batubara	49

DAFTAR GAMBAR

No.		Halaman
1.	Produksi listrik dari EN tahun 1971-2019	12
2.	Produksi listrik dari berbagai sumber energi di Eropa tahun 2006	12
3.	EN dibanding sumber energi lainnya (2018)	13
4.	Skema reaktor alam di Tambang Oklo, Afrika	18
5.	Reaksi fusi dan reaksi fisi berantai	19
6.	Skema reaktor nuklir tipe BWR (<i>Boiling Water Reactor</i>)	25
7.	Skema reaktor tipe PWR (<i>Pressurized Water Reactor</i>)	25
8.	PHWR (<i>Pressurized Heavy Water Reactor</i>); (CANDU)	26
9.	<i>Gas Cooled Reactor</i> (GCR)	26
10.	<i>Light Water Graphite Reactor</i> (LWGR)	27
11.	<i>Pebble Bed Reactor</i> (PBR)	27
12.	Tahapan perkembangan energi nuklir di Indonesia (1954 s.d sekarang)	32
13.	(a) Rencana bauran energi primer Indonesia (PP 79/2014), (b) Kinerja bauran energi nasional 2015-2019	39
14.	Siklus bahan bakar nuklir dari reaktor termal dengan daur ulang uranium dan plutonium	42
15.	Skenario global pertumbuhan energi nuklir	43
16.	Kebutuhan uranium tahunan global untuk tiga skenario dengan tingkat pertumbuhan tenaga nuklir yang berbeda	44
17.	Diharapkan produksi tahunan uranium dari sumber primer	45
18.	Pasokan global dari sumber uranium sekunder	46
19.	Lokasi penambangan uranium dan tahapan bentuk bahan bakar nuklir	48

No.		Halaman
20.	Proses pembuatan bahan bakar nuklir	48
21.	Proses pengayaan uranium penyusunan <i>pellet</i> dalam <i>fuel assembly</i>	49
22.	Wadah penyimpanan Bahan Bakar Bekas Nuklir (BBNB)	51
23.	Pengolahan limbah nuklir tingkat rendah	53
24.	Bagan pengolahan limbah radioaktif	54
25.	Fasilitas penyimpanan limbah nuklir tingkat menengah	55
26.	Fasilitas penyimpanan limbah nuklir tingkat tinggi di Yucca Mountain USA	55
27.	Penyimpanan sementara BBNB dan penyimpanan lestari (<i>Deep Geological Disposal</i>)	58
28.	Daur ulang bahan bakar nuklir	59
29.	Proses transmudasi limbah radioaktif	60
30.	Reaktor <i>Accelerator-Driven System</i> (ADS) untuk transmudasi limbah nuklir	62
31.	Global energi hubungannya dengan emisi CO ₂	63
32.	Skematik PLTN dan lokasi Three Mile Island sebelum kecelakaan, Pennsylvania USA	67
33.	Skematik reaktor nuklir Chernobyl setelah kecelakaan	70
34.	Kondisi NPP Chernobyl dan dampak radiasi pada lingkungan hidup dan manusia	71
35.	Peta lokasi PLTN dan dampak radiasi nuklir akibat gempa pada PLTN Fukushima Daiichi di Jepang	73
36.	Penyebaran radiasi akibat bencana nuklir Fukushima	74
37.	Gambaran <i>shutdown</i> dan <i>start-up</i> reaktor nuklir saat terjadi krisis reaktor nuklir	74
38.	Kondisi PLTN Fukushima Daiichi sebelum dan sesudah bencana nuklir	75

DAFTAR LAMPIRAN

No.		Halaman
1.	Daftar negara pengguna PLTN (telah operasional dan tahap konstruksi):	
	▪ Tabel 1. Daftar negara pengguna PLTN, jenis dan kapasitas reaktor nuklir yang digunakan dan telah operasional (data 2014)	102
	▪ Tabel 2. Daftar negara pengguna PLTN, jenis dan kapasitas reaktor nuklir yang digunakan (masih dalam konstruksi; data 2014)	103
	▪ Tabel 3. Data tahunan mulai membangun reaktor dan sambungan ke sistem kelistrikan dari PLTN dunia (data 2014)	104
2.	Peta lokasi <i>Nuclear Power Plant</i> (NPP) di dunia	105
3.	Peta lokasi yang berpotensi untuk pembangunan PLTN di Indonesia	106

PENDAHULUAN

1.1. Kebijakan Energi Nasional dan Permasalahan Sektor Energi

Energi mempunyai peran penting dan strategis untuk pencapaian tujuan sosial, ekonomi, dan lingkungan hidup dalam pembangunan nasional berkelanjutan. Kebutuhan energi diperkirakan terus mengalami peningkatan sebagai konsekuensi dari pertumbuhan ekonomi dan penambahan jumlah penduduk. Oleh karena itu, pengelolaan energi dilaksanakan dengan sebaik-baiknya agar dapat memenuhi jaminan pasokan energi baik untuk kebutuhan saat ini maupun di masa mendatang.

Pengelolaan energi khususnya pengelolaan Sumber Daya Energi belum dilakukan secara optimal untuk memenuhi kebutuhan energi di dalam negeri. Sebagian energi primer masih dialokasikan untuk ekspor guna menghasilkan devisa negara dan sumber penerimaan dalam Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN). Akibatnya, kebutuhan energi di dalam negeri baik sebagai bahan bakar maupun bahan baku industri masih belum terpenuhi secara optimal sebagaimana diamanatkan dalam ketentuan Pasal 33 Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945.

Sumber energi terbarukan merupakan sumber energi yang dihasilkan dari Sumber Daya Energi yang berkelanjutan jika dikelola dengan baik, antara lain: panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran dan terjunan air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut. Perlu upaya penelitian dan pengembangan yang mendalam untuk dapat mengembangkan dan penggunaan jenis energi ini sehingga mampu mengurangi konsumsi energi dari fosil: minyak bumi, gas alam dan batubara. Dalam PP 79/2014 tentang Kebijakan Energi Nasional 2014-2050, bauran energi primer tahun 2025 direncanakan $\geq 23\%$ dan 2050 $\geq 31\%$ berasal dari sumber energi baru dan energi terbarukan (EBT), hal

ini menjadi peluang untuk meningkatkan upaya dalam pengembangan EBT di Indonesia.

Terdapat sejumlah permasalahan yang dihadapi sektor energi, antara lain:

1. Penggunaan energi belum efisien.
2. Subsidi energi yang belum tepat sasaran.
3. Harga energi belum mencapai harga keekonomian.
4. Minat investasi yang masih rendah.
5. Ketergantungan terhadap energi fosil yang masih tinggi tidak diimbangi dengan peningkatan penyediaan cadangan.
6. Keterbatasan infrastruktur energi.
7. Pengembangan infrastruktur energi belum didukung oleh industri nasional yang kuat dan mandiri.
8. Keterbatasan anggaran.
9. Lemahnya keberpihakan terhadap produk teknologi dalam negeri.
10. Pengembangan riset energi belum terintegrasi dengan baik.
11. Penguasaan teknologi energi yang masih rendah.
12. Belum adanya penetapan prioritas pengembangan energi.
13. Akses untuk masyarakat terhadap energi yang masih rendah.
14. Pengelolaan energi belum sepenuhnya menerapkan prinsip berkelanjutan.
15. Nilai tambah pengelolaan energi belum optimal; (PP 79/2014).

Dengan memperhatikan kondisi keenergian saat ini dan sejumlah permasalahan yang dihadapi di sektor energi maka pemerintah perlu melakukan pengelolaan energi secara tepat, baik pada sisi penyediaan (*supply side management*) maupun pada sisi pemanfaatan (*demand side management*) dalam rangka mewujudkan “Kemandirian Energi dan Ketahanan Energi Nasional”. Oleh karena itu, perlu disusun kebijakan energi nasional yang meliputi ketersediaan energi untuk kebutuhan nasional, prioritas pengembangan energi, pemanfaatan Sumber Daya Energi nasional dan cadangan penyangga energi nasional.

Kebijakan penyediaan energi serta prioritas pengembangan energi dan cadangan penyangga energi nasional diarahkan untuk menjamin keamanan pasokan energi nasional melalui pemanfaatan Sumber Daya Energi secara proporsional, baik Sumber Daya Energi non-fosil seperti: panas bumi, biomassa, tenaga aliran dan terjunan air, tenaga sinar matahari, tenaga angin, tenaga nuklir, tenaga gerakan dan perbedaan

suhu lapisan laut, maupun Sumber Daya Energi fosil seperti: minyak bumi, batubara, gas bumi, gas metana batubara (*coal bed methane*). Sedangkan kebijakan pemanfaatan Sumber Daya Energi, diarahkan pada penggunaan energi secara optimal dan efisien di seluruh sektor pengguna.

1.2. Rencana Pemanfaatan Nuklir untuk Energi

Pemanfaatan tenaga nuklir sampai dengan saat ini di Indonesia sudah cukup meluas yang meliputi berbagai bidang seperti: kesehatan, penelitian, industri, dan lain-lain. Namun pemanfaatan tersebut mengandung potensi bahaya terutama bila tidak dilakukan sesuai dengan peraturan keselamatan yang berlaku. Potensi bahaya dapat timbul karena inti atom dapat menjadi tidak stabil yang disebabkan oleh beberapa hal, sehingga memancarkan radiasi gamma, beta, dan alfa yang mempunyai potensi bahaya bagi pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup. Pasal 16 UU Nomor 10 Tahun 1997 tentang ketenaganukliran menetapkan bahwa setiap pemanfaatan tenaga nuklir wajib memperhatikan keselamatan, keamanan dan ketentraman, kesehatan pekerja dan anggota masyarakat serta perlindungan terhadap lingkungan hidup.

Pemanfaatan tenaga nuklir dilakukan dalam suatu instalasi nuklir, seperti reaktor nuklir, baik reaktor untuk keperluan menghasilkan listrik maupun untuk tujuan riset dan produksi isotop untuk memenuhi kebutuhan rumah sakit, fasilitas pemurnian, fasilitas fabrikasi bahan bakar nuklir, fasilitas penyimpanan bahan bakar nuklir dan bahan bakar bekas nuklir. Instalasi nuklir didesain, dibangun, dan dioperasikan sedemikian rupa sehingga pemanfaatan tenaga nuklir selamat dan aman (PP 54/2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir).

Terkait dengan upaya pemanfaatan nuklir untuk sumber energi, beberapa peraturan perundang-undangan berikut ini yang telah mengakomodasi dan menjadi sinyal tentang upaya pembangunan energi nuklir (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir; PLTN) di Indonesia, yaitu:

- a. UU 17/2007 tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional Tahun 2005-2025.
- b. PP 79/2014 tentang Kebijakan Energi Nasional 2014-2050.
- c. PP 14/2015 tentang Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional Tahun 2015-2035.

Namun hal ini tetap menjadi pilihan terakhir, dengan pertimbangan penting sebagai berikut:

- a. Keamanan pasokan energi nasional dalam skala besar.
- b. Mengurangi emisi karbon namun tetap mendahulukan potensi energi baru dan terbarukan sesuai nilai keekonomiannya.
- c. Standar keselamatan kerja dan keamanan yang tinggi serta mempertimbangkan dampak bahaya radiasi nuklir terhadap lingkungan hidup.
- d. Telah dilakukan kajian yang mendalam mengenai energi nuklir untuk tujuan damai.
- e. Adanya kepentingan nasional yang mendesak.

Rencana pemanfaatan dan pengembangan energi nuklir yang non-fosil dan tidak mengemisikan karbon dapat menjadi alternatif dalam pengembangan energi baru di Indonesia. Wacana dan upaya untuk pengembangan dan penggunaan nuklir untuk energi yang dilakukan oleh BATAN, serta keputusan untuk membangun reaktor nuklir untuk energi (PLTN) perlu memperhatikan dengan cermat pada hal-hal sebagai berikut:

- a. Memerlukan standar keselamatan kerja dan keamanan yang tinggi.
- b. Mempertimbangkan dampak bahaya radiasi nuklir terhadap lingkungan hidup.
- c. Pemenuhan kebutuhan energi yang semakin meningkat.
- d. Perlunya penyediaan energi nasional dalam skala besar.
- e. Mengurangi emisi karbon.
- f. Apabila dengan adanya kepentingan nasional yang mendesak, dan sumber energi lain tak-memadai bagi pengembangan industri dan pertambahan jumlah penduduk.

Maka dengan itu pada dasarnya energi nuklir dapat dimanfaatkan. Namun, penggunaannya dipertimbangkan sebagai pilihan terakhir.

1.3. Pokok-Pokok Tujuan Penulisan: Penyajian Informasi Program Energi Nuklir

Melalui penulisan buku ini, hal-hal pokok sebagai informasi dan tujuan yang ingin dicapai, diantaranya:

1. Mempelajari dan mengidentifikasi perkembangan program dan penggunaan nuklir untuk energi dunia dan Indonesia.

2. Mempelajari dan menyajikan data tentang teknologi dan generasi reaktor nuklir, sejarah reaktor nuklir, bahan baku nuklir, limbah nuklir (bahan bakar bekas nuklir), potensi pengembangan reaktor nuklir energi di Indonesia, dan kecelakaan reaktor nuklir (PLTN) yang pernah ada.
3. Menyajikan data dan informasi sebagai bahan pertimbangan penerapan dan pembangunan reaktor energi nuklir di Indonesia.
4. Sumber bahan bacaan ilmiah tentang potensi dan program pemanfaatan nuklir untuk energi (EN) dengan bahasan yang memadai, mencakup perkembangan program nuklir dunia dan Indonesia, informasi tentang tingkat keamanan, apakah merupakan kategori energi bersih dengan pengembangan nuklir untuk sumber energi (PLTN).

BIOGRAFI PENULIS

Dr. Ir. Ledis Heru Saryono Putro, M.Si., putra dari pasangan Heru Saryono, BA dan Sutini (almarhumah), dilahirkan di Wonogiri, Jawa Tengah pada hari Senin Kliwon tanggal 23 Maret 1970. Sejak kecil sampai dengan menyelesaikan pendidikan SMA-nya bersama orang tuanya di Wonogiri.

Menamatkan pendidikan TK PKK Wonokarto (tamat 1976), SDN Giripurwo II (tamat 1982), SMPN Selogiri (tamat 1985), SMAN 1 Wonogiri (tamat 1988). Ketika SD s.d SMA aktif dalam kegiatan sekolah, beberapa kegiatan yang diikutinya: pramuka dan ekstrakurikuler keagamaan Islam khususnya saat bulan Ramadhan. Beberapa kegiatan ini telah menjadikan penulis memiliki ketrampilan dasar, keberanian-kemandirian, sifat kerja keras, dan semangat yang lebih tinggi.

Pada jenjang pendidikan tinggi, melalui program PMDK (Penelusuran Minat dan Kemampuan) tahun 1988 diterima di Institut Pertanian Bogor (IPB) dengan bebas tes. Pada tahun 1993 berhasil menyelesaikan pendidikan Sarjana dari Jurusan Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan, IPB. Mulai tahun 2003 melanjutkan pendidikan Magister (S2) di Universitas Sriwijaya Program Studi Pengelolaan Lingkungan dan tamat 2006. Pada Januari 2016 diterima pada Program Studi Doktor (S3) Ilmu Lingkungan pada almamater yang sama di Universitas Sriwijaya, dan berhasil tamat dengan memperoleh gelar Doktor bidang ilmu lingkungan pada 30 Juli 2020, dengan indeks prestasi kumulatif (IPK) 4,0.

Di bidang pekerjaan dimulai tahun 1993 setelah tamat dari IPB, sempat bekerja di konsultan perencanaan PT Bangun Wanadwipa Asri di Jakarta. Sesuai ke-ilmuannya dan naluri sebagai *forester*, maka sejak Mei 1994 s.d April 1997 bekerja di perusahaan pemegang konsesi Hak Pengusahaan Hutan (HPH) PT Gema Sanubari di Pulau Buru, Provinsi Maluku. Periode Mei 1997 s.d Juli 2000 pada perkebunan kelapa sawit

PT Wanapotensi Guna di Kabupaten Musi Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan.

Karena keinginan menjadi PNS mengikuti jejak orang tuanya, maka melalui perjuangan yang keras pada Agustus 2000 diangkat menjadi Calon Pegawai Negeri Sipil Daerah (CPNSD) dan bertugas di Sekretariat Daerah Kabupaten Musi Banyuasin sebagai Staf Bagian Lingkungan Hidup. Dengan terbentuknya Kabupaten Banyuasin sebagai kabupaten baru, maka pada Agustus 2002 pindah tugas ke Kabupaten Banyuasin ditempatkan pada Dinas Pertambangan dan Sumberdaya Energi. Sejak 31 Desember 2004 memangku Jabatan sebagai Kepala Seksi pengelolaan dan pemantauan lingkungan. Selanjutnya pada Januari 2009 s.d Agustus 2011 memangku jabatan sebagai Kepala Bidang pemantauan dan sarana teknis, dan Agustus 2011 s.d Agustus 2012 sebagai Kepala Bidang komunikasi, penegakan hukum lingkungan dan pemberdayaan masyarakat pada BLH Kabupaten Banyuasin. Sejak September 2017 pindah tugas di Kementerian Agama RI, pada Bagian Tata Usaha Fakultas Sains dan Teknologi UIN Raden Fatah Palembang. Pengalaman menjadi tenaga pengajar (dosen tidak tetap) dimulai sejak Januari 2017 di Prodi Biologi UIN Raden Fatah Palembang dan berlanjut sampai saat ini.

Ketika bertugas sebagai PNS di bidang lingkungan hidup, melakukan tugas-pokok bidang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, serta tugas-tugas lain, yaitu:

1. Anggota tim teknis Komisi Penilai Amdal (KPA) Kabupaten Musi Banyuasin tahun 2001-2002.
2. Anggota tim teknis Komisi Penilai Amdal (KPA) Kabupaten Banyuasin tahun 2002 s.d 2012.
3. Pejabat Pengawas Lingkungan Hidup Daerah (PPLHD) Kabupaten Banyuasin periode (SK Bupati Banyuasin No. 104/2011) tahun 2011-2012.

Dalam menunjang tugas pada bidang yang digeluti dan untuk pengembangan kapasitas serta kompetensi, maka diikutinya berbagai uji kompetensi sehingga diperoleh sertifikat kompetensi yaitu:

1. Ketua Tim Penyusun Amdal (KTPA) dari LSK-Intakindo sejak Juni 2011 dan saat ini proses perpanjangan ketiga LSP-LHI (BNSP); (Nomor: 74909 2133 8 0000192 2017; Reg. Nomor: LHK 564 00179 2017).

2. Auditor ISPO Independen dari Komisi ISPO (*Indonesian Sustainable Palm Oil*), Dirjen Perkebunan, Kementerian Pertanian RI, sejak Mei 2013 sampai sekarang.

Di bidang kajian dampak lingkungan, baik sebagai tim teknis KPA maupun sebagai pemegang KTPA, telah melakukan pemeriksaan dan penilaian dokumen Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Hidup (Amdal) sebanyak 54 dokumen dengan pemrakarsa instansi pemerintah dan non-pemerintah; serta pemeriksaan dokumen Upaya Pengelolaan Lingkungan Hidup dan Upaya Pemantauan Lingkungan Hidup (UKL-UPL); (Dokumen Pengelolaan Lingkungan Hidup; DPLH) 9 dokumen pada periode 2001 s.d 2012. Selain itu, sejak 2012 sampai dengan saat ini, telah melakukan penyusunan dokumen Amdal sebanyak 6 dokumen dan sebagian besar sebagai ketua tim (KTPA), serta UKL-UPL (DPLH) 18 dokumen. Penilaian dan penyusunan Amdal atau UKL-UPL dimaksud pada jenis rencana kegiatan, seperti: perkebunan dan pabrik pengolahan kelapa sawit, HTI, SUTT, pertambangan batubara, kawasan industri, dermaga khusus, PLTG, pembangunan *mall* (super market), pabrik *crumb-rubber* (karet remah), minuman ringan, seismik Migas, dan lain-lain).

Dalam menunjang pelaksanaan tugas secara kontinu serta kompetensi di bidang perlindungan dan pengelolaan sumberdaya alam dan lingkungan serta kemampuan penunjang lainnya, bahkan telah dimulai ketika masih mahasiswa S1 di IPB, dengan telah mengikuti berbagai pelatihan tingkat daerah dan nasional, yaitu:

No	Pelatihan	Penyelenggara	Waktu
1.	Pelatihan Kader dan Kursus Ketrampilan Budidaya Lebah Madu	Dephut-FMSC-Fahutan IPB	Bogor; Parung Panjang, 11 Mei s.d 2 Juni 1991
2.	Teknik Pengukuran dan Monitoring Biodiversity Hutan Tropika Indonesia	Fahutan, IPB	Bogor, 17-27 April 1995
3.	Diklat Prajabatan Golongan III	LAN RI dan Pemprov Sumsel	Palembang, 4-23 Des. 2000
4.	AMDAL Type A	Bapedalda Prov. Sumsel-PPLH Unsri	Palembang, 9-22 Mei 2001
5.	Kursus Teknisi Komputer	Pemkab. MUBA	Sekayu, 13-17 Mei 2002
6.	AMDAL Type C	Bapedalda Prov. Sumsel dan PPLH Unsri	Palembang, 21-27 Agust. 2002
7.	Teknik Penyusunan Peraturan Perundangan	Pemkab. MUBA	Sekayu, 3-4 Sept. 2002

PROGRAM ENERGI NUKLIR: ENERGI BARU YANG AMAN DAN BERSIH?

No	Pelatihan	Penyelenggara	Waktu
8.	Sistem Informasi Kebakaran	EU-SSFFMP	Palembang, 27-29 Okt.2003
9.	Diklat Kepemimpinan Tingkat IV (Lulus; Baik Sekali)	Pemkab Banyuasin dan Badan Diklat Prov. Sumsel	Sembawa, 16 Mei s.d 21 Juni 2005
10.	Pelatihan SAAK (sistem analisis ancaman kebakaran; <i>Fire treat analysis</i>) dgn ext. GIS dan pemetaan bahan bakar, serta resiko penyulutan api pada Karhutlah	EU-SSFFMP	Palembang, 27-28 Agust. 2005
11.	Diklat Pengelolaan Laboratorium Lingkungan	KLH RI	Serpong, 12-15 Maret 2007
12.	AMDAL Penyusun	PPLH Unsri	Palembang, 2 Juni – 3 Juli 2008
13.	Dasar-dasar Pengawasan Lingkungan Hidup (Lulus; Baik Sekali)	KLH RI	Serpong, 24 Nov. – 11 Des. 2010
14.	Pelatihan Penentuan Daya Tampung Sungai dengan Metode QUAL2K	Pusat Pengelolaan Ekoregion Sumatera	Batam, 15-17 Maret 2011
15.	Training Operasional AAS: Shimadzu AA-7000	PT Ditek Jaya - Labling BLH Banyuasin	Pangkalan Balai, 16-17 Juni 2011
16.	Pelatihan Audit Lingkungan	PPLH-LPPM IPB	Bogor, 18-25 Juli 2011
17.	Peningkatan Kapasitas Sertifikasi Mediator (Lulus sebagai Mediator)	Kerjasama KLH - IICT	Park Hotel-Jakarta 21-25 Mei 2012
18.	Pelatihan Auditor ISPO (Lulus sebagai Auditor ISPO)	Komisi ISPO (Dirjen Perkebunan) Kementan RI	Santika Hotel-Bogor, 22-27 April 2013
19.	Pelatihan Auditor/Lead Auditor Sistem Manajemen Mutu ISO 9001: 2008; (Lulus sebagai Auditor/Lead Auditor)	PT Sucofindo-SICS	Hotel Bidakara-Jakarta, 23-27 Sept. 2013
20.	Pelatihan " <i>GHG Calculator for Palm Oil Industries</i> "	PT Prosympac-LRQA Business Assurance	Royal Kuning-an Hotel-Jakarta, 11-13 Des. 2013
21.	Pelatihan Penyegaran Auditor ISPO (mengacu Permentan No. 11 Tahun 2015)	Sekretariat Komisi ISPO-Kementan RI - LS PT AJA Sertifikasi Indonesia	Rumah Joglo-Bogor, 12 Mei 2015
22.	Pelatihan Penggunaan Software Pengolahan Data Spasial dan Pemetaan Digital (Map Sources, MapInfo Pro, ArcGIS, Global Mapper)	WildEarth Geosains (dari Jambi)	Palembang, 27-31 Mei 2015

No	Pelatihan	Penyelenggara	Waktu
23.	Pelatihan Lead Auditor Sistem Manajemen Lingkungan; ISO 14001: 2004 dan Pemahaman (<i>transition</i>) ISO 14001: 2015; (Lulus sebagai Auditor/Lead Auditor)	PT AJA Sertifikasi Indonesia (IEMA Certified)	Hotel Savero Golden Flower-Bogor, 19-24 Oktober 2015
24.	Diklat Fungsional Perencana Madya Spasial	Prodi Magister Perencanaan Kota dan Daerah (MPKD) UGM	Yogyakarta, 25 September s.d 13 Oktober 2017
25.	Penyegaran dan Pendalaman Prinsip dan Kriteria ISPO Permentan Nomor 11 Tahun 2015	Sekretariat Komisi ISPO (Kementan RI)- LS PT AJA Sertifikasi Indonesia	El Cavana Hotel-Bandung, 24-25 Oktober 2019

Selama menjalankan tugas, dan sejak kuliah S1 di Fakultas Kehutanan IPB, Pemkab Musi Banyuasin, Pemkab Banyuasin, dan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Raden Fatah Palembang, beberapa karya yang telah dibuat diantaranya:

Buku:

Inisiasi dan tahapan pengembangan sertifikasi *Indonesian Sustainable Palm Oil Certification System* (ISPO) kebun dan pabrik pengolahan kelapa sawit, Palembang, 2013.

Penelitian:

1. Model pendugaan volume batang meranti merah (*Shorea parvifolia* Dyer) berdasarkan integrasi persamaan taper di Kalimantan (Skripsi). Jurusan Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, 1993.
2. Evaluasi kualitas air dan tanah di areal yang diaplikasikan limbah cair kelapa sawit (Tesis). Program Studi Pengelolaan Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya, 2006.
3. Penelitian aplikasi lahan air limbah (*land application*) Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit, Desa Bentayan, Kabupaten Banyuasin, 2013 (Ketua).
4. Produksi biometana dari air limbah hasil pengolahan tandan buah segar kelapa sawit (Disertasi). Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya, 2020.

Artikel (jurnal):

1. Biomethane emissions: measurement in wastewater pond at palm oil mill by using TGS2611 methane gas sensor. *Journal of Ecological Engineering (JEE)*, (Scopus Q3), Vol. 20 No. 6, online 20 Mei 2019. <https://doi.org/10.12911/22998993/108696>.
2. Modeling methane emission of wastewater anaerobic pond at palm oil mill using radial basis function neural network. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology (IJASEIT)*, (Scopus Q2), Vol. 10 No. 1, online 26 Februari 2020. <http://dx.doi.org/10.18517/ijaseit.10.1.9577>.

Pertemuan ilmiah dan workshop tingkat nasional dan internasional yang pernah diikuti diantaranya:

1. Simposium: The 1st Regional Symposium on Integrated Energy and Environment Management (RSIEEM'2010). Engineering Faculty of Sriwijaya, Auditorium Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya, Palembang, 15-16 Desember 2010 (Peserta).
2. Workshop Peningkatan Kapasitas Fasilitator, Mediator dan Negosiator dalam Penyelesaian Sengketa di Luar Pengadilan Se-Ekoregion Sumatera. Deputi Bidang Penataan Hukum Lingkungan-KLH, Medan, 11-13 Oktober 2011 (Peserta).
3. Workshop Pengembangan Profesi Berkelanjutan (PPB) bagi Pemegang Sertifikat Kompetensi Penyusun Dokumen Amdal. LPP INTAKINDO, Jakarta, 14-15 Desember 2013 (Peserta).

Kegiatan pengabdian masyarakat yang pernah dilakukan di bidang manajemen/pengelolaan sumberdaya alam dan lingkungan, diantaranya:

1. Auditor ISPO independen: Proses audit stage II Sistem Sertifikasi Kelapa Sawit Berkelanjutan Indonesia (ISPO) di Perkebunan dan Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit di Kabupaten Musi Banyuasin, April 2018.
2. Narasumber (dan peserta) kegiatan: Supervisi pengelolaan lahan konsesi pada Kesatuan Hidrologis Ekosistem Gambut (KHEG) oleh Badan Restorasi Gambut – Republik Indonesia di perkebunan kelapa sawit Kabupaten Musi Banyuasin, 8-10 Juli 2019.
3. Narasumber workshop: Penyegaran dan Pendalaman Prinsip dan Kriteria ISPO Permentan Nomor: 11/Permentan/OT.140/3/2015 tentang Sistem Sertifikasi Kelapa Sawit Berkelanjutan Indonesia

(*Indonesian Sustainable Palm Oil Certification System*; ISPO), Sekretariat Komisi ISPO (Kementan RI)-LS PT AJA Sertifikasi Indonesia, El Cavana Hotel Bandung, 24-25 Oktober 2019.

4. Auditor ISPO independen: *Remote Audit Surveillance 2020* Perkebunan dan Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit di Kabupaten Musi Banyuasin, 28-30 September 2020.

Untuk menunjang wawasan keilmuan, bidang penelitian dan pengembangan serta pengabdian pada masyarakat, terdaftar sebagai anggota dan aktif pada perkumpulan tenaga ahli lingkungan, diantaranya:

1. Perkumpulan Ahli Lingkungan Indonesia (*Indonesian Environmental Scientists Association*; IESA); (<https://www.iesa.or.id>), sejak 2018.
2. Ikatan Ahli Lingkungan Hidup Indonesia (IALHI); (<https://www.ialhi.or.id>), sejak 2020.

Demikian biografi ini dibuat dengan sebenarnya, semoga dapat menjadi informasi yang bermanfaat.

Palembang, Desember 2020
Penulis,

Dr. Ir. Ledis Heru S. Putro, M.Si.

Untuk sarana komunikasi dan menghubungi melalui:

Nama : Dr. Ir. Ledis Heru Saryono Putro, M.Si.
Penugasan : Fakultas Sains dan Teknologi UIN Raden Fatah Palembang
Alamat : Griya Sukajadi Permai II, Blok U No.1 RT 16/05, Kel. Sukajadi Kec. Talang Kelapa Kab. Banyuasin Prov. Sumatera Selatan
Telp./WA : 0821-81841459/0812-7104598
e-mail : lherusp@radenfatah.ac.id; lherusp316@gmail.com